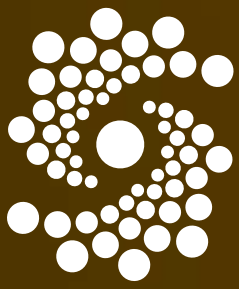


idetec)

Libro de trabajos completos

11° Congreso de Investigaciones y Desarrollos en Tecnología y Ciencia

Compilación:
Ing. Huber Fernández
Ing. Javier Gonella
Ing. Fabián Sensini

SECRETARÍA DE CIENCIA, TECNOLOGÍA Y POSGRADO | UTN VILLA MARÍA

Congreso de Investigaciones y Desarrollos en Tecnología y Ciencia

IDETEC 2024

Libro de Actas

UTN UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL

Congreso de Investigaciones y Desarrollos en Tecnología y Ciencia

IDETEC 2024

Libro de Actas

Universidad Tecnológica Nacional.
Facultad Regional Villa María

edUTecNe
Buenos Aires, 2024

Congreso de Investigaciones y Desarrollos en Tecnología y Ciencia, IDETEC 2024: libro de actas / Javier Nicolás Gonella ... [et al.] ; Compilación de Huber Gabriel Fernández ; Javier Nicolás Gonella ; Fabián Marcelo Sensini ; Editado por Fernando Cejas. - 1a ed - Ciudad Autónoma de Buenos Aires: edUTecNe, 2024.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-987-8992-45-7

1. Ciencias Tecnológicas. 2. Tecnologías. I. Gonella, Javier Nicolás, comp. II. Fernández, Huber Gabriel, comp. III. Sensini, Fabián Marcelo, comp. IV. Cejas, Fernando, ed.

CDD 607.3

Universidad Tecnológica Nacional – República Argentina
Rector: Ing. Rubén **Soro**
Vicerrector: Ing. Haroldo **Avetta**
Secretaria Cultura y Extensión Universitaria: Ing. Federico **Olivo Aneiros**

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Villa María
Decano: Ing. Norberto Gaspar Cena
Vicedecano: Ing. Franco Salvático

edUTecNe – Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional
Coordinador General: Fernando **Cejas**
Dirección General: Mg. Claudio **Véliz**
Dirección de Cultura y Comunicación: Ing. Pablo **Lassave**

Queda hecho el depósito que marca la Ley Nº 11.723
© edUTecNe, 2024
Sarmiento 440, Piso 6 (C1041AAJ)
Buenos Aires, República Argentina
Publicado Argentina – Published in Argentina

ISBN 978-987-8992-45-7

Reservados todos los derechos. No se permite la reproducción total o parcial de esta obra, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio (electrónico, mecánico, fotocopia, grabación u otros) sin autorización previa y por escrito de los titulares del copyright. La infracción de dichos derechos puede constituir un delito contra la propiedad intelectual.

Prólogo

Recibir como secretario de Ciencia y Tecnología de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Villa María, la petición de prologar el libro del Congreso de Investigaciones y Desarrollos en Tecnología y Ciencia "IDETEC 2024", en su edición Nº11, que el lector posee en su poder, es para mí un honor.

El sistema global del cual hoy formamos parte, ya en la tercera década del siglo XXI, tal como lo sentimos, perturbado, pero pleno de oportunidades de desarrollo, no es más que la resultante de un progresivo recorrido, quizás más preponderantemente técnico en sus inicios, luego acentuado hacia lo científico - tecnológico que interpela a la humanidad para comprender en sentido amplio un enorme abanico de saberes.

Indudablemente, la tecnología y la ciencia se han convertido en actores fundamentales en el escenario del desarrollo de la sociedad, generando una imagen de capacidad y suficiencia de estas para enfrentar los grandes desafíos de estos tiempos, mejorando la calidad de vida, transformando procesos productivos, mostrándose dispuestas a la búsqueda de soluciones a la hora de estar ante tantos frentes dispares como la distribución de la riqueza, el desequilibrio ambiental e incluso el acceso al conocimiento.

Para ilustrar rescato de “Divulgación de la ciencia un acto de responsabilidad social” (de Pantoja Alor), que entre la generación del conocimiento y su aplicación social media la difusión del descubrimiento, especialmente la reflexión sobre su valor y trascendencia, así como la forma de promoverlo y utilizarlo mejor, por ello, la divulgación ha sido considerada el mejor camino para acercar lo científico a sectores mayoritarios de la sociedad, de allí la importancia de este libro.

¿Que nos motiva a plasmar estos trabajos en un libro?

En el marco planteado anteriormente no está de más expresar que nuestra comunidad universitaria cuenta con recursos humanos cuyas voluntades y capacidades lo hacen apto para desarrollar actividades que contribuyen a llenar los fértiles espacios que la tecnología y la ciencia proporcionan.

Desde hace ya muchos años, mediante la trayectoria de este congreso, se explicita la voluntad de incentivar efusivamente a aquellas personas interesadas en analizar temas disparadores, encontrar desafíos, promover inquietudes, o sea, desplegarse en el

campo de la indagación, del saber-saber, para luego poder expandirse en el campo de la acción, del saber-hacer, para poder transferir soluciones a la sociedad.

Estoy convencido, además, de que este tipo de actividad despierta vocaciones, profundizan la integración entre las y los estudiantes y docentes, investigadoras e investigadores lo cual ha de proporcionar una retroalimentación sobre los campos de formación académica. Desde una perspectiva positiva, intento transmitir que aquí se evidencian los cambios de hábito en las y los estudiantes y docentes, que se sustentan en un interés cada vez mayor por participar en actividades relacionadas con la investigación, la innovación y la transferencia. Percibimos el compromiso de nuestros claustros con el fortalecimiento del ámbito científico, percibimos la plusvalía de los valores de la indagación que promueve la incorporación de la ciencia a las bases técnicas y tecnológicas de nuestra original universidad obrera, lo cual ha de ser seguramente muy enriquecedor para el futuro universitario de la sociedad en su conjunto.

¿Qué puede encontrar el lector en este libro?

El presente libro da muestra de la realidad científica como un hecho integrado con lo social e institucional, se convierte en evidencia de aquello que se mencionó en cuanto a promover, divulgar y aportar al estado del arte, difundir la ciencia y la tecnología.

Estas memorias, preservan parte del conocimiento en las páginas de un libro, mediante su versión digital; sirven como testimonio de lo acontecido en ocasión del mencionado congreso, permiten trascender el tiempo y el espacio, para así ampliar el círculo del alcance y socializar sus logros.

La diversidad de los trabajos científicos - tecnológicos, que aquí se observan se ve reflejada en las múltiples temáticas de los más de 100 trabajos incorporados.

Se puede apreciar el esfuerzo por igual en tres campos estratificados según el siguiente orden, a saber: a) trabajos de docentes, de investigadoras e investigadores, b) trabajos de estudiantes de posgrado, c) trabajos de estudiantes de grado. De aquí se desprende lo enriquecedor en distintos planos, por la flexibilidad permitida tanto en los ejes temáticos, como en los casos particulares que se abordan, lo cual genera un interesante crisol donde se funden los distintos intereses, motivos e inquietudes, muchos de ellos devenidos de trabajos en gabinetes de investigación, trabajos en laboratorios, casos o aspectos planteados en proyectos finales de grado, trabajos finales integradores (TFI) y de tesis de posgrado, e incluso sus evoluciones y derivaciones.

Se publica el trabajo de cincuenta estudiantes, tanto del nivel de grado como de posgrado y de cincuenta y nueve docentes, investigadoras e investigadores, con un total de sesenta y cuatro tutoras/es o directoras/es.

Los trabajos aquí expuestos, han recorrido una trayectoria exigente, iniciada en la etapa de presentación de un resumen, posterior análisis de pertinencia y etapa final en que cada trabajo debe superar la evaluación por parte del Comité Evaluador, llegándose así, a la confección de cada documento final, en la búsqueda de su excelencia.

¿Qué expectativa nos genera?

Es de esperar que cada uno de estos destacados trabajos, como debería ocurrir siempre en el ámbito de la ciencia y de la tecnología, nos aporte el legado necesario para la obtención de nuevos datos, nuevas instancias de descubrimiento para otras realizaciones, que sean enriquecedores del actual estado del arte y disparadores de la posibilidad de dar movilidad ascendente a los saberes adquiridos, en definitiva, sumar un escalón más en la vertiginosa escalera de la ciencia, retroalimentadas mutuamente con la tecnología, par insoslayable en la búsqueda del desarrollo, dupla incuestionable para el logro de las metas en el horizonte de los objetivos de las Universidades, en su rol dinamizador del virtuoso enlace entre la educación, el conocimiento científico, y la transferencia bidireccional con la tecnología, sinergia indispensable para el desarrollo de nuestra sociedad.

Agradecimientos

Quiero agradecer y a la vez resaltar el esfuerzo de todas aquellas personas e instituciones que de un modo u otro han colaborado para hacer realidad este decimoprimer congreso IDETEC 2024 y este importante libro, correspondiente al mismo.

A las autoras y autores, tutoras y tutores (investigadoras, investigadores, docentes y estudiantes) que se motivaron, trabajaron con tesón y esfuerzo y depositaron su confianza en este congreso permitiendo así generar este libro resumen de resultados de sus producciones.

A los evaluadores que brindaron desinteresadamente su tiempo y su experticia para lograr el objetivo de obtener documentos acordes al nivel científico en una ocasión con estas características.

Al Comité Organizador que ha tenido como meta acompañar a las y a los autores en el proceso, para que lleguen a esta publicación, en especial al director de promoción científica, ingeniero Javier Gonella, pieza fundamental para la ejecución de esta obra.

Es necesario agradecer a las 25 instituciones (tanto oficiales como las específicamente educativas) que dieron apoyo a los actores y marco académico correspondiente a esta expresión, representando a gran parte de las provincias argentinas, dando muestras del carácter federal de esta edición.

Es menester expresar el agradecimiento a las autoridades de la Universidad Tecnológica Nacional, en la figura de su actual Rector Ing. Ruben Soro y, de la Facultad Regional Villa María, anfitriona del congreso y promotora de la edición de este hermoso libro, encabezada por su Decano Ing. Norberto Gaspar Cena, quienes han brindado su comprometido apoyo a las actividades de promoción científica-tecnológica, vínculo indiscutido con la sociedad, en conjunto con la academia y con la extensión.

Finalmente, deseo agradecer a las lectoras y a los lectores de esta obra, permitiéndome proponerles que al leer cada uno de estos trabajos se pondere que los mismos, han sido realizados en muchos casos por jóvenes estudiantes, quienes desean aportar su pequeño o gran resultado al desarrollo de la sociedad desde espacios académicos, que tienen sueños de progreso y anhelan del acompañamiento de los sectores más experimentados del ámbito de la tecno-ciencia, para poder extrapolar esos sueños a realidades, ojalá que así sea. Que disfruten de este libro.

En memoria del Esp. Ing. Marcelo Cejas promotor de esta serie de libros.

Esp. Ing. Huber Gabriel Fernández

Índice de trabajos *(por orden de inscripción)*

Código	Trabajos y autoría	Pág.
Trabajos de docentes, investigadoras e investigadores		16
II11-001	COMERCIALIZACIÓN DE PRODUCTOS AGROPECUARIOS EN VILLA MARÍA Y SU REGIÓN DE INFLUENCIA Ariotti, M.; Dellavedova, H.; Dequino, S.; Correa, D.	17
II11-002	EVALUACIÓN DE CLOROFILA α EN LAGUNA FACULTATIVA PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. Baumann, M.; Marín, G.; Biolé, F.	25
II11-003	TESIS INCONCLUSAS: UN ANÁLISIS DE LAS DIFICULTADES QUE ENFRENTAN LOS ESTUDIANTES DE INGENIERÍA EN ENERGÍA ELÉCTRICA DE LA UTN-FRSF. Acosta, J.; Scoppa, M.; Banegas, J.; Macor, P.; Pochettino, N.	36
II11-004	UNA METODOLOGÍA BASADA EN EL ALGORITMO NELDER-MEAD PARA OPTIMIZACIÓN DE FORMAS EN PROBLEMAS DE HIDRODINÁMICA NAVAL UTILIZANDO OpenFOAM Antonelli, N.; Carr, G.; Urquiza, S.	47
II11-005	UNIDADES DE PROYECTOS GRUPALES E INDIVIDUALES CON DOCENTES Y ESTUDIANTES DE INGENIERÍA EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN Bianchini, G.; Caymes-Scutari, P.	55
II11-006	REDUCCIÓN DE INCERTIDUMBRE Y BÚSQUEDA POR NOVEDAD Caymes-Scutari, P.; Bianchini, G.	64
II11-007	OBTENCIÓN DE UNA PELÍCULA ACTIVA A BASE DE PECTINA Y VAINILLINA PARA APLICACIÓN EN ENVASADO DE ALIMENTOS Guzmán, S.; Fiore, M.; Nari, M.; Galuppo, D.; Masera, C.; Toninetti, R.; Ferretti, C.; Guntero, V.	75
II11-008	VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA DE MOTORES DE INDUCCIÓN ASÍNCRONOS BAJO DIVERSAS CONDICIONES DE CONTAMINACIÓN DE LA CARCASA Baldini, J.; Aguilera, W.; Doque, S.; Santoni, D.; Almada, O.	83
II11-009	ESTUDIO DE LA PROFUNDIDAD DE LA ZONA ACTIVA EN SUELOS ARCILLOSOS Rico, O.; García, A.; Medina, M.; Cornaló, M.; Medina E.	91
II11-010	DESARROLLO DE ALFABETIZACIÓN ACADÉMICA Y NUEVAS ALFABETIZACIONES EN INGLÉS TÉCNICO PARA INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA MECÁNICA: UNA EXPERIENCIA EDUCATIVA INNOVADORA Galfioni, G.; Muñoz, V.	99
II11-011	EXPERIENCIAS DE APLICACIÓN DE ULTRASONIDO EN LA ASIGNATURA CIENCIA DE LOS MATERIALES Aon, Y.; Bertoneri, N.; Ferreyra, D.; Guntero, V.	111
II11-012	ARQUITECTURA ADAPTATIVA EN ZONAS RIBEREÑAS: SOLUCIONES PARA LA HABITABILIDAD SOSTENIBLE EN REGIONES FLUVIALES Cassano, C.; Londero, M.; Cassano, A.	119
II11-013	OBTENCIÓN DE PRINCIPIOS ACTIVOS DE LA REMOLACHA POR EL MÉTODO DE ULTRASONIDO Schulteis, M.; Acuña, M.; Aon, Y.; Guntero, V.; Ferretti, C.	130
II11-014	ANÁLISIS DE EMBARCADERO FLOTANTE EN HORMIGÓN ARMADO DE 100 AÑOS EN ENTRE RÍOS Götte, E.; Pelozo, M.; Claro, A.	138
II11-015	APLICACIÓN DE MORTEROS SUSTENTABLES CON ADICIÓN DE FIBRAS PARA SER USADOS EN PRESTACIONES ESPECIALES, REPARACIONES, REFUERZO ESTRUCTURAL Y/O AMBIENTES SEVEROS. Andrada, R.; Bossio, F.; Ceballos, V.; Fulginiti, B.; Beltrame, S.	149

Código	Trabajos y autoría	Pág.
II11-016	INSERCIÓN DE USUARIOS RESIDENCIALES ELECTROINTENSIVOS EN EL SADI: ANÁLISIS ECONÓMICO DE PROPUESTA DE OBRAS EN 500 KV PARA ELIMINAR RESTRICCIONES (PARTE 3) Manassero, U.; Marelli, P.; Acosta, J.; López, D.; Fernandez, J.	158
II11-017	LADRILLOS CERÁMICOS CON AGREGADO DE CÁSCARAS DE NUEZ DE DIFERENTES GRANULOMETRÍAS Unsen, M.; Pelozo, G.; López, H.; Quaranta, N.	169
II11-018	ACCESO DE PARQUES EÓLICOS EN EL ÁREA PATAGONIA: EVALUACIÓN TÉCNICA DE IMPACTO EN LA RED Y PROPUESTA DE DISEÑO DE SISTEMA DAG/RAG PARA REDUCIR RESTRICCIONES DE INYECCIÓN DE POTENCIA (PARTE 2) Manassero, U.; Ghisolfi, D.; Cea, M.; Rossi, L.; Steinmann, I.	177
II11-019	ESTUDIO DE LAS MODIFICACIONES EN LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DE LA CERVEZA ARTESANAL CONSERVADA A DISTINTAS TEMPERATURAS Lione, J.; Giordanengo, V.; Ciappini, M.	188
II11-020	DISEÑO DE BUQUE DE LIMPIEZA PARA EL PUERTO DE MAR DEL PLATA Antonelli, N.; Tolosa, J.; Fracassi, F.; Fioriti, B.; Araya, M.; Claverie, G.; Sassot, N.; Gomez, L.; Duhalde, P.; Salay, L.; Bressanello, L.; Vaccari, A.	198
II11-021	ENSEÑANZA POR COMPETENCIAS, EVALUACIÓN DE ESTUDIANTES DE DISEÑO DE PRODUCTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Gon, F.; Greco, O.; Agosta, R.	206
II11-022	CARACTERIZACIÓN SENSORIAL, EVALUACIÓN DE ACEPTABILIDAD Y GRADO DE SATISFACCIÓN DE UN PRODUCTO DESHIDRATADO A BASE DE FRUTAS UTILIZANDO LA METODOLOGÍA DE PREGUNTAS CATA Bellotti, C.; Biolé, F.; Moyano, S.; Marín, G.; Cativa Sonzini, A.	217
II11-023	ANÁLISIS DE LOS NIVELES DE EXPOSICIÓN POBLACIONAL A CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS EN EL DEPARTAMENTO SAN JUSTO, PROVINCIA DE CÓRDOBA Bossio, J.; Felissia, S.; Peretti, G.; Cignetti, M.	226
II11-024	CONECTANDO A LA COMUNIDAD UNIVERSITARIA Y TRANSFORMANDO LA EXPERIENCIA EDUCATIVA. UNLPam Móvil Filippi, J.; Ballesteros, C.; Pablo, E.	238
II11-025	SOFTWARE DE CONTROL Y PROCESAMIENTO PARA UN SISTEMA DE MEDICIÓN DE FUNCIONES DE TRANSFERENCIA DE CABEZA INDIVIDUALES Benegas, C.; Guido, R.; Cravero, G.; Scaliti, F.; Tommasini, F.	248
II11-026	EFECTO DEL SECADO CONVECTIVO EN LAS PROPIEDADES TECNOFUNCIONALES Y ANTIOXIDANTES DE HARINA DE QUINOA (CHENOPODIUM QUINOA WILLD.) Pozzo, L.; Luisetti, J.; Balzarini, M.	260
II11-027	FORMACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE ÓXIDOS SUPERFICIALES EN UN ALAMBRÓN LAMINADO DE BAJO CARBONO Romanyuk, M.; Avalos, M.; Brandaleze, E.	269
II11-028	MANTENIMIENTO EFICIENTE DE MOTORES ELÉCTRICOS: GESTIÓN CLAVE PARA LA SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA Giusti, F.; Salinas, S.; Conte, F.; Smaia, A.; Blume, M.	279
II11-029	APLICACIÓN DE ELECTROCOAGULACIÓN AL AGUA RESIDUAL TRATADA POR LAGUNA FACULTATIVA Sparvoli, D.; Semprini, D.; Sarmiento, P.; Marín, G.; Tabasso, M.; Santo, A.; Giuzio, E.; Sigifredo, A.	287
II11-030	TECNOLOGÍAS DE APOYO PARA LA INCLUSIÓN EDUCATIVA: UNA APP MÓVIL CON RECONOCIMIENTO GESTUAL PARA EL APRENDIZAJE DE MATEMÁTICA EN NIÑOS CON DISCAPACIDAD NEUROMOTORA Álvarez Ferrando, A.; Valero, C.; Borsella, F.; Etcheverry, J.; Batista, M.	296

Código	Trabajos y autoría	Pág.
II11-031	EFECTO DE LA ELECTROCOAGULACIÓN EN LA CALIDAD BACTERIOLÓGICA DE EFLUENTES Marín, G.; Biolé, F.; Bellotti, C.; Moyano, S.; Mussa, I.; Andreossi, T.	307
II11-032	VIGILANCIA, INTERPRETACIÓN DE CURVAS Y RASTREO SUPERVISADO COMO HERRAMIENTA PARA ENCONTRAR EVENTOS Y DESVÍOS EN SISTEMAS/DISPOSITIVOS MONITOREADOS DE UNA INSTITUCIÓN DE SALUD Marino, C.; Castello, M.; Arraña, I.	316
II11-033	INTEGRACIÓN DE MODELOS ESTADÍSITICOS PARA VISUALIZAR Y ANALIZAR EL APROVECHAMIENTO DE ENERGÍAS RENOVABLES EN LA REGIÓN CENTRO (ARGENTINA) Szwarc, G.; Rivara, L.; Cézar, S.; Ceré, E.; Ferreyra, D.; Pipino, H.	328
II11-034	RECUPERACIÓN EXPERIMENTAL DE SUBPRODUCTOS A PARTIR DE ACEITES DE PIRÓLISIS MEDIANTE APLICACIÓN DE DESTILACIÓN DIFERENCIAL Toselli, L.; Monesterolo, M.; Beltrán, R.; Giuliano Bono, M.	340
II11-035	CREACIÓN Y OPTIMIZACION DE HERRAMIENTAS DE EVALUACIÓN, EN EL APRENDIZAJE POR COMPETENCIAS, MEDIANTE INTELIGENCIA ARTIFICIAL Toselli, P.; Toselli, L.; Marino, M.; Scillone, G.	349
II11-036	UTILIZACIÓN DE RÚBRICAS COMO HERRAMIENTAS DE EVALUACIÓN DE RESULTADOS DE ENSAYOS EXPERIMENTALES PARA DETERMINAR CALIDAD DE AGUA Beltrán, R.; Chesta, A.; Toselli, P.; Bragas, A.	360
II11-037	CÁLCULO DE LA ENTROPÍA EN EL ANÁLISIS DE CUANTIFICACIÓN DE RECURRENCIAS PARA SERIES TEMPORALES CATEGÓRICAS Tommasini, F.; Hüg, M.; Evin, D.; Bermejo, F.	368
II11-038	DISEÑO Y EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DE ALTERNATIVAS PARA LA MEJORA DEL ABASTECIMIENTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE LA LOCALIDAD LOS AMORES Sanseverinatti, C.; Manassero, U.; Muller, M.; Agretti, M.; Furlani, R.	378
II11-039	INTRODUCCIÓN A LA INGENIERÍA QUÍMICA: ACTIVIDAD EXPERIMENTAL DE MEZCLA DE SÓLIDOS GRANULARES Monesterolo, M.; Chesta, A.; Iglesias, J.; Barbuio, S.	390
II11-040	TOMOGRAFÍA COMPUTADA APLICADA A ESTUDIOS DE POROSIDAD EN FUNDICIÓN DE Al-Si Felcaro, M.; Díaz, F.; Peralta, M.	400
II11-041	ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE UNA ESTACIÓN DE GENERACIÓN HÍBRIDA FOTOVOLTAICA Y EÓLICA PARA APLICACIONES DIDÁCTICAS Tielli, M.; Hetze, V.; Sfiligoy, C.; Bertero, R.	411
II11-042	INTEGRACIÓN DE COMPETENCIAS A TRAVÉS DEL APRENDIZAJE BASADO EN PROYECTOS EN INGENIERÍA Soria, M.; Oddino, S.; Tosselli, L.; Serassio, F.; Aimar, J.; Bragas, A.; Márquez, C.; Ortiz Quiroz, V.	419
II11-043	CANSAT EN FAVOR DE APRENDIZAJES RESIGNIFICADOS Calderon, S.; Musso, D.; Podadera, R.	429
II11-044	MEDICIÓN Y REGISTRO DE DENSIDAD DE POTENCIA DE RF AMBIENTAL BASADO EN SDR (RADIO DEFINIDA POR SOFTWARE) Reggiani, G.; Loidi, M.; Loidi, J.; Pellegrino, S.; De Pasquale, L.; Bruno, M.	439
II11-045	NARRATIVAS PEDAGÓGICAS EN EL NIVEL UNIVERSITARIO PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN Cena, N.; Mussetta, S.; Pignatta, M.; Rinaldi, M.; Simielli, M.; Soria, M.; Stroppiano, C.; Toselli, P.	449
II11-046	INFLUENCIA DE LA INSTRUMENTACIÓN EN SISTEMAS DE CONTROL DE TEMPERATURA Lucchesi, A.; Herrera, H.; Campomar, G.	461
II11-047	IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLATAFORMA IOT LORAWAN PARA OBTENER Y ALMACENAR DATOS DE SENSORES UTILIZANDO FIRMWARE DE NODOS LMIC, ENTORNO DE PROGRAMACIÓN LOW CODE Y BASE DE DATOS INFLUXDB. Felissia, S.; Bossio, J.; Peretti, G.; Iguri, D.; Musso, D.	471

Código	Trabajos y autoría	Pág.
II11-048	ACTIVIDAD EXPERIMENTAL APLICADA A LA CÁTEDRA DE QUÍMICA: DETERMINACIÓN DE VITAMINA C EN JUGOS CÍTRICOS DESHIDRATADOS Chesta, A.; Beltrán, R.; Cravero, M.; Yrusta, Y.	482
II11-049	FORMULACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE POLIURETANO Y ORGANOARCILLA Hormaiztegui, M.; Salduna, M.; Pardini, O.; Pardini, F.	491
II11-050	CARACTERIZACIÓN DE SENSORES DE DISTANCIA Y TEMPERATURA APLICADOS A CONTROL DE ACCESO CON DETECCIÓN DE PIREXIA Salvático, F.; Catalano, J.; Gonella, J.; Panero, J.; Sensini, F.; Durelli, J.; Salas Tisera, J.	503
II11-051	EVALUACIÓN DEL USO DE REDES NEURONALES PARA DETECTAR FALLAS EN FILTROS EMBEBIDOS EN COPROCESADORES ANALÓGICOS Vodanovic, G.; Laprovitta, A.; Velez Ibarra, M.; Peretti, G.; Romero, E.	511
II11-052	DIAGNÓSTICO DE FALLAS EN FILTROS DE CAPACIDADES CONMUTADAS USANDO UN ALGORITMO EVOLUTIVO: UN CASO DE ESTUDIO Lovay, M.; Peretti, G.; Romero, E.	523
II11-053	ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD COMO APORTE A LA ODS 6 - AGUA LIMPIA Y SANEAMIENTO, A TRAVÉS DE LA DESCENTRALIZACIÓN CON BLOCKCHAIN EN LA CERTIFICACIÓN Y TRAZABILIDAD DE LOS ANÁLISIS DE AGUA DEL ÁREA DE SERVICIOS DE LA UTN FRVM Córdoba, F.; Cassani, M.; Durelli, N.; Gonzalez Rover, I.; Ruartes Bacci, S.; Ibarra, Á.	535
II11-054	TOOLCHAIN DE DESARROLLO Y VALIDACIÓN PARA LA ARQUITECTURA RISCV RV32I Simone, R.; Ferreyro, L.; Furfaro, A.	544
II11-055	ANÁLISIS DE LA EXERGÍA EN SALA DE CALDERAS Balducci, D.; Gorosito, A.; Solier Zandomeni, H.; Godino, D.; Marcipar, L.; Gieco, L.; Vicentin, L.; Dorella, J.; Carbonell, A.	553
II11-056	ROBOT SEGUIDOR DE LÍNEA PID (PROPORCIONAL INTEGRAL DERIVATIVO) Chiabrando, B.; Aguilar, A.; Podadera, R.	562
II11-057	APLICACIÓN DE LA COMPUTACIÓN MULTI-PARTE EN LA GESTIÓN SEGURA DE SECRETOS Boiero, F.; Nivoli, M.; Cena, N.	574
II11-058	DIDÁCTICAS VIRTUALES BAJO TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN (TIC) PARA EL APRENDIZAJE EN LABORATORIOS DE QUÍMICA. Schiappa Pietra, J.; Córdoba, C.; Assenza, T.; Lopez Delzar, S.; Castiglioni, M.; Flecha Alfaro, J.	583
II11-059	ESTUDIO MORFOMETRICO DE LA CUENCA DE SAN BLAS DE LOS SAUCES, PROVINCIA DE LA RIOJA Falcon, C.; Fernandez, I.; Del Moral, D.	594
Trabajos de estudiantes de posgrado		602
IP11-001	EVALUACIÓN DE LA PERFORMANCE DE UN PROCESO SUSTENTABLE DE RECUPERACIÓN DE PROTEÍNAS A PARTIR DE ARVEJAS AMARILLAS Y VERDES (PISUM SATIVUM L.) Guraya, M.; Iguti, A.; Triboli, E.; Ribeiro, E.; Accoroni, C.; Espósito, M.; Torresi, P.; Reinheimer, M.; Godoy, E.	603
IP11-002	EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FUNCIONALES A DIFERENTES pH DE PRODUCTOS PROTEICOS DE EXPELLER DE SOJA OBTENIDOS MEDIANTE DIFERENTES AGENTES PRECIPITANTES Andrin, M.; Guraya, M.; Accoroni, C.; Torresi, P.; Godoy, E.; Reinheimer, M.	609
IP11-003	EVALUACIÓN DE UN BIONEMATICIDA DERIVADO DE HOJAS DE BRÓCOLI SOBRE EL NEMATODO Paratrichodorus minor Bergia, B.; Tuninetti, F.; Giacomino, N.; Franzi, D.; Soressi, M.; Aimaretti, N.; Del Valle, E.	615
IP11-004	EVALUACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE LUMINARIAS ALIMENTADAS DESDE BATERÍAS CARGADAS CON ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA Hasenauer, J.; Lanfranco, A.; Vincitorio, F.	621

Código	Trabajos y autoría	Pág.
IP11-005	ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE EL CARDINAL DE VECTORES CARACTERÍSTICOS Y LA ENTROPÍA DE SHANNON SOBRE SEÑALES DE RUIDO BLANCO UNIFORME García Blesa, H.; Vorobioff, J.; Legnani, W.	630
IP11-006	INFLUENCIA DE LA VARIACIÓN DE DIRECCIONALIDAD DE LA MIRADA EN INTERFACES CEREBRO-COMPUTADORA BASADAS EN SSVEP Padilla, G.; Farfán, F.	638
IP11-007	NANOPARTÍCULAS DE LIGNINA PARA LA LIBERACIÓN ÁCIDA DE DOXORRUBICINA Peralta, M.; Ambrosioni, F.; Cuggino, J.; Nicolau, V.	645
IP11-008	INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD DE DEFORMACIÓN EN UN ACERO INOXIDABLE AISI 316L CON CARGA ELECTROLÍTICA DE HIDRÓGENO Inés, M.; Mansilla, G.	653
IP11-009	ESTUDIO DEL IMPACTO SOBRE LA CALIDAD DEL AIRE DE CÓRDOBA DEBIDO A LAS MEDIDAS SOCIALES ASOCIADAS A LA PANDEMIA COVID-19 Ceberio, C.; Borghi, F.; López, E.; Pepino Minetti, R.	664
IP11-010	HARPER v2: REDISEÑO DE PLATAFORMA DE HARDWARE PARA INVESTIGACIÓN EN AUDÍFONOS DE RANGO EXTENDIDO Scaliti, F.; Tommasini, F.; Evin, D.; Guido, R.; Ramirez, T.	674
IP11-011	ESTRUCTURA DE PROCEDIMIENTO DE UNA UNIVERSIDAD INTELIGENTE SOSTENIBLE EN UNA RED SISTÉMICA INTERCONECTADA EN LA UNLP Ledoux, I.; Marrone, L.	684
IP11-012	LA PERSPECTIVA SOCIAL DE LA SOSTENIBILIDAD, CARACTERISTICA DESEABLE EN UN MODELO DE CALIDAD Leo, R.; Salgado, C.; Peralta, M.; Sánchez, A.	694
IP11-013	ANÁLISIS TERMODINÁMICO Y BIOINFORMÁTICO DE LA INTERACCION ENTRE CIBACRON BLUE F3GA Y LISOZIMA Carmona Viglianco, N.; González, U.; Gómez Barroso, A.; Ferraris, M.	703
IP11-014	EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE DIETAS DE VACAS LECHERAS EN LAS EXCRECIONES DE COMPUESTOS NITROGENADOS Bellotti, C.; Tieri, M.; Pepino Minetti, R.	715
IP11-015	DESARROLLO Y CARACTERIZACIÓN DE ELECTROLITOS POLIMÉRICOS INCORPORANDO ÓXIDO DE GRAFENO PARA BATERÍAS DE LITIO Vergalito, A.; Pardini, O.; Amalvy, J.; Pardini, F.; Ortiz, M.	723
IP11-016	ENCAPSULACIÓN DE TIMOL Y MENTOL EN MCM-41 Marino, S.; Gonzalez, M.; Pereyra, A.	734
IP11-017	INCREMENTO DE LA DUREZA DE UN RECUBRIMIENTO DE MATRIZ METÁLICA BASE HIERRO García Díaz, C.; Brandaleze, E.; García, J.; Benavidez, E.	739
IP11-018	SÍNTESIS DE MATERIAL COMPUESTO DE AZUFRE/POLIPIRROL-GRAFENO COMO CÁTODO PARA BATERÍAS LITIO-AZUFRE Alvarez, M.; Amalvy, J.; Pardini, F.; Ortiz, M.	748
IP11-019	DESGASTE, DUREZA Y MICROESTRUCTURA DE UN MATERIAL COMPUESTO PARA USO EN HERRAMIENTAS AGRÍCOLAS García Díaz, C.; Brandaleze, E.; Brühl, S.; Carmona, A.; Maskavizan, J.; García, J.; Benavidez, E.	754
Trabajos de estudiantes de grado		763
IG11-001	VERIFICACIÓN DE CHASIS DE ACOPLADO TIPO CARRETON DE 4 EJES, CONSTRUIDO CON ACEROS MICROALEADOS Bermedo, M.; Bianchi, S.; Niconezuk Picca, T.; Tais, C.; Costamagna, M.; Marino, M.	764

Código	Trabajos y autoría	Pág.
IG11-002	EVALUACIÓN DE LA AUTORREPARACIÓN EN MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA LA SOSTENIBILIDAD VIAL Martinez, B.; Segura, A.; Raggiotti, B.; Vázquez, F.; Ponce, L.	770
IG11-003	CARACTERIZACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA CORROSIÓN DE ACERO INOXIDABLE AISI 316L SOMETIDO A ENSAYO EN CÁMARA DE NIEBLA SALINA: UN ESTUDIO EXPERIMENTAL Valles, A.; Mansilla, G.; Inés, M.	776
IG11-004	OPTIMIZACIÓN DE LA ADSORCIÓN DE PLOMO SOBRE CÁSCARA DE ARROZ APLICANDO UN DISEÑO ESTADÍSTICO DE EXPERIMENTOS Centurión, E.; Villarrubia, C.; Romano, M.; Corne, V.; García, M.	782
IG11-005	CARACTERIZACIÓN Y CALIBRACIÓN DE UNIDADES DE MEDICIÓN INERCIAL DE BAJO COSTO Jaime, I.; Beck, F.; Miretti, M.; Bernardi, E.	788
IG11-006	LA GAMIFICACIÓN APLICADA AL APRENDIZAJE DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE SUSTANCIAS COTIDIANAS Galuppo, D.; Neyra Vivas, L.; Castellano, L.; Cézar, S.; Pipino, H.	794
IG11-007	ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE COLECTORES SOLARES ANTE LA VARIACIÓN DE SUS PARÁMETROS FUNDAMENTALES Bon, N.; Schmidt Waigel, J.; D' andrea, A.	800
IG11-008	APLICACIÓN DE PRUEBAS DE CONOCIMIENTO CERO (ZKP) EN INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA LA MEJORA DE LA SEGURIDAD Y PRIVACIDAD DE LOS DATOS Borgogno, F.; Cañas, F.; Cetti, P.; Lucero Ruiz, M.; Quesada, S.; Boiero, F.	806
IG11-009	OPTIMIZACIÓN DE TÉCNICAS DE PREPARACIÓN METALOGRÁFICA PARA TITANIO COMERCIALMENTE PURO Melia, M.; Correa, O.; Brandaleze, E.	812
IG11-010	DESARROLLO DE UN DISPOSITIVO PARA LA MEDICIÓN DE HUMEDAD EN MEZCLAS PARA LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA (BTC) Pilatti, R.; Cabrera, S.	818
IG11-011	ESTUDIO DE LA RESISTENCIA AL DESGASTE Y A LA CORROSIÓN DE RECUBRIMIENTOS PVD DE AlCrN DEPOSITADOS SOBRE AISI 4140 NITRURADO Y SIN NITRURAR Chaldain, T.; Romero, V.; Maskavizan, J.; Dalibón, E.	824
IG11-012	ESTUDIO DE LA RESISTENCIA AL DESGASTE Y A LA CORROSIÓN DE DISTINTOS RECUBRIMIENTOS DLC DEPOSITADOS SOBRE ACERO AISI 4140. Romero, L.; Maskavizan, J.; Delfin, F.	830
IG11-013	CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES ABRASIVAS DEL SUELO EN ENTORNOS NATURALES Herasimovich, J.; Delpupo, M.; Mansilla, G.	836
IG11-014	CALIDAD MICROBIOLÓGICA DE BUDINES DE ZANAHORIA, ANANÁ Y NUECES ENVASADOS EN ATMÓSFERA MODIFICADA. Schmith, K.; Zuriaga, M.; Bono, C.; Moyano, S.; Marín, G.	842
IG11-015	DISEÑO DE MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA TRANSFERENCIA DE OXÍGENO EN FERMENTADORES DE CERVEZA Avila, J.; Soressi, R.; Godoy, E.; Campetelli, G.; Martinet, R.	847
IG11-016	OPTIMIZACIÓN DE LA RECUPERACIÓN Y REUTILIZACIÓN DE LEVADURAS EN PEQUEÑA ESCALA PARA LA PRODUCCIÓN DE CERVEZA ARTESANAL Boz Magni G.; Aramburu, T.; Zapata, L.; Rubio Bonnet, M.; Rey, S.; Modica, C.; Godoy, E.; Campetelli, G.; Martinet, R.	853
IG11-017	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO AL DESGASTE Y A LA CORROSIÓN DE AISI 316L NITROCARBURADO POR PLASMA Mendelevich, A.; Dalibón, E.	859

Código	Trabajos y autoría	Pág.
IG11-018	SIMULACIÓN ESTRUCTURAL DE UNA PALA NIVELADORA DE ARRASTRE DE USO AGRÍCOLA Niconezuk Picca, T.; Anaya, M.; Marino, M.; Tais, C.; Costamagna, M.	865
IG11-019	CARACTERIZACIÓN DE LA DEMANDA EN USUARIOS RESIDENCIALES DE SANTA FE Basilio, K.; Nagel, R.; Sangoi, E.; Manassero, U.	871
IG11-020	ANTENA HELICOIDAL vs ANTENA YAGI-UDA PARA RECEPCIÓN EN VHF DE ESTACIÓN TERRENA SATELITAL Alessandria, A.; Peretti, G.; Felissia, S.; Bossio, J.	877
IG11-021	DESARROLLO DE MATRICES POLIMÉRICAS pH-RESPONSIVAS CON APLICACIÓN EN CAPTACIÓN DE METALES PESADOS Pardini, A.; Pardini, O.; Faccia, P.; Pardini, F.	883
IG11-022	ESTACIÓN DE MONITOREO DE VARIABLES ATMOSFÉRICAS BASADO EN MICROCONTROLADOR RASPBERRY PI PICO W Manicardi, R.; Alaniz, A.; Forneris, J.; Salvático, F.; Gonella, J.	889
IG11-023	CONTROL DE TEMPERATURA EN REACTOR MEDIANTE LA REGULACION DEL CAUDAL DE VAPOR EN SERPENTINA UTILIZANDO PID EN CASCADA Manicardi, R.; Alaniz, A.; Forneris, J.; Catalano, J.; Doffo, A.	895
IG11-024	SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA APLICADO A CENSO FORESTAL: RELEVAMIENTO EN ZONA FUNDACIONAL DE LA CIUDAD DE SAN RAFAEL (MENDOZA) Sanchez, A.; Fernandez, F.; Borkert, I.; Soengas, C.; Biondi, L.	901
IG11-025	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO AL DESGASTE DEL ACERO AISI 420 NITRURADO Y NITROCARBURADO POR PLASMA Chaparro, N.; Dalibón, E.	907
IG11-026	SISTEMA INTEGRAL DE GESTIÓN DE ENERGIA: NEXT ENERGY MANAGMENT SYSTEM Fernández Perlo, A.; Valentini, M.; Rovigno, M.; Famá, Á.	913
IG11-027	UNA HERRAMIENTA DE HIGH-LEVEL SYNTHESIS EN PYTHON PARA ACELERACIÓN POR HARDWARE EN SOFTCORES RISC-V Pereira Nuñez Machado, M.; Borello, F.; Simone, R.; Ferreyro, L.; Furfaro, A.	919
IG11-028	SELECCIÓN DE COMPONENTES PASIVOS EN FILTROS BICUADRÁTICOS PASA-ALTO UTILIZANDO OPTIMIZACIÓN POR ENJAMBRE DE PARTÍCULAS Mendaro, L.; Alberto, L.; Acevedo, E.; Romero, E.; Peretti, G.; Lovay, M.	925
IG11-029	ECTA - TRAZADOR DE CORRIENTE PARA ALGORITMOS (ELECTRIC CURRENT TRACER FOR ALGORITHMS) Orona, F.; Aló, F.; Ferreyro, L.; Simone, R.; Furfaro, A.	931
IG11-030	PIROLISIS NO CATALÍTICA DE RESIDUOS PULPA DE PERA PARA LA OBTENCIÓN DE PRODUCTOS DE MAYOR VALOR AGREGADO Bustamante, J.; Poncio, C.; Guiñazú, N.; Falcon, H.	937
IG11-031	CONTROL DE NIVEL Y CAUDAL MEDIANTE PID EN CASCADA Galeano, J.; Bonetto, A.; Cortece, A.; Catalano, J.; Doffo, A.	942

Trabajos de Docentes, Investigadoras e Investigadores

COMERCIALIZACIÓN DE PRODUCTOS AGROPECUARIOS EN VILLA MARÍA Y SU REGIÓN DE INFLUENCIA

Eugenia Ariotti, Hugo Dellavedova, Sergio Dequino, Daniel Correa

Facultad Regional Villa María, Universidad Tecnológica Nacional.
Avenida Universidad 450. CP 5900. Villa María.
dcorrea.vm@gmail.com

Resumen

El presente trabajo permite adquirir conocimientos sobre la manera en que los productores agropecuarios de la ciudad de Villa María y su región de influencia realizan la comercialización de la producción obtenida en sus establecimientos, y realizar un análisis de dicha información de manera segmentada, permitiendo conocer el sistema de comercialización empleado de acuerdo con la escala de los establecimientos regionales.

El área explorada se ha seleccionado debido a que se encuentra ubicada en el centro del país, en uno de los polos agropecuarios más importantes del mismo, destacándose como una de las cuencas lácteas más relevantes a nivel nacional, conjugada con la producción de ganado de carne y de granos y considerando el entramado de rutas internacionales, nacionales y provinciales que atraviesan la región.

Siendo fundamental generar información clara, precisa y real sobre el modelo de comercialización ya que el análisis del mismo afecta el proceso decisorio de empresarios y profesionales del sector agropecuario quienes deben brindar soluciones focalizadas según el tipo de producción y tamaño del sistema.

La investigación se enfocó de manera central sobre las encuestas realizadas a los productores agropecuarios, proveedores de insumos, referentes del sector, entre otros, mediante una investigación de carácter exploratoria – descriptiva.

Algunas conclusiones obtenidas fueron que los productores alquilan el 76% de las tierras y solo el 24% son propias, sobre las empresas relevadas de un total de 32.842 hectáreas y también que en la región predomina la actividad tambera con un 54%, seguida por la agrícola con 40% (incluye forraje y grano) y con un 6% la ganadería y fundamentalmente se obtuvo información relevante respecto de los canales de comercialización de las distintas actividades, de las formas de venta y de las modalidades de cobro que se utilizan.

Palabras claves: Comercialización, Productor, Productos, Canales de Comercialización

Introducción

La actividad Productiva de la región está representada en su mayoría por la producción de leche, continuando en orden la agricultura y la ganadería. Así, es importante destacar que la principal cuenca láctea de la argentina se encuentra en la provincia de Córdoba aportando el 34,4% de la producción Nacional, luego le siguen la Provincia de Santa Fe con un 32%, Bs As con un 25,7% y el resto del país con un 7,9% de dicha producción.

La región se caracteriza por contemplar sistemas productivos mixtos (tambo, ganadería y agricultura). La actividad tambera y ganadera compiten fundamentalmente con la actividad agrícola por el uso del suelo. La mayor rentabilidad de los cultivos respecto del tambo y la ganadería resulta, desde mediados de los noventa, en un uso más intensivo del suelo y en una relocalización de la actividad ganadera hacia tierras de menor productividad relativa en la región.

Por otro lado, es significativo resaltar que los factores climáticos recientes (sequía) vienen afectando a la región con un impacto directo en la disponibilidad de forraje y reserva para la producción ganadera y tambo, aportando así menor producción de granos y traduciéndose en un aumento de su costo para la alimentación.

El sector agropecuario en su conjunto se encuentra en el desafío de buscar la eficiencia en su escala de producción, teniendo en cuenta la volatibilidad de los precios de los insumos (semillas, herbicidas, insecticidas, etc.) y costos de producción (Mano de Obra, equipamiento para siembra, fertilización, fumigación, etc.).

La comercialización de productos agropecuarios es una etapa tan importante como la producción, y al tratarse de comodities, en muchos casos, puede implicar diferencias significativas en la rentabilidad de la actividad.

Los comodities se definen como bienes que tienen bajo nivel de diferenciación o especialización, el mercado de comodities se caracteriza principalmente porque los márgenes son más exiguos o escasos.
Caldentey Albert y Gómez Muñoz 1993. Señala que la comercialización agropecuaria presenta características particulares que la diferencian de los bienes y servicios producidos por otros sectores de la economía. La naturaleza perecedera de los productos agrícolas y ganaderos, así como su dependencia del clima y otros factores externos, hacen que la comercialización agropecuaria sea única en su complejidad.

Por otro lado, Coscia 1978, aporta que la comercialización de productos agropecuarios abarca todo el proceso que media desde que el producto sale de la explotación hasta que llega a manos del consumidor final.

El equipo de trabajo posee amplia experiencia en trabajos de investigación, podemos destacar el denominado “Desarrollo de un sistema de análisis económico de diferentes tambos en la cuenca láctea Villa María”. Cuyo objetivo general fue el estudio y seguimiento de distintas variables como: litros por vaca en ordeñe (Lts/VO); cabezas por hectáreas (Cab./ha); entre otros. El lugar de trabajo fue el Departamento LAR. (REN1231 – DISP. SCyT Nº 160/10).-

Además parte del equipo se encuentra trabajando en el Proyecto de Investigación denominado “Mapeo de actores claves del sector agropecuario de Villa María y la Región, cuyo objetivo general es determinar y analizar el entramado de relaciones existentes entre los diferentes actores sociales claves en el ámbito agropecuario de Villa María y la Región.-

Para el desarrollo del presente proyecto se cuenta con docentes y alumnos de diferentes especialidades (Ing. Químico, Lic. en Administración de Empresas, Lic. en Administración Rural) para poder obtener un trabajo interdisciplinario con diferentes miradas.-

Metodología

La presente investigación se enfocó de manera central sobre las encuestas realizadas a los productores agropecuarios, proveedores de insumos, referentes del sector, entre otros, mediante una investigación de carácter exploratoria – descriptiva.

Para llevar a cabo dicha encuesta se realizó un Muestreo aleatorio simple equivalente a un 8% sobre un total de 800 productores con una superficie que promedia entre 100 y 350 hectáreas, de esta manera se consideró la muestra seleccionando aleatoriamente al grupo de productores que fuesen representativos de la población total, con el fin de recopilar información relevante sobre el estado, las prácticas y las necesidades del sector. El muestreo es una técnica clave para obtener

datos precisos y confiables en una encuesta, por ello al elegir el método se consideraron muchos factores, incluyendo los recursos disponibles, el tamaño, la diversidad de la población, y los objetivos específicos del estudio.

Con la perspectiva exploratoria se logró recabar información para conocer la situación puntual de productores agropecuarios y agentes relacionados. Esta primera aproximación permitió reconocer los distintos segmentos de productores, tamaño y capacidades de sus sistemas productivos, actividades desarrolladas en sus establecimientos, ubicación geográfica y canales de comercialización utilizados habitualmente, que constituyen la parte descriptiva de esta investigación.

La investigación en cuestión se dividió en diferentes etapas concentrando su interés en el análisis correspondiente a cada grupo segmentado de establecimientos agropecuarios, procurando realizar un informe de los canales y medios de comercialización utilizados y permitiendo el procesamiento y análisis de dicha información. Dentro de esta etapa se presenta el plan de trabajo, subdividido en 4 subetapas (Relevamiento, Diagnostico, Análisis FODA y Análisis de Variables).

Resultados

Luego del análisis y tratamiento de los datos recolectados en las encuestas realizadas y a partir de la muy buena recepción que tuvieron los empresarios respecto de los objetivos del trabajo, se obtuvieron los resultados vinculados a los aspectos de interés, los cuales se presentan a continuación.

En el ámbito económico y productivo de la región centro del país, el sector agropecuario es una de las cadenas productivas más importantes; siendo un motor para la economía regional. El presente proyecto analiza la modalidad de comercialización de las principales actividades agropecuarias tambo, agricultura y ganadería; utilizando la modalidad de encuesta para realizar la recolección de datos en campo y analizar las ventajas y desventajas del sistema de comercialización actual. Por consiguiente, se presenta un resumen de los principales indicadores.

Establecimientos Agropecuarios

Del total de encuestas relevadas en las diferentes actividades productivas uno de los datos más importantes es que los productores alquilan el 76% de las tierras y solo el 24% son propias, de un total de 32.842 hectáreas (Fig.1a). También se desagregaron las actividades productivas, reflejándose en el siguiente gráfico, que en la región predomina la actividad tambera con un 54%, seguida por la agrícola con un 40% (incluye forraje y grano) y por la ganadería con un 6% (Fig. 1b).

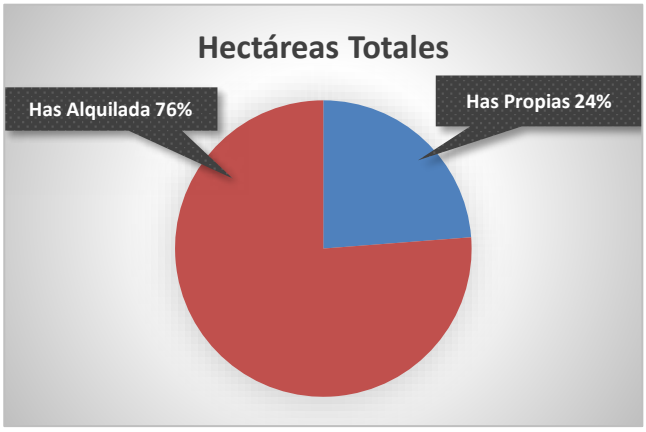


Fig. 1. a) Propiedad de la superficie utilizada. Fig 1

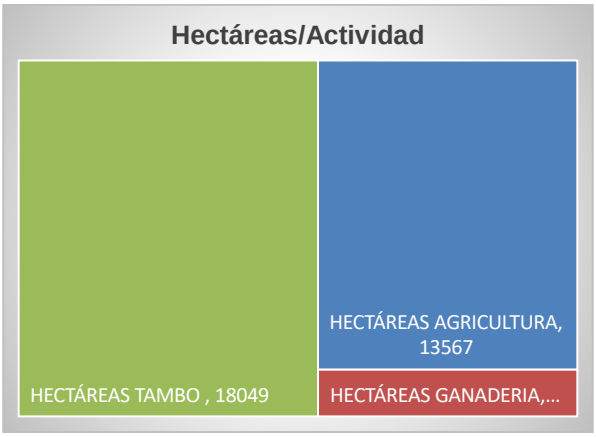


Fig 1. b) Superficie productiva según actividad Fig.

Cabe destacar que en la distribución de la tierra los establecimientos se caracterizan por ser mixtos combinando las diferentes actividades (tambo-ganadería, tambo- agrícola, ganadero-agrícola), representando más del 60% de los establecimientos.

Para entrar en más profundidad se analizaron los tres subsistemas en forma separada para establecer la modalidad de comercialización de cada actividad.

Producción Agrícola

La producción agrícola es uno de los sistemas más dinámico, con características especiales de producción por la estacionalidad de los cultivos, son productos perecederos, con volúmenes de producción que afectan el almacenamiento y logística de los granos en la cosecha de éste, expuesto a los factores agroecológicos.

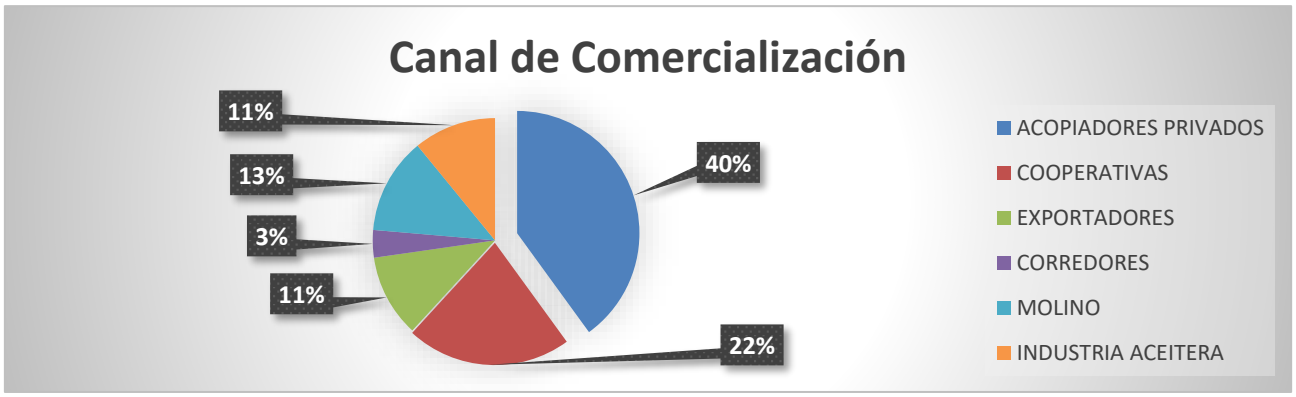


Fig. 2. Canal de Comercialización.

En el presente gráfico (Fig.2) se detallan los canales de comercialización reflejándose la importancia de los intermediarios en el proceso de concentrar la oferta en la región de influencia, para posteriormente poder vender la producción con mayor volumen a los industriales y exportadores.

Se destaca que el 62% del canal es ocupado por acopios y cooperativas agropecuarias de las localidades, el 22% es ocupado por industrias locales y de la región (ACA BIO, AGD, Bunge, Molino fénix) representando el 84% del canal, generando empleo y crecimiento local y región.

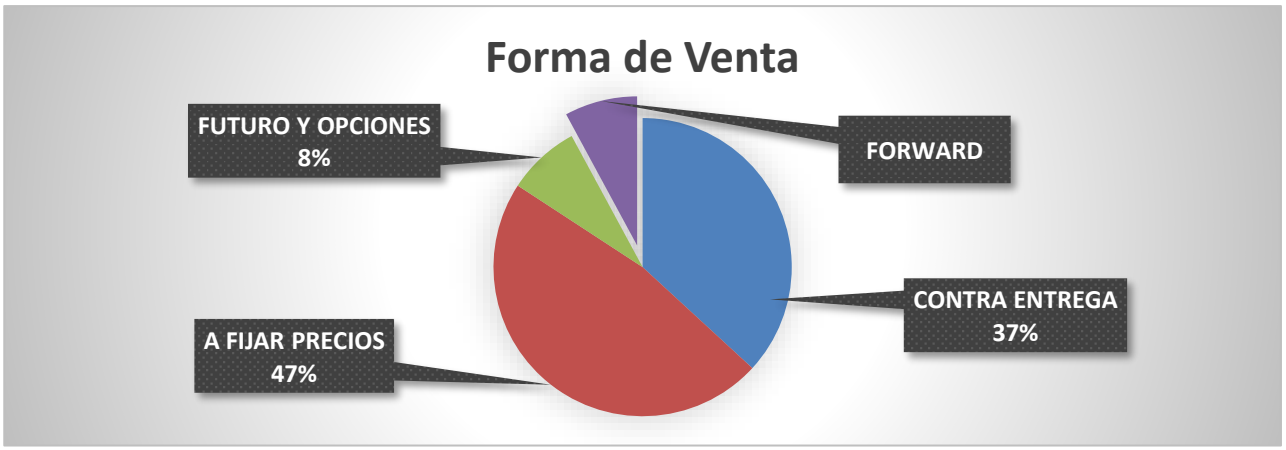


Fig. 3. Forma de Venta.

Por otro lado, también para destacar se buscó determinar las formas de venta del productor agrícola (Fig.3), teniendo como resultado que el 47% de los productores entrega la mercadería a cosecha pactando con el intermediario o comprador las condiciones de venta, sin definir el precio, tomándose en su mayoría unos 90 días para cerrar la operatoria. Esta modalidad refleja que el productor no cuenta con espacios físicos de almacenamiento y accede a estos instrumentos para no vender en el momento de la cosecha sus granos donde la oferta es alta y el precio cae.

En segundo lugar, con el 37% se utiliza el sistema contra entrega donde se abona a los 7 días el 98,5% de la liquidación y el saldo al determinar su calidad. El 16% restante son formas de ventas donde el productor fija el precio en forma anticipada. Forward es utilizado por la industria para fijar precio y mercadería asegurando tener la materia prima de su industria. El mercado futuro fija precio de la mercadería sin obligación de entrega, es una forma de obtener un precio óptimo a la cosecha y no quedar expuesto a las variaciones de precio.

Producción Ganadera

La actividad ganadera (Fig.4), que en el análisis reflejó que del total encuestado en la región se realizan todas las actividades de la cadena, desde la cría (producción de terneros), recría (ciclo de invernada) terminando los animales en feed lot (14%) e Invernada tradicional (16%). Se destacan establecimientos de cabañas con un 5%.

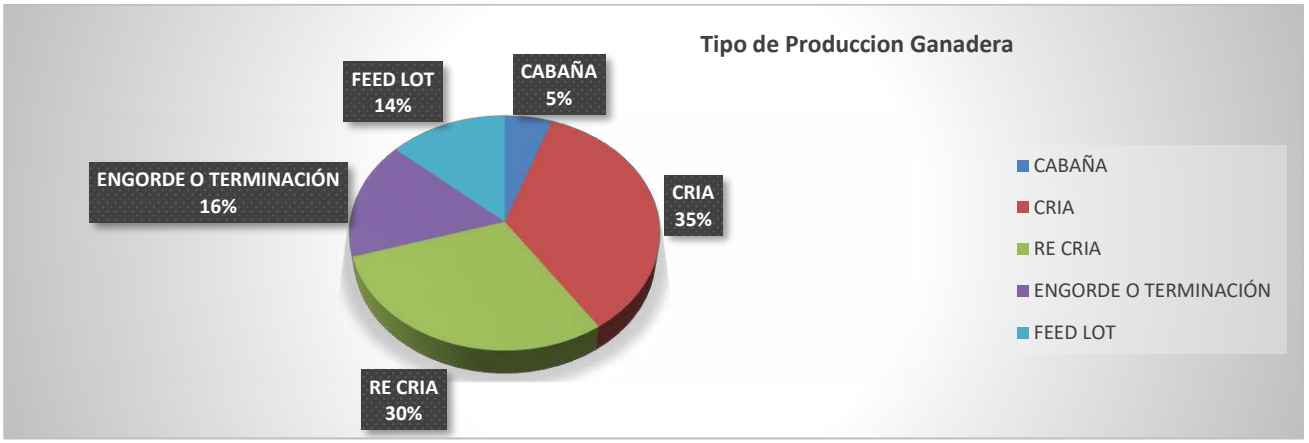


Fig. 4. Tipo de Producción Ganadera

Los canales de comercialización utilizados por los ganaderos se encuentran concentrados con un 71% en tres actores principales (Ferias, Remate, Matarife), el resto comisionista, mercado concentrador, etc. se destaca la utilización del cara a cara y la intervención de consignatarios locales, permitiendo mayor seguridad de cobranza. El sistema de pago más utilizado es, con un 42%, cheques a 30 días, seguido por trasferencias y cheques diferidos a 60, 90 días. Este último, el cheque diferido, es un crédito comercial muy utilizado por las empresas para financiamiento de compras o ventas en el corto plazo.

También para complementar la modalidad de comercialización se les consultó sobre la participación de ventas grupales o convenios de precios con compradores, donde se detectó una clara individualidad de la venta, sin convenios específicos.

Financiamiento Sector Ganadero

Por último, se detalla en el siguiente gráfico (Fig.5), el método de financiamiento que utiliza el sector ganadero, donde el 58% se financia con proveedores, el 38% con cheques diferidos (fecha futura), y créditos en menor medida.

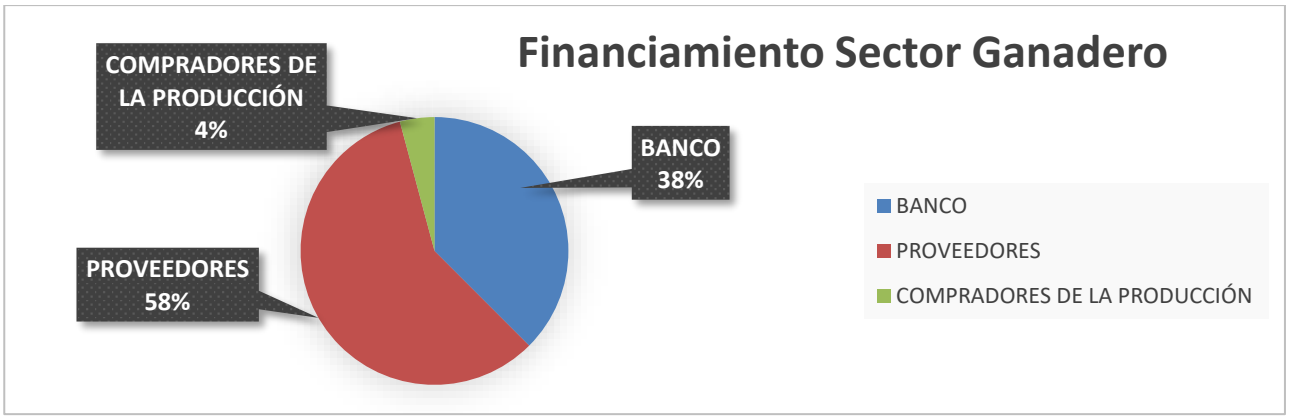


Fig. 5 Financiamiento Sector Ganadero

En la encuesta realizada se ve reflejado que, en su mayoría, los productores se financian con proveedores mediante la apertura de una cuenta corriente, permitiéndole al productor adquirir los insumos necesarios y realizar el pago de estos, con un interés que dependerá del plazo de pago otorgado.
En segundo lugar, se observa que otra forma de financiamiento es a través de los bancos y la apertura de cuentas corrientes y el otorgamiento de chequeras, así los productores se financian a corto plazo dentro de los 365 días a través de cheques diferidos para cubrir las necesidades temporales de liquidez para la empresa y obtener insumos veterinarios, agropecuarios, alimentos, etc.
Por último, es importante resaltar que en menor medida el productor se financia con créditos provistos por los bancos para compras de herramientas, maquinarias y mejoras en instalaciones.

Producción Tambera

La actividad tambera de Villa María y la región se caracteriza por tener tambos con una producción media de 5.000-10.000 litros de leche (44%), seguidos por tambos de 10.001 a 20.000 litros de leche (25%), el resto distribuidos en grandes y pequeños tambos (Fig.6).

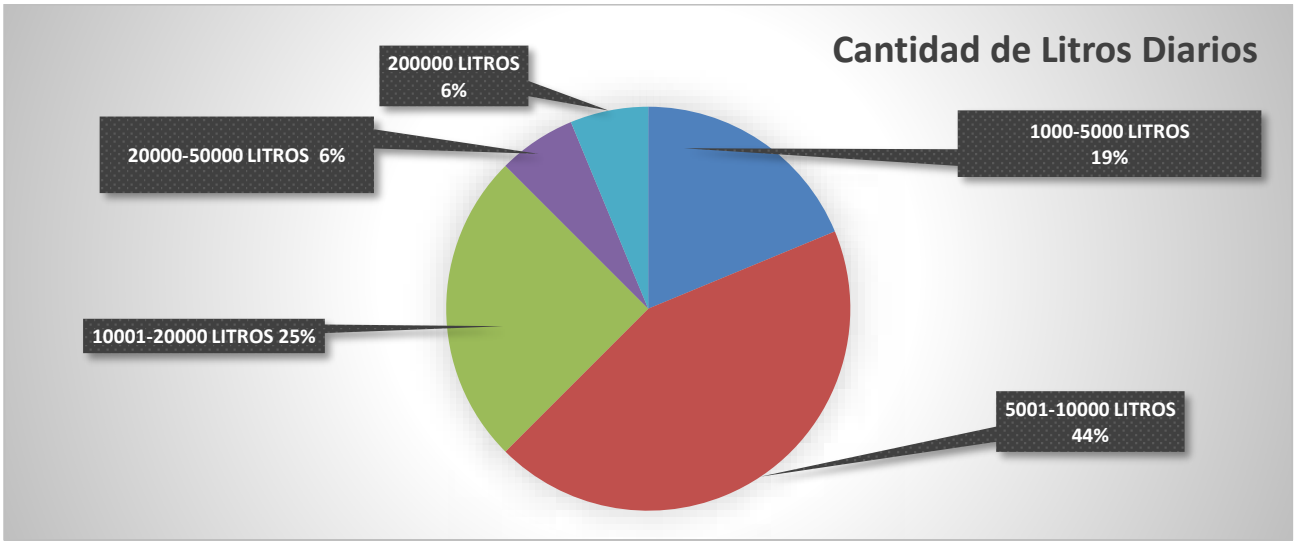


Fig. 6 Cantidad de Litros de Leche Diario

El 63 % se caracteriza por el “tambo medio argentino”, siendo el modelo mas generalizado de las principales cuencas del país (zona central de Santa Fe y Córdoba) que tiene 250 hectáreas, de las que el 85% se destina a ganadería y el resto a agricultura. El sistema de alimentación es de tipo pastoril, con predominio de alfalfa, y se complementa con un importante uso de reservas (heno y silaje) y alimentos concentrados, lo que lo diferencia de otros sistemas pastoriles netos, como Nueva Zelanda, y también de los sistemas estabulados del hemisferio norte.

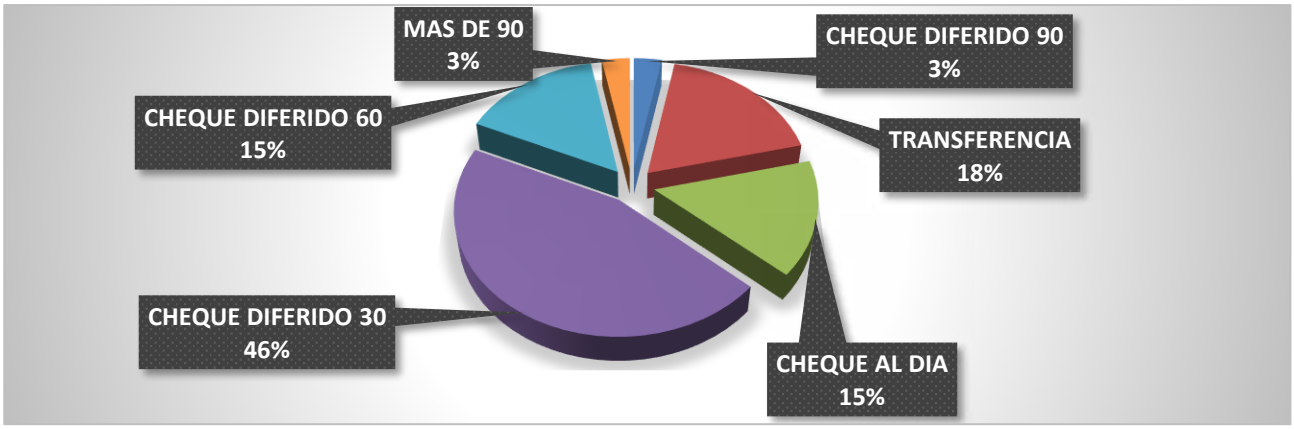


Fig. 7 Forma de Cobro

Las características de la comercialización son diferentes en cada actividad, la producción de leche es una actividad con un producto perecedero y con grandes volúmenes, donde se realiza una rutina diaria de ordeñe y se almacena en equipos de fríos.

El productor tambero es muy dependiente de la fábrica láctea con respecto de las finanzas, su producto es muy perecedero y no se puede conservar o almacenar como un cereal, o un novillo que podemos retener en el establecimiento. La Forma de pago es por medio de cheque a fecha representado en su mayoría con cheques a plazo con 67% (Fig.7), el saldo es trasferencia o cheque al día. Este sistema de pago diferido impuesto por las usinas lácteas es desfavorable para poder negociar con proveedores con descuentos por pagos de contado para las compras de insumos, alimentación, servicios, etc.

Conclusiones

La región de Villa María, ubicada en la provincia de Córdoba, Argentina, es reconocida por su destacada actividad agropecuaria. Con condiciones climáticas favorables, suelo fértil y una larga tradición en el sector, la región se ha convertido en un importante polo productivo en el país. Teniendo en cuenta su contexto Geográfico, se encuentra en la región central de Argentina con un clima templado, ideal para una gran variedad de cultivos, contando con suelos de alta productividad bien drenados aptos para la agricultura y la ganadería.

Las encuestas realizadas a los diferentes actores del sector agropecuario arrojaron diferentes valores respecto a la comercialización.

En cuanto a los canales de comercialización, la agricultura (trigo, maíz, soja, etc.) se desarrolla en su mayoría a través de acopios y cooperativas locales; la ganadería mediante ferias, remates y matarifes y el tambo directamente a usinas lácteas de la región.

Por otro lado, en referencia a la forma de venta y cobros, la agricultura en su mayoría entrega la mercadería a fijar precio por falta de capacidad de almacenamiento, cobrando con pagos a 30 días o más; la ganadería y el tambo en su mayoría cobran entre 30 y 60 días.

De manera general las actividades relevadas financian sus insumos por medio de proveedores y en menor medida a través de bancos.

Los plazos de cobro largos pueden afectar la liquidez de los productores agropecuarios. La falta de ingresos inmediatos puede dificultar el pago de costos operativos, como insumos, salarios y servicios, lo que podría llevar a problemas de flujo de efectivo y la necesidad de recurrir a financiamiento externo con costos extras que complican la gestión debido a los márgenes reducidos de la actividad, por tal motivo es indispensable continuar recopilando información valiosa, necesaria y actualizada que permita mejorar la toma decisiones a las empresas agropecuarias.

El presente trabajo permitió seguir profundizando en la detección de los factores que afectan el sector y la falta de información específica (indicadores costos, precios, insumos servicios, financiamientos, etc.), que pueda ser utilizada por los productores a la hora de tomar decisiones adecuadas.

Desde la carrera Licenciatura en Administración Rural, de la UTN Facultad Regional Villa María, se creó el Observatorio agropecuario que podrá ser un referente para aportar información confiable e independiente para el sector y su cadena de valor.

Referencias Bibliográficas

Caldentey Albert, P. y Gómez Muñoz, A.C (1993) “Economía de los Mercados Agrarios”. Ediciones Mundi Prensa. Madrid.

Coscia, A. (1978). “Comercialización de Productos Agropecuarios”. Hemisferio Sur. Argentina.
Ponce, J. (1997) “Aspectos económicos de la comercialización y los mercados agropecuarios” Gráfica Noroeste. Tucumán.

Carlos Steiger – Rocerto Feeney, (2009). “Características del Productor Argentino y Modalidades de Comercialización”. Universidad Austral, Sede Rosario.

Dr. Carlos Daniel Saravia, (2009). “Comercialización y Mercados Agropecuarios”. Universidad Nacional de La Pampa.

EVALUACIÓN DE CLOROFILA α EN LAGUNA FACULTATIVA PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

Melisa R. Baumann[1], Graciela Marín[1,2], Fernanda G. Biolé [1,2,3]

[1]FRVM UTN. Av. Universidad 450 – XGB5900 Villa María, Córdoba, Argentina.
[2]Grupo de Investigación y Desarrollo en Alimentos e Ingeniería Química, FRVM UTN. Av. Universidad 450 – XGB5900 Villa María, Córdoba, Argentina.
[3]Instituto Multidisciplinario de Investigación y Transferencia Agroalimentaria y Biotecnológica (IMITAB-CONICET), UNVM. Av. A. Jauretche 1555, X5900 Villa María, Córdoba, Argentina.
melisabaumann4@gmail.com
meli_000b@hotmail.com

Resumen

La determinación de clorofila *α* en muestras de agua permite una estimación de la concentración de algas fitoplanctónicas y es comúnmente utilizada para evaluar el estado trófico de los ambientes acuáticos. El objetivo de esta investigación es evaluar el comportamiento de las lagunas facultativas secundarias de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Cloacales e Industriales, mediante la determinación de clorofila *α* (Alpha).

La extracción y medición de la concentración de clorofila se realiza por el método 10200 H Chlorophyll del Standard Methods for examination of Water and Wastewater mediante espectrofotometría UV-visible. Se aplica la ecuación tricromática de Jeffrey y Humphrey. Además, se relacionan parámetros físicos, químicos y biológicos, como indicadores de calidad y contaminación, tales como potencial hidrógeno (pH), demanda biológica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos disueltos totales (SD), disueltos fijos (SDF) y disueltos volátiles (SDV).

Según la clasificación del estado trófico del sistema (oligotrófico, mesotrófico, eutrófico), los resultados obtenidos lo clasifican como eutrófico por presentar concentraciones de clorofila *α* superiores a 15 mg/m^3, siendo la máxima concentración reportada de 955 mg/m^3. A pesar de ello, considerando el rango de concentración de clorofila *α* óptimo para lagunas facultativas (1000 a 3000 mg/m^3), se puede inferir que la laguna no se encuentra lo suficientemente eutrofizada. Todos los parámetros físicos, químicos y biológicos medidos, se encuentran dentro de los rangos estándares acordes a lo establecido. El pH, se mantiene en la neutralidad, siendo lo recomendable entre 6 y 9. Las relaciones DQO/DBO arrojan valores entre 1,67 y 2,64, con un promedio de 2,15, lo que sugiere que las aguas residuales reciben efluentes que no afectan la biodegradabilidad de la materia orgánica al hacer que la relación DQO/DBO adquiera valores inferiores a 2,5. Finalmente, las concentraciones de los SD, SDF y SDV evidencian una alta concentración de iones disueltos, indicando una alta mineralización en el sistema.

Palabras Clave: Algas, Pigmentos Fotosintéticos, Biomasa, Eutrofización, Aguas Residuales.

Introducción

El agua es un recurso limitado y primario para la vida, en la cantidad y calidad adecuada ayuda al desarrollo sostenible (Castrillón, 2022). El acelerado desarrollo poblacional y la gran demanda del recurso hídrico dan lugar a la contaminación de las aguas y, por ende, la perdida de la vida acuática en ríos. Esta problemática requiere de estudios que ayuden a tomar medidas para recuperar las aguas residuales y darles un uso productivo en el desarrollo de la vida terrestre (Marín et al., 2022).

Las algas juegan un rol muy importante en los cuerpos de agua y en el medio ambiente en general, y, debido a la alteración de los ecosistemas por el impacto antropogénico, consisten en una alternativa verde para el tratamiento de las aguas principalmente por la alteración masiva de los

ciclos biogeoquímicos de sus elementos químicos. El 99,9% de la biomasa de las algas está formada por seis elementos principales: carbono, oxígeno, hidrógeno, nitrógeno, azufre y fósforo. Sus elementos trazas son calcio, potasio, sodio, cloro, magnesio, hierro y silicio, denominación atribuida a que son necesarios solo en cantidades catalíticas. Todos los elementos que se incorporan en la materia orgánica son eventualmente reciclados a formas inorgánicas por medio de la mineralización. Ecológicamente, el aspecto más importante del reciclaje en los cuerpos de agua es la tasa a la cual se reciclan los nutrientes que limitan el crecimiento. Entre los nutrientes que se encuentran en bajas concentraciones, pero que son requeridos para el crecimiento del fitoplancton se mencionan: nitrato (NO_3), hierro, fosfato (PO_4) y silicio disuelto [$Si(OH)_4$]. Las algas son importantes para el ciclo biogeoquímico debido a la captación, asimilación y producción de carbono, oxígeno, nitrógeno, fósforo, silicio y azufre (Guamán Bumeo et al., 2016).

La clorofila es un pigmento verde que presentan los vegetales, algunas algas protistas y cianobacterias, es la encargada de absorber la luz para realizar la fotosíntesis. Las algas al poseer este pigmento, logran generar oxígeno, el cual, a su vez, degrada la materia orgánica que se encuentra en el agua, provocando malos olores y colores desagradables, por lo que la clorofila se vuelve un parámetro para evaluar la calidad del agua, brindando información de la cantidad de algas y el estado trófico del medio. Los ríos, cascadas y lagos están expuestos a contaminación debido a residuos de la actividad humano (ganadería, agricultura, vertimientos de aguas residuales no tratadas) por lo que se genera un desequilibrio ambiental que generalmente conlleva a una carga de nutrientes que provoca la eutrofización de las aguas, principalmente Nitrógeno (N) y Fósforo (P), originando un crecimiento descontrolado de algas fitoplanctónicas (Castrillón, 2022).

La tecnología de depuración de aguas residuales conocida con el nombre genérico de Lagunaje, se caracteriza por reproducir en estanques, condiciones que permitan el desarrollo de una población saludable de algas, ya que el oxígeno para la remoción bacteriana de la demanda biológica de oxígeno (DBO) es generado mayormente por la fotosíntesis de las algas; de la misma manera que se dan los fenómenos de autodepuración de forma natural en ríos y lagos. Si existe un exceso en la población de algas se generará, principalmente, malos olores y colores desagradables; y, por el contrario, si existe poca cantidad de algas, no se producirá el oxígeno necesario para la oxidación de la materia orgánica (Caldera et al., 2013).

Para evaluar el estado ambiental de un sistema acuático son utilizadas diferentes variables, entre ellas algunas de carácter biológicas relacionadas con los productores primarios, como el fitoplancton. Estas variables comprometen dos tipos de estimación, la concentración de la clorofila α y el biovolumen geométrico basado en la morfología de las algas. La primera se utiliza para estimar en forma indirecta la biomasa de las comunidades fitoplanctónicas ya que es el principal pigmento fotosintético presente en los diferentes grupos de algas, también es un indicador del estado fisiológico del fitoplancton y del estado trófico de los sistemas acuáticos, mientras que la segunda es reconocida como un factor altamente potente para evaluar la ecología y los patrones de distribución de las comunidades fitoplanctónicas, considerando el volumen de las formas dimensionales en combinación con el conteo al microscopio (Hernández et al., 2011).

Dependiendo de la concentración de clorofila *α* los cuerpos de agua se clasifican de la siguiente manera trófica (Tabla 1):

Tabla 1: Nivel de eutrofización según concentración de clorofila (Castrillón, 2022).

Eutrofización	**Concentración de clorofila**
Sistema oligotrófico	[0,3 – 3] mg Clorofila *α*/m^3
Sistema mesotrófico	[3 – 15] mg Clorofila *α* /m^3
Sistema eutrófico	[15 a 500] mg Clorofila *α* /m^3.

Materiales y métodos

La determinación de clorofila se lleva a cabo en el Laboratorio de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Villa María. En dicho laboratorio también se preparan las soluciones necesarias. El método analítico aplicado para la extracción de clorofila es el correspondiente a la 10200 H Chlorophyll del Standard Methods for examination of Water and Wastewater, (APHA/AWWA/WEF., 2017). Este método establece objeto, alcance, principio del método, equipos, reactivos necesarios para su desarrollo y procedimiento. Divide la técnica en tres etapas: (1) Extracción de pigmentos; (2) Determinación espectrofotométrica de clorofila; (3) Cálculos (APHA/AWWA/WEF. 2017). Se agrega en este estudio una cuarta etapa de observación al microscopio.

El método 10200 H Chlorophyll sirve para determinar la clorofila a, b y c. Consiste en, recolectar una muestra de agua, filtrarla para concentrar el fitoplancton, romper mecánicamente las células recolectadas y extraer la clorofila de las células rotas empleando un solvente orgánico. La facilidad con la que se eliminan las clorofilas de las células varía considerablemente con los diferentes grupos de algas. La determinación de clorofila α, se lleva a cabo empleando la técnica de espectrofotometría UV-visible, utilizando las conocidas propiedades ópticas de este pigmento fotosintético; bandas de absorción en el espectro visible en el entorno a la región del rojo (600-700 nm). Se aplica la ecuación de Jeffrey y Humphrey. Los resultados se evalúan con el programa estadístico Infostat (Di Ienzo et l., 2020). Finalmente, mediante el empleo de un microscopio óptico (Marca Carl Zeiss) con cámara Digital (Modelo AxioCam 208 color), se observa el fitoplancton presente en las muestras de agua estudiadas. Además, se evalúan otros parámetros de dichas muestras como pH, DBO_5, DQO, SDT, SDF y SDV a partir de Standard Methods (APHA/AWWA/WEF., 2017).

Las muestras se extraen de las lagunas facultativas correspondientes a la planta de tratamiento de líquidos cloacales e industriales. Dichas lagunas corresponden al tratamiento secundario de la Planta en estudio. Se toman 2 muestras de dicha laguna facultativa secundaria, durante los meses de julio y agosto del año 2023, a una profundidad de 10 cm por debajo de la superficie, en botellas plásticas boca ancha, de 3 L. Se resguardan de la luz y refrigeran, hasta el comienzo de la determinación.

Desarrollo Experimental

ETAPA 1: Extracción de pigmentos clorofílicos

Tabla 2. Descripción de las muestras analizadas.

Fecha muestreo	Denominación de la muestra	Volumen de filtración (ml)
01/08/2023	M0	15
01/08/2023	M1	25
01/08/2023	M2	50
08/08/2023	M3	100

Una vez recolectadas, las muestras se conservan en frio (4°C) y se cubren con una bolsa plástica negra, para evitar la degradación de la clorofila por 24 horas. Todas las muestras se analizan por duplicado, y se estima el promedio.

Las muestras se concentran por filtración. Se utiliza un Portafiltro de policarbonato con reservorio de 250 ml, autoclavable, acoplado con una bomba de diafragma MZ 1C y filtros de fibra de vidrio de 0,45 mm de porosidad, 47 mm de diámetro (Fig. 1).

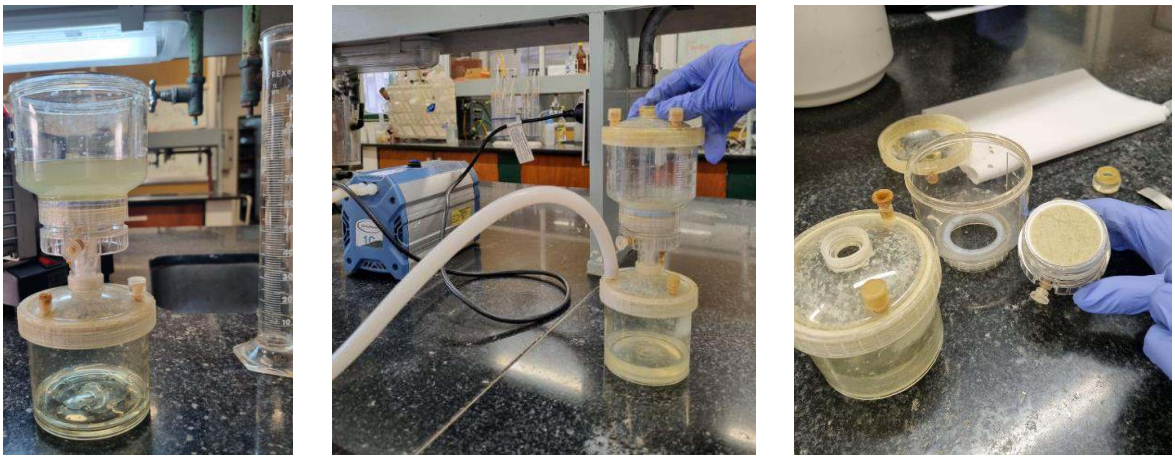
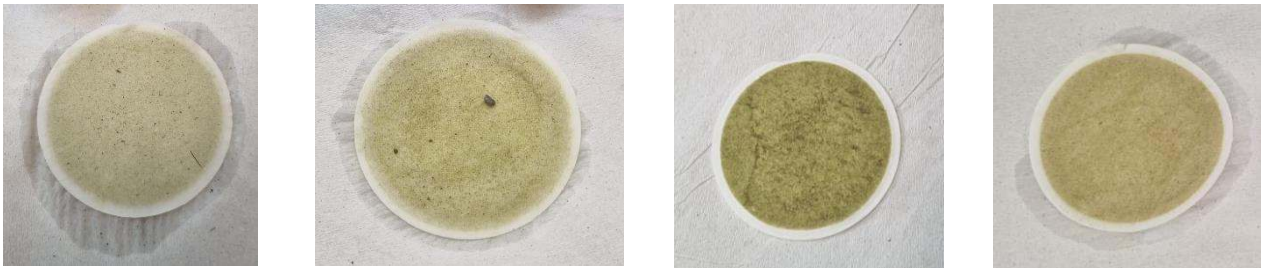


Figura 1. Equipo de filtración y proceso de filtración de las muestras.

Una vez filtrados los volúmenes de muestras establecidos, se desmonta el equipo y con ayuda de una pinza metálica, se retiran los filtros del embudo, y se les extrae la mayor cantidad de humedad posible (Fig. 2).

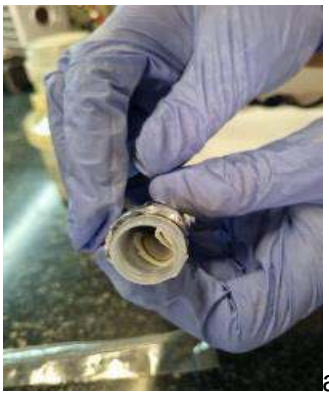


Muestra M0 Muestra M1 Muestra M2 Muestra M3

Figura 2. Concentración de Clorofila en cada una de las muestras en estudio.

Para extraer la clorofila de las muestras, los filtros con el material retenido, se colocan en tubos falcon de 50 ml, se cubren con papel aluminio para protegerlos de la exposición a la luz, y se congelan a -20°C por 20 horas (Fig. 3a). Pasadas las 20 horas, se retiran los tubos del congelador, y para la posterior extracción de clorofila, se les adiciona 10 ml de la solución acuosa de acetona al 90%, se agitan los tubos para que el filtro quede embebido en la solución (Fig. 3b), y se los deja reposar en heladera a 4°C por 24 horas, siempre en oscuridad.

Se retiran las muestras de la heladera y, posteriormente se separa el extracto del precipitado mediante centrifugación durante 20 minutos a 500 rpm (Fig. 3c). Se deja decantar el extracto clarificado y se extrae para la determinación espectrofotométrica.


a)

b)

c)

Figura 3. a) Congelación de los filtros con Clorofila. b) Adición de solución acuosa de acetona c) Centrifugación

ETAPA 2: Determinación espectrofotométrica

La determinación espectrofotométrica se lleva a cabo en un Espectrofotómetro UV-Visible. Se realiza una medición del blanco, para ello se emplea solución acuosa de acetona al 90%, previamente filtrada para evitar interferencia en el paso del haz de luz, y se miden las absorbancias a 750, 664, 647 y 630 nm. Ya filtrado el extracto, se miden las absorbancias de cada una de las muestras a las mismas longitudes de onda que el blanco, se utilizan cubetas de 1 cm de paso. La lectura de DO a 750 nm es una corrección para la turbidez.

ETAPA 3: Cálculos

Las lecturas de densidad óptica a 664, 647 y 630 nm se utilizan para determinar la clorofila *α*, b y c, respectivamente. La lectura de OD a 750 nm es una corrección para la turbidez.

Mediante el empleo de las ecuaciones 1, 2 y 3, se calculan las concentraciones de clorofila α, b y c en el extracto, teniendo en cuenta las densidades ópticas corregidas:

$$C_a = 11{,}85 * DO(664) - 1{,}54 * DO(647) - 0{,}08 * DO(630) \quad (1)$$

$$C_b = 21{,}03 * DO(647) - 5{,}43 * DO(664) - 2{,}66 * DO(630) \quad (2)$$

$$C_c = 24{,}52 * DO(630) - 7{,}60 * DO(647) - 1{,}67 * DO(664) \quad (3)$$

Dónde:
C_a, C_b y C_c: Concentraciones de clorofila α, b y c, respectivamente, mg/l, y
DO (664), DO (647) y DO (630): Densidades ópticas corregidas en las longitudes de onda respectivas.

Una vez determinadas las concentraciones de pigmento en el extracto, con el empleo de la Ecuación 4, se calcula la cantidad de pigmento por unidad de volumen de la siguiente manera:

$$Chlorophylla = \frac{C_a * Volumenextracto}{Volumendemuestra} \quad (4)$$

Resultados y Discusión

En la Tabla 3, se observan las DO determinadas mediante espectrofotometría.

Tabla 3. DO determinadas por espectofotometría

Muestra / λ (nm)	DO en Absorbancia			
	630	647	664	750
M0	0,042	0,060	0,148	0,022
M1	0,074	0,096	0,208	0,042
M2	0,171	0,220	0,415	0,125
M3	0,070	0,088	0,180	0,051

A continuación, se observan las curvas de longitudes de onda y absorbancias de cada una de las muestras estudiadas (Fig. 4).

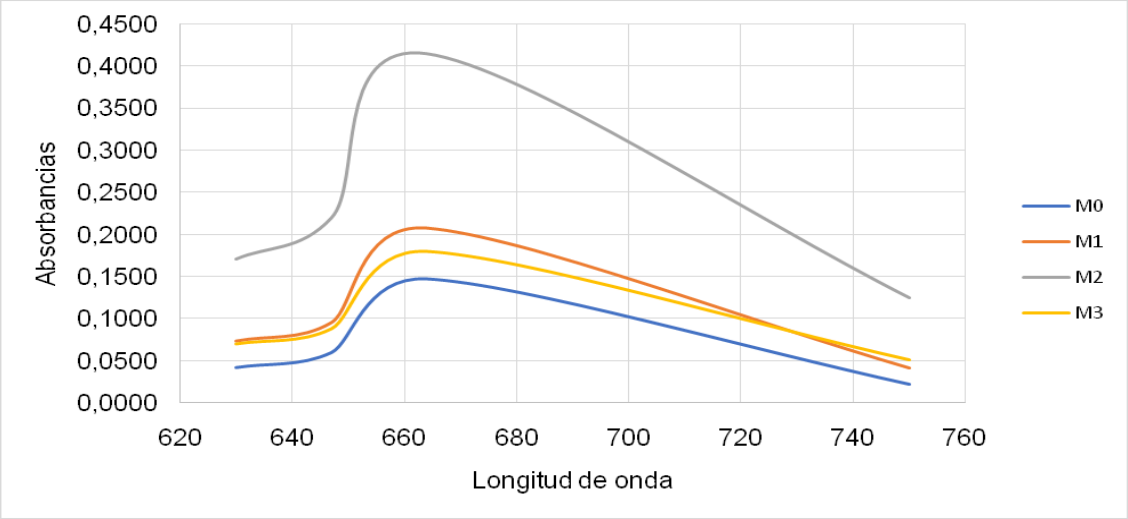


Figura 4. Longitud de onda vs absorbancias de las muestras analizadas.

La Tabla 4, contiene las concentraciones de clorofilas α, b y c calculadas para cada una de las muestras.

Tabla 4. Concentraciones de Clorofilas (Chl) α, b y c.

Muestra	Volumen filtrado (ml)	Chl (α) mg/l	Chl (b) mg/l	Chl (c) mg/l
M0	15	1,432	0,062	-0,009
M1	25	1,881	0,149	0,097
M2	50	3,287	0,300	-0,078
M3	100	1,470	0,027	-0,031

A fines prácticos, los valores negativos no se tienen en cuenta.

Tabla 5. Cantidad de pigmento por unidad de volumen

Muestra Ref.	Volumen de filtración (ml)	Chl (a) mg/m^3	Chl (b) mg/m^3	Chl (c) mg/m^3
M0	15	955,32	41,173	-5,880
M1	25	752,55	59,648	64,680
M2	50	657,30	60,158	-15,676
M3	100	147,02	2,710	-3,0750

La Tabla 6 muestra los parámetros de medición complementarios, que se realizan en este proyecto.

Tabla 6. Parámetros fisicoquímicos de las muestras estudiadas

Parámetro	Unidad	Valores	
		Julio	Agosto
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	460	545
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5)	mg/l	275	206
pH a 20º C	UpH	7	7
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	mg/l	1000	1136
Sólidos Disueltos Fijos (SDF)	mg/l	648	664
Sólidos Disueltos Volátiles (SDV)	mg/l	352	472

Los resultados obtenidos en la determinación de la clorofila α por el método de tricromático en muestras de agua de una laguna facultativa secundaria, indican que el sistema se clasifica como eutrófico por presentar concentraciones superiores a 15mg/m^3. Según Curtis et al., 2003, el rango de concentración de clorofila α que proporciona el funcionamiento satisfactorio de las lagunas facultativas es de 1000 a 3000 mg/m^3. En este informe, la mayor concentración reportada es de 955,32 mg/m^3, para la muestra M0, por lo que se puede inferir que laguna no se encuentra lo suficientemente eutrofizada. Las bajas concentraciones de clorofilas b y c (Tablas 4 y 5), podrían estar relacionadas con la baja abundancia en la que se presentan las clases de algas que poseen estos pigmentos (Peña Prieto, 2005).

En relación a los factores que afectan el método espectrofotométrico, se ha mencionado, que, en ambientes altamente enriquecidos y productivos, la clorofila α se puede sobrestimar al incluir fenopigmentos que absorben cerca de la misma longitud de onda. Este método asume que la clorofila α predomina, y las longitudes de onda que se seleccionan corresponden a puntos singulares de los espectros de absorción de los pigmentos puros. Una forma de desestimar estos pigmentos es mediante la acidificación del medio para corregir la concentración aparente de clorofila α para la feofitina a, sin embargo, puede ocurrir que cuando la acidificación es excesiva, se rompen compuestos, como los epoxi carotenos, los cuales a su vez, se transforman en compuestos que absorben a longitudes de onda cercanos a 665-700 nm (región roja e infrarroja), introduciendo errores tanto en la lectura a 665 nm, como en la corrección de turbidez a 750 nm (Madigan et al., 1999) (Dinges, R. 1982). Por esta razón, el estudio de los pigmentos degradados y otros componentes orgánicos e inorgánicos, merece especial atención en futuras investigaciones con el fin de establecer el papel de tales sustancias en las determinaciones de la clorofila α. A pesar del cuestionado uso de la ecuación tricromática de Jeffrey y Humprey, por no considerar los derivados de la clorofila, la tendencia de los resultados espectrofotométricos

obtenidos y representados en las Tablas 4 y 5, independientemente de la sobreestimación, son altamente coherentes con lo establecido para las lagunas facultativas (Rivera et al., 2005).

En la Tabla 5, se observa que las concentraciones de Clorofila α disminuyen ligeramente al filtrar un mayor volumen. Por la tendencia observada y según lo observado por Bravo Inclán & Tomasini Ortiz (2010), se asume que, se obtienen mejores resultados al filtrar un mayor volumen, ya que se obtienen concentraciones más bajas de feofitina, y, por lo tanto, menor interferencia en la determinación.

En la Fig. 4, se observan las curvas de longitudes de onda vs absorbancias de cada una de las muestras analizadas. Si a esas curvas se las compara con el espectro de absorción característico de la clorofila α, se puede observar uno de los picos máximos de absorción (650-700 nm aproximadamente) (Noriega et al., 2021).

Aunque las algas de agua dulce presentan una distribución casi universal, solo unos pocos de los géneros identificados en las lagunas de estabilización están presentes en ellas en forma persistente y tienen una influencia importante en el proceso de depuración. Las poblaciones de algas verdes predominan en las lagunas durante el otoño, invierno y primavera, mientras que las algas verdiazules pueden hacerlo durante los meses de verano. El predominio de algas verdiazules resulta perjudicial para el funcionamiento de las lagunas, ya que son menos productivas que las algas verdes (Dinges, R. 1982). Generalmente, las especies predominantes en las lagunas facultativas pertenecen al género Cianophytas, seguido de las Clorophytas y por último las Crisophytas, aunque éstas últimas resultan en muy poca cantidad en comparación con los otros géneros. Según Curtis et al. (2003), las Cianophytas son el grupo predominante en las lagunas facultativas, principalmente las del género Spirulina. Este género posee filamentos que se mueven en el agua con un lento movimiento deslizante, aunque no se sabe cómo se produce este movimiento ya que ellas carecen de flagelos o de cualquier otro medio visible de locomoción, sin embargo, éstas suelen flotar acumulándose en la superficie y en las esquinas de la laguna de acuerdo a la dirección del viento. Además, se sabe que las algas verdes móviles, tales como Chlamydomonas y Euglena, suelen ser dominantes en lagunas en las que la penetración de luz es limitada, situación corriente en la mayoría de las lagunas facultativas (Guamán Bumeo et al., 2016). Hasta el momento, se realizaron las observaciones al microscopio y se fotografiaron los organismos fitoplanctónicos en las muestras analizadas para su posterior determinación taxonómica según claves específicas (Fig. 5).

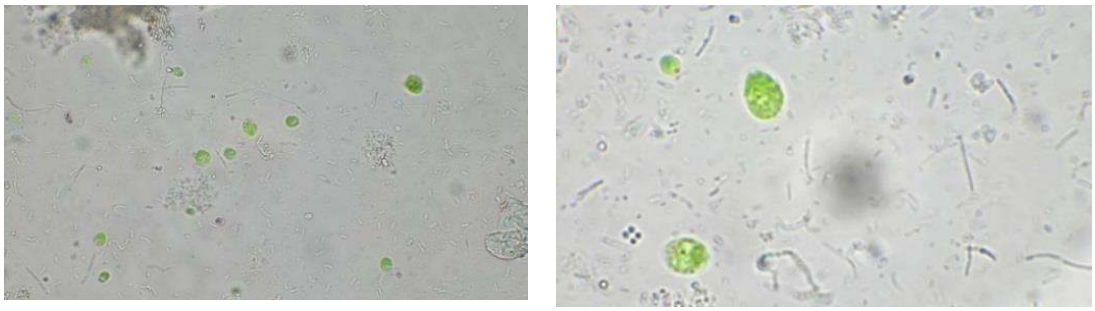


Figura 5. Observación de la muestra en el portaobjeto

Los parámetros físicos y químicos como temperatura, pH, DBO, DQO y sólidos disueltos, deben ser uniformes durante un período de tiempo largo, debido a que las algas necesitan condiciones estables para su crecimiento (Metcalf & Eddy., 1991). Como ocurre con todos los procesos biológicos, la temperatura presenta una influencia marcada. En general, y para los intervalos de temperatura normales en las lagunas (0°C - 30°C), se puede decir que la velocidad de depuración aumenta con la temperatura, en especial en lo que concierne a las bacterias. Sin embargo, y en lo que respecta a las algas, se han detectado retardaciones importantes en la actividad fotosintética a temperaturas elevadas (superiores a 28°C), relacionadas con el crecimiento de algas verdiazules (cianofíceas), menos productivas que las algas verdes (clorofíceas) a las que

sustituyen (Dinges, R. 1982). Puesto que este fenómeno coincide con una gran actividad de las bacterias, y, por tanto, grandes consumos de oxígeno, pueden desarrollarse zonas anaerobias en las lagunas facultativas en épocas muy calurosas, especialmente si el calentamiento se produce en forma brusca. Normalmente, esta situación es transitoria y las lagunas vuelven a funcionar correctamente al cabo de poco tiempo (AGAMIT S.A. 1988). Durante las estaciones de muestreo estudiadas (otoño – primavera) por Marín et al., 2022, se asume que las temperaturas presentes en la laguna se mantuvieron por debajo del promedio de 21,1°C, entre 11,1°C y 19,6°C, encontrándose en el rango óptimo para el desarrollo de las bacterias y organismos psicrófilos.

El pH de las lagunas facultativas viene determinado fundamentalmente por la actividad fotosintética del fitoplancton y la degradación de la materia orgánica por las bacterias. Las algas consumen anhidrido carbónico en la fotosíntesis, desplazando el equilibrio de los carbonatos, y dando lugar a un aumento del pH. Por otra parte, la degradación de la materia orgánica conduce a la formación de CO_2 como producto final, lo que causa una disminución del pH. Los criterios de protección a la vida acuática fijan la variable pH entre 6 y 9. Cuando las lagunas están operando correctamente, el pH presenta valores ligeramente alcalinos, del orden de 7,5 – 8,5 (AGAMIT S.A. 1988). En los ecosistemas acuáticos, el pH posee efectos directos sobre la fisiología de diversas especies, e indirectos en relación a la precipitación de elementos químicos tóxicos con metales pesados. También puede ejercer algún efecto en las salubridades de los nutrientes (Bonansea et al., 2012). El pH de las muestras se mantuvo en la neutralidad, indicando producción de CO_2, por lo que la laguna se encuentra en correcto funcionamiento, es decir, no existen efectos tóxicos o inhibitorios de crecimiento de los microorganismos presentes en ella (Peña Prieto., 2005).

El contenido de oxígeno disuelto OD en las lagunas facultativas es uno de los mejores indicadores para su funcionamiento. La principal fuente de OD es la fotosíntesis, seguida por la reaireación superficial. Una laguna facultativa que opere correctamente debe tener una capa superficial oxigenada. La concentración de OD presenta una variación sinusoidal a lo largo del día. Es mínimo al amanecer y máximo por la tarde, y puede oscilar entre un valor nulo hasta la sobresaturación (AGAMIT S.A. 1988). Cuando la carga orgánica es muy grande, la DBO excede la producción de oxígeno de las algas, y la laguna se torna totalmente anaerobia. A la hora de diseño, conviene que las lagunas de estabilización trabajen bajo condiciones facultativas o anaerobias, ya que el oxígeno es un tóxico para las bacterias anaerobias que realizan el proceso de degradación de la materia orgánica; y la falta de oxígeno hace que desaparezcan las bacterias aerobias que realizan este proceso. Por consiguiente, se recomienda diseñar lagunas facultativas para cargas orgánicas menores a 300Kg DBO/ha/día y lagunas anaerobias para cargas orgánicas mayores a 1000Kg DBO/ha/día (W.H.O., 1987). Cuando la carga orgánica se encuentra entre los límites antes mencionados, se pueden presentar problemas como, malos olores o bacterias formadoras de sulfuros. En la Tabla 6, para ambas muestras se observan valores de DBO acordes a lo establecido para una laguna facultativa. Las relaciones DQO/DBO arrojaron valores de 1,67 y 2,64, con un promedio de 2,15, lo que sugiere que las aguas residuales reciben efluentes que no afectan la biodegradabilidad de la materia orgánica al hacer que la relación DQO/DBO adquiera valores inferiores a 2,5 (Metcalf & Eddy., 1991).

Finalmente, las concentraciones de los sólidos disueltos totales (SDT), sólidos disueltos fijos (SDF) y de los sólidos disueltos volátiles (SDV) fueron los últimos parámetros tenidos en cuenta. Los elevados promedios arrojan valores de 1068, 656 y 412 mg/l, respectivamente, evidenciando una alta concentración de iones disueltos, lo cual indica una alta mineralización. Sin embargo, tal comportamiento podría corresponder a mediciones puntuales, que no reflejan el comportamiento de la laguna, esto puede refutarse teniendo en cuenta el parámetro de conductividad en conjunto (Peña Prieto., 2005).

Conclusiones

Se pone a punto la técnica de determinación de Clorofila según el método de referencia 10200 H. Chlorophyll del Standard Methods for Examination of Water and Wastewater 23th Ed., siendo los resultados obtenidos coherentes con lo establecido para las lagunas facultativas, encontrando que existen numerosos factores que influyen en la determinación de Clorofila α por ser pigmentos inestables.

La mayor concentración de clorofila α determinada en muestras extradidas de una laguna facultativa de tratamiento de aguas residuales, arroja un valor de 955,32 mg/m^3. El sistema se clasifica como eutrófico por presentar concentraciones de clorofila α superiores a 15 mg/m^3. Los valores determinados se encuentran por debajo del rango óptimo de funcionamiento satisfactorio, razón por la cual se concluye que la laguna no se encuentra lo suficientemente eutrofizada, a pesar de ello, presenta una tonalidad verdosa siendo uno de los signos de buen funcionamiento en las lagunas facultativas debido a la presencia de algas.

Los parámetros físicos, químicos y biológicos medidos como indicadores de calidad y contaminación, tales como temperatura, pH, DBO, DQO, y sólidos, durante el periodo de muestreo, se encuentran dentro de los rangos estándares acordes a lo establecido a las lagunas facultativas. La temperatura registrada indica el rango óptimo para el desarrollo de bacterias y organismos psicrófilos. El pH se mantiene en la neutralidad. Los valores de DBO y DQO, al igual que las relaciones DQO/DBO, sugieren que las aguas residuales reciben efluentes que no afectan la biodegradabilidad de la materia orgánica. Los sólidos evidencian una alta concentración de iones disueltos, lo cual indica una alta mineralización.

Con respecto a la observación al microscopio, se visualiza la presencia de organismos clorofílicos y algas, aunque la determinación taxonómica de las especies presentes se encuentra en proceso, por lo que los resultados mostrados en relación a ello son preliminares. A fines prácticos los mismos son incluidos ya que la observación de organismos fitoplanctónicos permiten corroborar lo mencionado en otras investigaciones.

Referencias

AGAMIT S.A. 1988: Seguimiento Experimental de Lagunas de Estabilización. Dirección General de Medio Ambiente. MOPU, Madrid.

APHA/AWWA/WEF. (2017). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Standard Methods, 541. doi: https://doi.org/ISBN

Bonansea M., Ledesma, C., Rodriguez, C., Sanchez Delgado, A., (2012). Concentración de Clorofila-a y límite de zona fótica en el embalse Río Tercero (Argentina) utilizando imágenes del satélite CBERS-2B. Revista Ambiente & Água 7 (3), doi: 10.4136/ambi-agua.847

Bravo Inclán, L.A. & Tomasini Ortiz, A.C. (2010). Experiencias en la determinación de Clorofila a y Feopigmentos por Espectrofotometría. 3er Congreso Nacional AMICA. Villahermosa Tabasco. Recuperado de: http://hdl.handle.net/20.500.12013/2115

Caldera, Y., Gutiérrez E., López, F., Mármol, Z., Abreu, S., Carrasquero, E. (2013). Distribución de la concentración de clorofila a en laguna facultativa para tratamiento de aguas residuales. Recuperado de http://www.ingenieroambiental.com

Castrillón, U. 2022. Determinación por método espectrofotométrico y tratamiento bioquímico de Clorofila a en laboratorio ambiental de CORNARE. Tesis de pregrado, Universidad de Antioquia Facultad de Ingeniería, 31 p. Recuperado de: http://bibliotecadigital.udea.edu.co

Curtis, T., Mara, D., Dixo, N, Silva, S.A. (2003). Light Penetration in Wastewater Stabilization Ponds. Water Research. doi: 10.1016/0043-1354(94)90188-0

Dinges, R. (1982). Natural systems for water pollution control. Van Nostrand Reinhold Co., Nueva York.

Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., Gonzalez, L., Tablada, M., Robledo, C.W. (2020). InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. http://www.infostat.com.ar

Guamán-Bumeo, M.C. & González R. N. (2016). Catálogo de microalgas y cianobacterias de agua dulce del Ecuador. Corporación para la investigación Energética, Laboratorio de Biotecnología Energético, Quito, Ecuador. QUIK PRINT.

Hernández, E., Aguirre, N., Palacio, J. (2011). Relación entre la determinación del pigmento Clorofila a y el Biovolumen geométrico algal en un lago de planicie de inundación. Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia. Volumen 2011(60). Recuperado de: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43021583015

Madigan, M., Martinko, J., Parker, J. (1999). Brock. Biología de los Microorganismos 8va edición revisada. Madrid, España. Prentice Hall, INC.

Marín, G., Biolé, F., Moyano, S., Bruno, S., Murialdo, E., Carabajal, S. (2022). Eficiencia del tratamiento de aguas residuales por lagunas facultativas secundarias. Evaluación estacional. PROIMCA – PRODECA 2022. Recuperado de http://hdl.handle.net/20.500.12272/11001

Metcalf & Eddy. (1991). Wastewater Engeneering: Treatment, Disposal And Reuse. INC. 3ra ed. McGrawHill/Interamericana De España, S. A.

Noriega, G & Guevara Lam, D. (2021). Extracción y determinación de pigmentos fotosintéticos. Tesis de grado Universidad Autónoma De Baja California, Facultad de Ciencias Marinas. doi: 10.13140/RG.2.2.15408.28161

Peña Prieto, L. (2005). Cuantificación espacio-temporal de la comunidad fitoplactónica y los pigmentos fotosintéticos en el lago de Tota- Boyacá, Colombia. Uniandes. Recuperado de: http://hdl.handle.net/1992/22276

Rivera, C., Zapata A., Pinilla, G., Donato, J., Chaparro, B., Jiménez, P. (2005). Comparación de la estimación de la clorofila-a mediante los métodos espectrofotométrico y fluorométrico. Acta Biológica Colombiana. Vol.10 (2). Recuperado de: de:http://scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-548X2005000200007

W.H.O. (1987). (World Health Organization). Regional Office for the Eastern Mediterranean. Wastewater stabilization ponds: principles of planning and practice. Recuperado de: https://iris.who.int/handle/10665/119942

TESIS INCONCLUSAS: UN ANÁLISIS DE LAS DIFICULTADES QUE ENFRENTAN LOS ESTUDIANTES DE INGENIERÍA EN ENERGÍA ELÉCTRICA DE LA UTN-FRSF.

Javier A. Acosta[1], Melina Scoppa[1], Juan M. Banegas[1], Pablo Macor[1], Nicolás Pochettino[1]

[1]Centro de I+D en Ingeniería Eléctrica y Sistemas Energéticos, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe, Lavase 610, jaacosta@frsf.utn.edu.ar

Resumen

La culminación de la carrera de ingeniería en energía eléctrica conlleva la elaboración de un trabajo final de grado, una etapa que para muchos estudiantes se convierte en un desafío prolongado y lleno de obstáculos. Este proceso, que debería ser el punto culminante de su formación, frecuentemente se ve demorado, generando sentimientos de ambivalencia al estar cerca de alcanzar un hito importante pero lejos de completarlo.

Para abordar esta problemática, se llevó a cabo una investigación cualitativa que identificó diversas causas del retraso en la elaboración de la tesis. Entre estas causas se destacan las obligaciones laborales, la dificultad para seleccionar un tema adecuado, la gestión del tiempo y responsabilidades múltiples, y obstáculos internos como la procrastinación y la ansiedad.

Los compromisos laborales emergieron como el factor principal que dificulta la dedicación necesaria al trabajo final de grado, ya que muchos estudiantes deben sostenerse económicamente mientras estudian. Esta situación no solo resta tiempo y energía, sino que también puede llevar a una desconexión con la universidad y los docentes, exacerbando el problema del tiempo perdido.

Los resultados de la investigación subrayan que estas dificultades no solo afectan a un número significativo de estudiantes, sino que también pueden provocar sentimientos de frustración y desmotivación, incluso contribuyendo a la deserción.

Abordar los desafíos en la presentación del trabajo final de grado requiere un enfoque integral. Se necesitan medidas que incluyan un mayor apoyo institucional, flexibilidad en la organización académica y el desarrollo de estrategias efectivas para la gestión del tiempo y el manejo del estrés. Estas medidas podrían ayudar a los estudiantes a superar las barreras que enfrentan en esta etapa crucial de su formación académica y profesional en ingeniería eléctrica.

Palabras Clave: Tesis, estrategias, graduación, estudiantes, ingeniería.

Introducción

La finalización de la carrera de ingeniería eléctrica requiere que los estudiantes elaboren un trabajo final de grado, que representa el cierre de su formación. Así lo expresa el reglamento de estudio (Ordenanza 1873, 2022), y su correspondiente régimen de correlatividades, que preserva esta disposición de la ordenanza anterior, donde se establece expresamente que “Es condición para rendir Proyecto Final, aprobar todas las asignaturas previas del Plan de Estudios” (Ordenanza 1874, 2022). Sin embargo, para muchos, esta etapa se convierte en un desafío lleno de obstáculos que retrasa la obtención del título, generando sentimientos encontrados entre estar cerca de un hito importante y, a la vez, lejos de alcanzarlo.

Sari Líndalo (2019), destaca que la calidad de la educación superior involucra una amplia variedad de elementos interrelacionados que forman un sistema complejo y dinámico. Entre estos elementos se incluyen el diseño curricular, los métodos de enseñanza, las prácticas de evaluación, los entornos físicos de aprendizaje, las habilidades y prácticas de aprendizaje de los estudiantes, y las características personales de docentes y estudiantes.

líndelo argumenta que, debido a la naturaleza interconectada de estos elementos, mejorar la calidad en la educación superior no se puede lograr simplemente enfocándose en el desarrollo o mejora de un solo factor aislado. Por el contrario, es esencial adoptar un enfoque de "pensamiento de sistemas" que considere la interacción y la interdependencia de todos estos elementos, y que apunte a la mejora continua y equilibrada de todos ellos de manera simultánea.

El presente trabajo de investigación, que actualmente se encuentra en desarrollo, se enfoca en identificar las dificultades que enfrentan los estudiantes de ingeniería en energía eléctrica de la UTN-FRSF para completar su trabajo final de grado. En la primera etapa, se determinaron los estudiantes y graduados a incluir en el estudio para determinar las causas que dilatan la finalización del trabajo final y generar estrategias tendientes a abordar estos problemas.

Para afrontar esta problemática, se llevó a cabo una investigación cualitativa que involucró a los mencionados estudiantes y egresados de la carrera. Se emplearon diversos instrumentos de recolección de datos, como entrevistas, encuestas, análisis documental y observación. Los motivos que se identificaron como causantes del retraso en la elaboración de la tesis abarcan desde obligaciones laborales hasta dificultades en la elección de temas, organización del tiempo, y factores personales como la procrastinación y la ansiedad.

De la investigación desarrollada se incorporaron indicadores que permiten llevar adelante un seguimiento de las distintas instancias y del estado de situación de los alumnos, información que se transmite a los órganos de gobierno de la universidad, en este caso el consejo departamental a modo de informe periódico.

Métodos

En este estudio, se adoptó un enfoque cualitativo basado en los principios de la investigación-acción en el contexto educativo, según Quecedo Lecanda y Castaño Garrido (Quecedo, 2002). Este enfoque permitió explorar a fondo las experiencias, percepciones y motivaciones de los estudiantes y egresados de ingeniería eléctrica relacionadas con las dificultades que enfrentan al completar su trabajo final de grado. La investigación-acción cualitativa habilita al docente a realizar pequeñas investigaciones en su propio entorno educativo, utilizando métodos cualitativos como la observación, entrevistas, análisis de textos e interacciones, y el análisis del discurso. Estos métodos permiten identificar aspectos problemáticos y oportunidades de mejora en la práctica pedagógica. Se justifica la relevancia de la metodología de investigación cualitativa en los siguientes puntos: enfoque holístico, comprensión profunda, flexibilidad metodológica y validez de la investigación. El estudio cualitativo diseñado capturó la complejidad de las razones que causan el retraso en la finalización de las tesis, complementado con un análisis cuantitativo para generar indicadores mensurables del proceso.

A continuación, se describen las etapas del proceso:

Determinación del objetivo de la investigación: Identificamos como objetivo central el entender las dificultades que enfrentan los estudiantes para completar su trabajo final de grado.

Diseño de investigación: Empleamos un diseño de investigación cualitativo para capturar la complejidad de las razones que llevan al retraso en la finalización de la tesis. Este diseño nos permitió explorar las experiencias y percepciones de los participantes de manera profunda. Complementariamente se desarrolló un análisis cuantitativo, a modo de generar indicadores que permitan medir el proceso.

Selección de población y muestra: La población de interés fueron los estudiantes y egresados de ingeniería eléctrica de la UTN-FRSF. Seleccionamos una muestra intencional que representara una variedad de experiencias y situaciones, incluyendo aquellos que han completado su trabajo final de grado en tiempo y forma, así como aquellos que han experimentado retrasos significativos.

Instrumentos de recolección de datos: Se emplearon múltiples instrumentos para la recopilación de datos, como entrevistas (presenciales, virtuales o telefónicas), encuestas, análisis documental de listados brindados por el departamento de alumnado (Ruiz, 2007), como así también propuestas presentadas, proyectos, entre otros. Esta variedad de métodos aportó una perspectiva amplia y profunda sobre el universo poblacional y las dificultades que enfrentan los estudiantes.

Procedimiento: Llevamos a cabo un proceso de investigación iterativo, comenzando con la identificación de los participantes y luego recopilando datos a través de los diferentes instrumentos mencionados. Donde se consideró especialmente la ética en la investigación y al consentimiento informado de los participantes.

Análisis de datos: Los datos recopilados se analizaron de manera cualitativa, utilizando técnicas como el análisis de contenido y la codificación temática. Buscamos identificar patrones, temas recurrentes y relaciones entre las distintas variables para comprender mejor las causas del problema estudiado. Asimismo, se anexó un tratamiento de datos cuantitativo, explorando las cantidades de estudiantes con la potencialidad de recibirse, fecha de cursado de la asignatura de Proyecto Final, fecha de presentación de la propuesta, fecha de examen entre e información relativa a las materias adeudadas.

Desarrollo

Antes de comenzar, es importante describir brevemente el proceso de aprobación de la asignatura de Proyecto Final. Como se mencionó previamente, esta asignatura debe ser cursada obligatoriamente en el quinto nivel de la carrera y solo puede ser rendida como última asignatura. Además, existe el Reglamento General de Proyecto Final (Res. CD 340, 2014) de la UTN-FRSF, que establece todos los requisitos vinculados al Proyecto Final.

El proceso se resume en los siguientes pasos, primero el alumno debe presentar una propuesta preliminar al responsable de la asignatura, en un formato preestablecido, que incluya un resumen del trabajo (título, justificación, objetivos, actividades, alcance y director). Una vez aprobada la propuesta por el responsable de la asignatura de Proyecto Final, el alumno puede iniciar las actividades del proyecto. Finalizadas las actividades, se eleva el documento (informe) al responsable de la asignatura, con el aval del director del proyecto. El texto es revisado por el tribunal examinador. Para concluir, aprobado el informe, se establece una mesa de examen y se realiza la defensa del proyecto.

Es importante aclarar que la propuesta de proyecto puede ser aprobada en cualquier momento, siempre y cuando el alumno esté cursando la asignatura de Proyecto Final. El cumplimiento de este proceso, junto con las acciones y recomendaciones mencionadas anteriormente, contribuirá a una mayor tasa de finalización del Proyecto Final y al éxito académico de los alumnos.

Continuando con el desarrollo de la investigación, se identificó y trabajó sobre un universo de 167 personas que incluye a alumnos con el Proyecto Final cursado desde el año 2010 y egresados desde 2016. Este grupo fue seleccionado para obtener información relevante sobre las dificultades encontradas durante la finalización de su trabajo final de grado y sus experiencias al respecto. Para la investigación se consultaron fuentes del sistema académico de la UTN-FRSF. (Ruiz, 2007).

Para el contacto se emplearon herramientas como el correo electrónico, para un primer acercamiento. Una vez establecido el contacto, se avanzó con encuestas donde se tipificaron las respuestas a modo de lograr identificar los distintos tipos de cursantes a fin de dividirlos en tres grandes grupos de trabajo al que, posteriormente, se le sumaron los egresados. En las consultas se buscó identificar las materias adeudadas, estado de la práctica supervisada (sin realizar, en curso o aprobada), estado de la propuesta (sin efectuar, en elaboración o aprobada), estado de avance del proyecto (25%, 50%, >75%) y complementariamente si estaban trabajando (y que actividades desarrollaban).

Con la información recabada se procedió, en primera instancia, a contrastarla con los registros obtenidos por la asignatura en cuanto a listas de regulares, documentos en papel de propuestas aprobadas, entre otros. Luego, se avanzó con el contacto de cada uno de los involucrados según su situación particular, enfocándose en una instancia inicial en aquellos casos que solo debían concretar la culminación del informe del proyecto final (propuestas ya aprobadas y avances significativos en el informe de más del 75%) y quienes se estaban desarrollando laboralmente en actividades laborales vinculadas a la especialidad. Estas entrevistas fueron telefónicas y, en otros casos, llamadas a través de plataformas virtuales. La finalidad de las mismas se centró en ver los avances y trabajar en las dificultades puntuales, para coordinar fechas de contacto que permitan evaluar el grado de evolución y tentativa de cierre. Luego se amplió la actividad incorporando al resto de la población.

Resultados y discusión

La investigación identificó varias dificultades que enfrentan los estudiantes y egresados de ingeniería al momento de desarrollar su trabajo final de grado. Las principales dificultades pueden clasificarse en cuatro categorías amplias: problemas relacionados con el tiempo, dificultades en el proceso de aprobación, impacto de la pandemia y desafíos de la vida personal e independiente.

Problemas relacionados con el tiempo: Los estudiantes enfrentan la carga laboral y el retraso en la aprobación de materias, lo que afecta su disponibilidad para dedicar tiempo y energía al trabajo final de grado. El tiempo disponible para el estudiante universitario es un recurso limitado, cuya adecuada utilización conlleva abarcar las diferentes tareas académicas y hacerlo dentro de los plazos establecidos. En algunos casos, los alumnos se licenciaron y en otros casos renunciaron a sus puestos laborales para el cierre de la tesis. Afloró otro factor vinculado a la disponibilidad limitada del director del proyecto, lo que en algunos casos ralentizó el proceso de desarrollo. Los docentes y alumnos relatan que la organización y planificación de los tiempos es un obstáculo importante para los estudiantes, que puede derivar en procrastinación académica. Ésta es el resultado de una mala administración del tiempo, motivo por el cual los estudiantes no cumplen sus tareas por sentirse abrumados o agobiados. La procrastinación puede ser paralizante para las personas y llevarlas a no culminar sus tareas en el tiempo determinado (Estremadoiro, 2021). Este aspecto está muy vinculado a todos los condicionantes (personales, laborales, familiares, geográficos y económicos) y también a las falencias que presentan los estudiantes en algunas competencias (genéricas, emocionales, metodológicas, de investigación y tecnológicas). Estas cuestiones pueden incidir en la extensión de los tiempos previstos para la terminación del trabajo final de grado, que, en algunos casos, es vivido como un proceso angustiante.

Carolino (2005) evidencia que la falta de tiempo para dedicar a la tesis lleva a muchos estudiantes a discontinuar su labor, con lo cual, cuando intentan retomarla, necesitan destinar su escaso tiempo, más que avanzar con el trabajo, a recordar por dónde iban. Una dificultad recurrente en quienes hacen una tesis a tiempo parcial es el conflicto entre dos polos: por un lado, la discontinuidad se contrapone a la necesidad de tomar la decisión de postergar "todo lo otro" para lograr hacerse el lugar que la tesis demanda. A su vez, aunque se avance a ritmo discontinuo, la sensación que se tiene es de omnipresencia de la tesis: el sentimiento de haber contraído una deuda que crece progresivamente hasta que no se finalice la tesis adeudada, la cual se carga sobre las propias espaldas y justifica el sentirse "agobiado".

Dificultades en el proceso de aprobación: Algunos estudiantes experimentan demoras en la aprobación de la propuesta debido a la burocracia y a una comunicación ineficaz. El desconocimiento del proceso y la falta de orientación adecuada también dificultan la navegación a través de los diferentes pasos del proyecto final. Esto implica en el estudiante un adentramiento en un nuevo proceso que debe adquirir durante el transcurso de su formación. El mismo presenta métodos, formas de análisis, de argumentación y un discurso específico, que requiere de un soporte institucional que acompañe estos aprendizajes. El docente es quien guía y acompaña este proceso del alumno, de tal manera que, le permitan contar con las estrategias y los andamios necesarios durante todo el proceso de construcción de su tesis.

Impacto de la pandemia: La pandemia de COVID-19 tuvo un impacto significativo en la vida académica y personal de los estudiantes. Sorprendentemente, se observó un considerable aumento en el número de egresados en el año 2020 en comparación con años anteriores. En términos de proporción, se duplicó la cantidad de estudiantes que lograron finalizar su trabajo final de grado durante este período. Esto se puede atribuir al tiempo adicional que los estudiantes pudieron dedicar a su trabajo final de grado durante la pandemia, lo que resultó en un efecto positivo en la finalización del proyecto. Sin embargo, algunos estudiantes enfrentaron desafíos para adaptarse a un entorno de aprendizaje virtual y mantener el equilibrio entre sus responsabilidades académicas y personales. A pesar de estos desafíos, la pandemia proporcionó una oportunidad para que muchos estudiantes culminaran con éxito su trabajo final de grado, destacando así el impacto positivo en la productividad académica.

Desafíos de la vida personal e independiente: La situación personal del estudiante, presenta limitantes al compartir sus responsabilidades de alumno con otras igualmente exigentes, como la familia y/o el trabajo. Entre los inconvenientes familiares que repercuten considerablemente en el grado de avance de la tesis, destacan el tener hijos pequeños, y ser soporte económico de su familia. Esto conlleva a la necesidad de trabajar para mantenerse financieramente. El contexto laboral, por su parte, demanda tiempo de permanencia en el lugar de trabajo, carga horaria excesiva, horarios irregulares, viajes en algunos casos, cambios de empleo, entre otros. Muchos estudiantes refieren cierta desorganización, a causa de la situación familiar y laboral por la que atraviesan, de modo simultáneo, con la instancia en la que se encuentran en su carrera. Estos obstáculos llevan a un desorden que afecta o impide poder avanzar, a pesar de querer crecer profesionalmente y son significados por ellos como "frustrantes" por no poder completar el trabajo final de grado en una fecha límite razonable. Resulta importante que el estudiante pueda tomar conciencia de las emociones que las circunstancias desencadenan, regularlas y comprender el impacto que las mismas tienen en sí mismos y en los demás: controlar la impulsividad, gestionar la angustia, tolerar las frustraciones, perseverar en el logro de los objetivos, y visualizar las recompensas que obtendrán al finalizar la tesis y al culminar su carrera universitaria. En definitiva, deben tomar este proceso como una instancia importante de aprendizaje.

A través de la investigación llevada a cabo, se identificaron varias oportunidades para mejorar el proceso de finalización de la carrera, entre las cuales destaca la posibilidad de otorgar créditos por las prácticas supervisadas a aquellos estudiantes que ya cuentan con experiencia laboral en el campo. Esta medida permitiría reconocer y valorar la experiencia profesional de los estudiantes, ofreciéndoles una alternativa más flexible, manteniendo los requisitos establecidos (informe y coloquio).

En lo que respecta a los datos, sobre un total de 98 egresados, se observaron diversas cuestiones relevantes. centrándonos en una ellas, los tiempos, como por ejemplo el que les tomó entre que terminaron de cursar la materia de Proyecto Final hasta que se presentaron a la mesa de examen. 30 estudiantes lo hicieron dentro del año posterior, mientras que el resto le llevo desde 2 a más de 5 años. (Fig. 1).

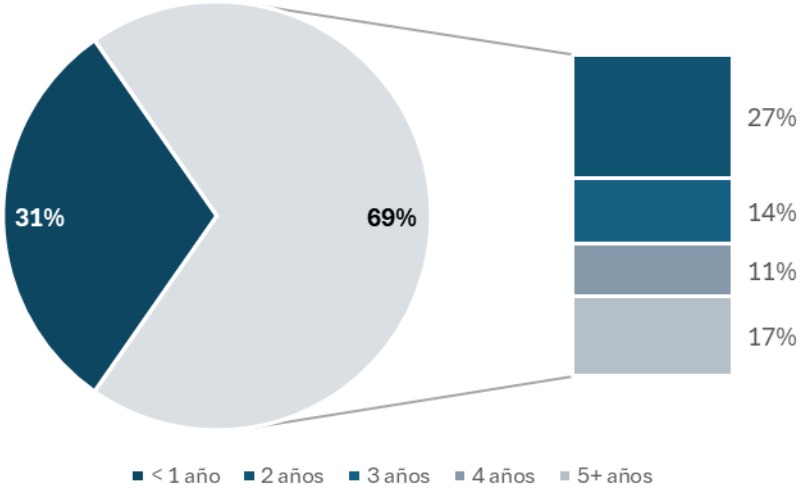


Fig. 1. Tiempo desde que cursaron Proyecto Final, hasta que se presentaron en la mesa.

Respecto del tiempo que les llevó efectivamente el desarrollo del Proyecto desde la entrega de la propuesta, la mayoría de los egresados (66%) han tardado más de 8 meses en finalizar su proyecto final de grado, mientras que solo el 14% lo hizo en un período de hasta 6 meses. A continuación, se observa un gráfico detallando esto. (Fig. 2).

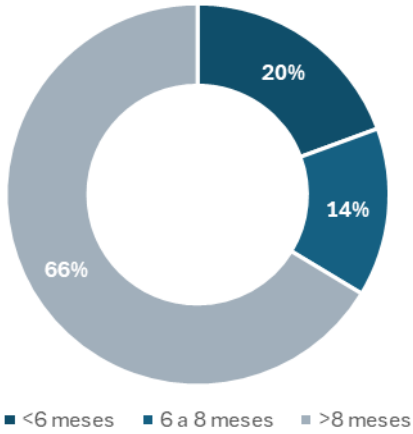


Fig. 2. Tiempo efectivo de desarrollo del Proyecto Final.

A partir de la información recabada se trabajó en un diagnóstico de la asignatura, identificando múltiples factores que incidían en el proceso del PF. Entre ellos se destacan:

- Desconocimiento del proceso de aprobación del Proyecto Final por parte de los estudiantes, con respecto a exigencias particulares distintas a otras carreras, como el aval del Consejo Departamental, lo que generó demoras sustanciales.
- En la mayoría de los casos, el estudiante presenta la propuesta de proyecto después de rendir la última asignatura, de esta forma se desaprovecha la instancia de cursado de proyecto donde sería factible avanzar con esta fase y permitiría optimizar el proceso de avance.
- Dificultades en la comunicación escrita y oral.
- Carga laboral de los estudiantes, generando pérdida de referencia temporal y retrasos en el progreso del trabajo final.
- Pérdida del vínculo con la Universidad debido al alejamiento físico, lo que afecta el hábito de estudio y la motivación.
- Falta de registros dentro de la propia asignatura, sobre la situación académica de los alumnos, el estado de sus propuestas y el avance del trabajo.

En vista de estos hallazgos, se plantearon diversas mejoras para abordar los problemas detectados. Entre ellas se destaca el ordenamiento de la información y la normalización del proceso de datos a mantener actualizados, la sistematización del proceso según las distintas etapas (propuesta, acreditación e informe) y la simplificación de la burocracia al permitir que la información se eleve directamente desde la asignatura, acelerando el proceso de aprobación de los proyectos.

También se buscó enfatizar la comunicación efectiva y el acompañamiento de los estudiantes a lo largo del proceso. Esto incluyó la implementación de estrategias de seguimiento y apoyo para superar el bloqueo en el avance de los trabajos finales y la consulta periódica del progreso de los informes. También se sumaron guías de trabajo, un manual detallado para la elaboración de la propuesta y del proyecto final, que incluye información sobre el proceso y las herramientas disponibles. Otra implementación es la incorporación de una presentación de la práctica supervisada y la tesis, en la clase de proyecto final, de forma previa a la mesa de examen, con la finalidad de ver como se desenvuelve el evaluado y para que los demás estudiantes tengan un ejemplo concreto de cada una de las actividades, muy valorado por los éstos.

Actualmente se trabaja con una población de 94 estudiantes, 15 en el taller interdisciplinario, 10 corresponden a los alumnos que están cursando actualmente la asignatura de proyecto final, y los restantes (69) ya han cursado. En función de ello se establecieron estrategias disgregadas en estos 3 grupos. Con los primeros se trabaja en develar lo que significa el Proyecto Final (reglamentación, procesos, temáticas e informe). Con el segundo grupo, se lleva a cabo una acción conjunta entre esto último e incentivar al avance en el proyecto. Y para el tercer grupo, que ya ha pasado por el cursado, se trabaja en el seguimiento.

Para reducir la problemática y mejorar la finalización del trabajo final de grado, se plantean las siguientes medidas de mitigación con distinto alcance y temporalidad:
Mejorar la comunicación y el acompañamiento: Proporcionar información clara y accesible sobre el proceso del Proyecto Final, además de generar seguimientos individualizados y adaptados a las necesidades de cada estudiante. Complementariamente, realizar una evaluación continua del proceso.
Compatibilizar el proyecto con la actividad laboral: Para los estudiantes que desarrollan actividades laborales relacionadas con la carrera, se podría considerar la elaboración del informe de proyecto final basado en estas experiencias, herramienta implementada en otras carreras de la regional. Se deben establecer pautas claras para acceder a este proceso.
Permitir la adaptación del proyecto: Se debe considerar la posibilidad de adaptar el proyecto final a las necesidades y capacidades de cada estudiante, ofreciendo alternativas para la presentación de este (formato, plazos, etc.).

Fortalecer el vínculo con la Universidad: Implementar estrategias para mantener la comunicación con los estudiantes y brindar apoyo emocional y motivacional.
Organización de eventos: Se fomenta la presentación de los proyectos finales en clase ante sus pares, además la vinculación de los estudiantes con profesionales del área (egresados) que comparten sus experiencias y dificultades en la finalización de su trabajo final de grado, entre otras experiencias.
Estas acciones tienen como objetivo mejorar la comunicación, el apoyo y la adaptación del proyecto final de grado a las necesidades de los estudiantes, con el fin de aumentar la tasa de finalización y contribuir al éxito académico de los alumnos.

Conclusiones

Para lograr el título académico, cada estudiante de Ingeniería eléctrica tiene la obligación de completar un proyecto final y hacer una investigación que contribuya a cada campo de especialización del estudiante. Por lo tanto, el proyecto de grado es uno de los requisitos obligatorios para completar la educación a nivel universitario, debido a que se considera que el estudiante como académico contribuye a la ciencia, cuando escribe una tesis (Villabona, 2020). No obstante, las condiciones en ese proceso indican que diversos factores influyen en la realización de dicho trabajo de grado que, en algunos casos, impactan de manera negativa.

La demora en la presentación de la tesis es un fenómeno que afecta a la mayoría de las universidades. Esto conlleva un bajo índice de graduación, constituyéndose en preocupación de las instituciones universitarias, al no poder alcanzar estándares de calidad determinados por la CONEAU[1] y, al ver imposibilitado, en parte, su proyecto institucional, a la vez, retarda la inserción del egresado en el ámbito laboral específico, disminuye el rédito de la inversión en educación y, provoca cierto grado de frustración en el estudiante (Bartolini, 2010).

Según lo evidenciado en el presente trabajo, los factores que retardan la presentación de la tesis pueden ser internos a la institución, así como de índole personal y económica del estudiante. Gascón (2008), realizó una investigación que tituló el Síndrome de todo menos tesis, y se determinó que los elementos intervinientes en la realización de un proyecto de grado fueron recursos materiales, económicos, conocimiento del tema escogido, tiempo y dedicación. De acuerdo con lo establecido por Herrera (2013) “las características propias de cada individuo afectan la probabilidad de grado o grado a tiempo” (p. 29). Los factores socioeconómicos (ingresos familiares), sociodemográficos (género, estado civil, hijos, hermanos) y laborales (cantidad de horas trabajadas, necesidad de insertarse en el mercado del trabajo) repercuten considerablemente, al igual que lo concerniente al capital cultural, es decir, la formación académica previa, hábitos de estudio y nivel de educación de los padres (García de Fanelli, 2019) & (Ríos, 2007). Asimismo se deben considerar las categorías configuradas por Petric (2017) que se relacionan al “equipaje” (experiencias previas tanto familiares como escolares, monitoreo y mandato familiar, primera generación universitaria o no, apoyo económico), autopercepción estudiosa (tenacidad, organización y aplicación, autoexigencia) y estrategias para avanzar (decisiones vinculadas a rendir para avanzar, priorizar cursar o rendir finales, consultas al docente o grupos de referencia, prioridad dada al estudio en tiempo), así como cuestiones relacionadas con las motivaciones que alejan a los estudiantes del objetivo de graduación y de las metas de aprendizaje con las que ingresaron a la universidad (Moreno, 2019).

[1] Comisión Nacional de Evaluación y Acreditación Universitaria, organismo descentralizado que funciona en jurisdicción del Ministerio de Educación de la Nación. Su misión institucional es asegurar y mejorar la calidad de las carreras e instituciones universitarias que operan en el sistema universitario argentino por medio de actividades de evaluación y acreditación de la calidad de la educación universitaria.

Petric (2017) considera, además, que los factores institucionales pueden condicionar, e incluso obstaculizar, el egreso. Entre dicho factores menciona: los procesos administrativos (inscripción y solicitud de mesa especial, demoras en la aprobación de la propuesta de trabajo, requisitos para ser estudiante regular, entre otros), hábitos organizacional (prácticas internalizadas por quienes forman parte de la institución), sistemas de tutorías, vinculación con las autoridades (director y/o co-director del proyecto, director de la carrera, secretario académico, etc.), infraestructura y equipamiento para estudiar (sala de estudio, acceso a informática u otros equipos necesarios para la elaboración del proyecto).

Abordar los desafíos que enfrentan los estudiantes en la realización de su Proyecto Final es fundamental para garantizar una experiencia académica exitosa y aumentar la tasa de finalización de los trabajos finales de grado.

A través de las acciones y recomendaciones implementadas, se ha logrado mejorar la comunicación, el apoyo institucional, la flexibilidad del proceso y el vínculo con la universidad, abordando de manera efectiva las dificultades identificadas por los estudiantes.

El establecimiento de una comunicación fluida, el acompañamiento personalizado y la adaptación de las necesidades individuales han demostrado ser elementos esenciales para superar los obstáculos que dificultan la finalización del PF.

Con el fin de continuar fortaleciendo el proceso de finalización del PF, es necesario mantener un enfoque centrado en el estudiante y adaptable a sus necesidades. La universidad debe seguir brindando apoyo y orientación a los estudiantes, al tiempo que fomenta el desarrollo de estrategias de gestión del tiempo y el estrés. El manejo adecuado del tiempo es un elemento importante para predecir el rendimiento que cada estudiante pueda tener; y la incorporación de procedimientos como la planificación, organización y priorización de las tareas, permitirá a los estudiantes focalizarse en alcanzar el objetivo propuesto (Umerenkova, 2017b). De igual manera, ayudar a los estudiantes a aumentar sus pensamientos y sentimientos positivos respecto de la investigación y su nivel de satisfacción, puede colaborar con el logro del objetivo.

En consonancia a lo establecido por Herrera (2013), la graduación es fruto de los esfuerzos académicos, financieros y sociales de todos los agentes que están en el entorno del estudiante. Los establecimientos educativos tienen una alta relevancia a nivel académico de sus estudiantes no solamente por sus propios atributos, sino por las características de la población a la cual apuntan. Este punto es crucial ya que la calidad de los graduados será la posterior calidad de mano de obra del mercado laboral.

Agradecimientos

El desarrollo de este trabajo ha sido fruto de la colaboración y el apoyo de diversos actores, a los cuales se les agradece profundamente. En primer lugar, a los estudiantes y egresados por su participación y compromiso en el proceso de mejora del Proyecto Final, así como por su valiosa contribución al proporcionar información y retroalimentación. También se agradece al departamento de Ingeniería Eléctrica por su colaboración en la implementación de las propuestas planteadas por la cátedra y al departamento de alumnado que brindó la información necesaria. Finalmente, al consejo departamental, que no sólo aprobó, sino que también colaboró en la implementación de las modificaciones propuestas, reconociendo la importancia de estas medidas para mejorar la experiencia académica de los estudiantes. Gracias al esfuerzo conjunto de todos, se han logrado realizar las mejoras necesarias en el proceso del Proyecto Final, lo que se espera tenga un impacto positivo en la finalización del trabajo final de grado de los estudiantes.

Referencias

Bartolini, A. M. (2010). Estado del arte sobre los profesionales que egresan con tesis. *Anuario Digital de Investigación Educativa, 21*.

Carlino, P. (2005). La experiencia de escribir una tesis: contextos que la vuelven más difícil. *Instituto de lingüística, 24*, págs. 41-62. Obtenido de https://www.aacademica.org/paula.carlino/196

Estremadoiro, B. &. (2021). Procrastinación académica en estudiantes universitarios. *Revista Aportes de La Comunicación y La Cultura, 30*, 51–66.

García de Fanelli, A. M. (2019). Acceso, abandono y graduación en la educación superior argentina. Obtenido de https://ridda2.utp.ac.pa/bitstream/handle/123456789/9361/1319036947Accesoabandono-y-graduacion-en-Argentina-Garcia.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Gascón, Y. (2008). El síndrome de Todo Menos Tesis “TMT” como factor influyente en la labor investigativa. *Revista Copérnico, 5*(9), 46-57.

Herrera, L. O. (2013). *Determinantes de la tasa de graduación y de la graduación a tiempo en la educación superior de Colombia 1998-2010.* Obtenido de https://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/257/Co_EcoSem1_2013_Herrera.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Lindblom, S. (2019). The role of research-based evidence in cultivating quality of teaching and learning in higher education. *Uniped*, pp 106–110.

Moreno, J. E. (Nov - Abr de 2019). Los estudiantes universitarios y sus metas académicas. Implicancias en el logro y retraso de los estudios. *Ciencia, Docencia y Tecnología, 30*(59).

Ordenanza 1873. (15 de 06 de 2022). *DISEÑO CURRICULAR DE INGENIERÍA EN ENERGÍA ELÉCTRICA - Plan 2023 -* . Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina: Ministerio de Educación - Universidad Tecnológica Nacional - Rectorado.

Ordenanza 1874. (15 de 06 de 2022). *RÉGIMEN DE CORRELATIVIDADES, EQUIVALENCIAS PARA MATERIAS DE LA CARRERA INGENIERÍA EN ENERGÍA ELÉCTRICA - PLAN 2023 -* . Autónoma de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina: Ministerio de educación - Universidad Tecnológica Nacional - Rectorado.

Petric, N. S. (2017). La trama del egreso a término: un estudio en egresados de universidades de gestión estatal de la región Centro. Obtenido de https://repositorio.uca.edu.ar/bitstream/123456789/519/1/doc.pdf

Quecedo, R. &. (2002). Introducción a la metodología de investigación cualitativa. (14), 5-39. Obtenido de https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=17501402

Res. CD 340. (01 de 07 de 2014). *Reglamento general de Proyecto Final*. Santa Fe, Santa Fe, Argentina: UTN-Santa Fe.

Ríos, G. (2007). Duración real de los estudios universitarios: desgranamiento y egreso. *IX Jornadas Argentinas de Estudios de Población.* Asociación de Estudios de Población de la Argentina. Obtenido de https://www.aacademica.org/000-028/40.pdf

Ruiz, E. P. (2007). *Metodología para realizar el seguimiento académico de alumnos universitarios*. Recuperado el 15 de 4 de 2024, de http://rieoei.org/deloslectores/1590ruiz.pdf

Umerenkova, A. G. (2017b). Gestión del tiempo y procrastinación en la educación superior. *Universitas Psychologica, 16*(3). Obtenido de https://doi.org/10.11144/Javeriana.upsy16-3.gtpe

Villabona, N. M. (2020). Análisis de las variables que afectan la duración de entrega del trabajo de grado de estudiantes de programas de pregrado. *Revista Espacios, 41*(44), 348–357. Obtenido de https://www.revistaespacios.com/a20v41n44/a20v41n44p27.pdf

UNA METODOLOGÍA BASADA EN EL ALGORITMO NELDER-MEAD PARA OPTIMIZACIÓN DE FORMAS EN PROBLEMAS DE HIDRODINÁMICA NAVAL UTILIZANDO OPENFOAM

Nicolás A. Antonelli[1], Gustavo E. Carr[1], Santiago A. Urquiza[2]

[1]Grupo HidroSim, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mar del Plata,
Buque Pesquero Dorrego No 281, Mar del Plata, Argentina, email:hidrodinamica@mdp.utn.edu.ar
[2]CONICET – CCT Mar del Plata, Argentina, http://mardelplata-conicet.gob.ar/
[3]Grupo de Ingeniería Asistida por Computadora (GIAC), UNMDP, Facultad de Ingeniería,
Juan B.Justo No 4302, Mar del Plata, Argentina, email:ingenier@fi.mdp.edu.ar
nicolasantonelli50@gmail.com

Resumen

Los principales problemas de hidrodinámica naval que suelen ser de interés son: resistencia al avance generada por la forma (carenas) de los buques, tiro suministrado por las hélices (propulsores navales), estabilidad transversal, interacción hélice-carena, entre otros. Las hélices son una componente muy importante de las embarcaciones, desempeñando un papel vital en su funcionamiento y eficiencia en navegación. Convierten la energía del motor en empuje para que pueda navegar en las condiciones adecuadas. Su incorrecta o imprecisa selección, puede provocar que el buque sufra problemas de velocidad, maniobrabilidad y gasto excesivo de combustible. El desarrollo de metodologías sólidas para realizar estimaciones preliminares en etapas de anteproyecto y diseño conceptual resulta de suma importancia para garantizar la eficiencia, seguridad y rentabilidad. Al estudiar la propulsión como caso de estudio, se pueden desarrollar herramientas que luego pueden aplicarse a otras áreas del diseño naval, como la forma de la carena, adaptando adecuadamente la metodología. Esto permite un abordaje más sistemático y preciso, a la par de robusto.
Este trabajo presenta una metodología novedosa para la optimización de formas en problemas de hidrodinámica naval aplicable tanto a hélices como a carenas. Concretamente, se plantea el desarrollo de un método de optimización para problemas hidrodinámicos basado en algoritmo Nelder-Mead combinado con la imposición de restricciones via método de Newton-Rhapson, donde el flujo se resuelve mediante el método de volúmenes finitos a través del paquete OpenFoam. El caso de estudio presentado consiste en introducir variaciones de parámetros geométricos sobre una hélice perteneciente a la serie B (serie de Troost) publicada por el canal de Wageningen, de amplia utilización en la industria naval. La función objetivo evaluada es el rendimiento de la hélice en el ensayo de propulsor aislado para condiciones de funcionamiento determinadas. Se logra como resultado geometrías que presentan rendimientos superiores a las iniciales.

Palabras Clave: Hidrodinámica Naval, Fluidodinámica Computacional, Optimización de formas.

Introducción

El ensayo de propulsor aislado se realiza para evaluar el rendimiento de la hélice en condiciones controladas, excluyendo la influencia de otros componentes del sistema de propulsión. Tradicionalmente, estos ensayos se llevaban a cabo en tanques de prueba a escala (canales de experiencias hidrodinámicas), donde se medían parámetros como el empuje, el par motor y la eficiencia del propulsor.

Sin embargo, en la actualidad, el análisis de propulsores aislados se ha transformado con el avance de las nuevas técnicas de simulación. La dinámica de fluidos computacional (CFD) se ha convertido en una herramienta predominante en estos estudios. El uso de CFD permite la simulación detallada del flujo de fluidos alrededor del propulsor en condiciones virtuales, proporcionando datos precisos sin la necesidad de pruebas físicas extensivas.

Las simulaciones CFD ofrecen una visión detallada del comportamiento de la hélice, incluyendo la interacción del flujo y los efectos de parámetros variables como el ángulo de ataque, diámetro y paso. Estas simulaciones no solo validan modelos teóricos, sino que también optimizan el diseño del propulsor, reduciendo la necesidad de pruebas físicas costosas y acelerando el proceso de desarrollo.

Aunque la evaluación del rendimiento del propulsor requiere simulaciones altamente inestables y físicamente complejas, es común utilizar métodos potenciales menos precisos pero más rápidos como los que desarrollan Mishima (1996) o Lee et. al. (2010).

Jang et al. (2020) demostraron que el movimiento de avance del buque afecta el rendimiento de la hélice. En el contexto de la evaluación de propulsores, Helma et al. (2018) revisaron diversos métodos de escalado y destacaron que los métodos estadísticos, analíticos y de dinámica de fluidos computacional (CFD) tienen influencias distintas en los resultados, lo que resalta la importancia de elegir el método adecuado según el objetivo de la simulación

La optimización automática de propulsores se usa cada vez más para generar numerosas alternativas de diseño y apoyar al diseñador durante la síntesis del diseño. Foeth (2017) presenta una parametrización de la geometría del propulsor basada en registros de bases de datos y la optimización multiobjetivo en presencia de estela. Sin embargo, esta optimización es computacionalmente intensiva y no considera restricciones, dado que se realiza una optimización preliminar para determinar los rangos principales de los parámetros. Por otra parte Berger et al. (2014) proponen una optimización en dos etapas con la interacción del propulsor y el casco en la segunda etapa, tras la evaluación de una optimización multiobjetivo en condiciones de estela dadas. Este es un paso intermedio eficiente, como también indica Foeth (2017), para ayudar al diseñador a encontrar el diseño óptimo para una geometría de casco dada. Sin embargo, en este último, solo se aplica una restricción en la igualdad de empuje y la función objetivo está sesgada por el factor de peso aplicado.

Los métodos de escalado actuales para propulsores, como los estadísticos, Lerbs–Meyne y el de franjas, podrían no ser válidos para propulsores no convencionales. Helma (2016) presentó un procedimiento de escalado modificado basado en el perfil equivalente para calcular el ángulo de flujo hidrodinámico a partir de pruebas a Reynolds constante y compara un propulsor convencional con un diseño reciente.

La optimización de propulsores con restricciones se presenta, por ejemplo, en Vesting y Bensow (2011), con una optimización multiobjetivo en condiciones de estela, considerando la cavitación por lámina.

Este estudio desarrolla un método de optimización utilizando el algoritmo Nelder-Mead y el método de Newton-Raphson, con el flujo resuelto por el paquete OpenFOAM. Se introducen variaciones geométricas en una hélice de la serie B, mostrando un rendimiento superior en comparación con los diseños iniciales. El objetivo es avanzar en la comprensión de la dinámica de hélices y contribuir a la eficiencia y sostenibilidad en la propulsión marítima.

Materiales y métodos

El comportamiento de los fluidos newtonianos se describe mediante las ecuaciones de Navier-Stokes (Ec. 1). En este trabajo, se resuelven las ecuaciones de Navier-Stokes promediadas por Reynolds (RANS) utilizando el Método de Volúmenes Finitos y el solucionador pimpleFoam del paquete OpenFOAM.

Para modelar la turbulencia se utilizó el modelo k- SST (Ec. 2 y Ec. 3), mientras que para la rotación de la hélice se optó por el método del Marco de Referencia Móvil (MRF) (Wilhelm, 2015). La metodología fue detallada y validada previamente en Antonelli et al. (2023).

$$\rho\left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \cdot \nabla u\right) = -\nabla \mathrm{p} + \mu \nabla^2 u + f \quad (1)$$

$$\frac{\partial (\rho k)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U k) = \nabla \cdot [(\mu + \sigma_k \mu_t)] \nabla k + P_k - \rho \epsilon \quad (2)$$

$$\frac{\partial (\rho \epsilon)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U \epsilon) = \nabla \cdot [(\mu + \sigma_\epsilon \mu_t)] \nabla \epsilon + C_{\epsilon 1} \frac{\epsilon}{k} P_k - C_{\epsilon 2} \rho \frac{\epsilon^2}{k} \quad (3)$$

Para la generación geométrica se crea la superficie de la hélice basada en parámetros utilizando el algoritmo de generación geométrica descrito por Carr et al. (2018) donde se desarrollan códigos para automatización del mallado para modelos CFD en el diseño de propulsores navales utilizando GNU Salome y Python. El estudio demuestra que la automatización permite generar mallas de elementos finitos de manera paramétrica para diferentes series de hélices, adaptándose a una amplia gama de diseños. En segundo lugar, se crea la malla utilizando blockMesh de OpenFOAM. Finalmente, la simulación de dinámica de fluidos se realiza utilizando el solver pimpleFoam.

Los parámetros geométricos son:
• Relación de áreas (Fa/F)
• Diámetro
• Número de palas
• Paso
• Skew
• Rake

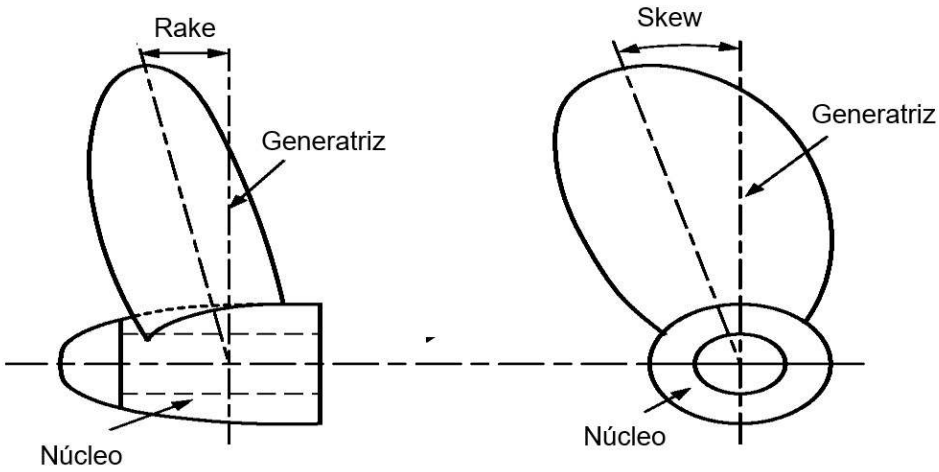


Fig. 1. Parámetros “Rake” y “skew” en vista de perfil y frontal (izquierda y derecha, respectivamente).

Los parámetros de skew y de rake (Fig. 1) son adiciones recientes que amplían tanto la descripción original de Wageningen como el trabajo previo (Carr et al., 2018).

El coeficiente de avance (J) denota la relación entre la velocidad del flujo axial y la velocidad periférica (o rotacional) de la hélice, como se muestra en la Ecuación 2. En aplicaciones prácticas, se emplean comúnmente los coeficientes adimensionales Kt y Kq para escalar el empuje y el par motor, respectivamente, como se muestra en las Ecuaciones 3 y 4. Kt representa el empuje real de la hélice en relación con el empuje teórico, mientras que Kq es el par motor real en relación con el par teórico. Además, la eficiencia de la hélice η se define como la relación entre la potencia producida por la hélice y la potencia entregada a ella por el sistema de propulsión del barco (Ec. 5). Sin embargo, también puede expresarse en términos de Kt y Kq.

$$J = \frac{V_a}{nD} \tag{2}$$

$$K_T = \frac{T}{\frac{1}{2}\rho n^2 D^4} \tag{3}$$

$$K_Q = \frac{Q}{\frac{1}{2}\rho n^2 D^5} \tag{4}$$

$$\eta = \frac{K_T}{K_Q}\frac{J}{2\pi} \tag{5}$$

Se propuso un esquema de optimización que incorpora restricciones, utilizando el algoritmo de Nelder-Mead (Nelder and Mead, 1965) a través del paquete Scipy (Virtanen et al., 2020). El algoritmo Nelder-Mead (NM), desarrollado por John Nelder y Roger Mead en 1965, es una técnica de optimización no lineal. Durante décadas, ha sido ampliamente utilizado para optimizar funciones que no son lineales ni derivables. El método se basa en el concepto de simplex, que es un politopo convexo con N + 1 vértices en un espacio de N dimensiones; por ejemplo, un triángulo en dos dimensiones o un tetraedro en tres dimensiones.

A diferencia del método Spendley-Hext-Himsworth, que no permite modificar la forma del simplex durante la búsqueda, el algoritmo Nelder-Mead permite que el simplex ajuste su forma para adaptarse mejor a la topología de la función objetivo. Esta capacidad de modificar la forma del simplex resulta en un rendimiento superior en comparación con otras técnicas similares. Mientras que en el método SSH el simplex solo puede reflejarse y reducirse, el método NM incluye además las operaciones de expansión y contracción. Estas cuatro operaciones se representan mediante los coeficientes ρ (reflexión), χ (expansión), γ (contracción interna) y σ (contracción externa) (Fig. 2)

El esquema permite la restricción de varios parámetros, incluyendo: diámetro, paso, relación de áreas (Fa/F), número de palas y velocidad de rotación. Estos parámetros se fijan dentro del script de generación geométrica de la hélice para establecer las restricciones especificadas. Además, el coeficiente de empuje puede fijarse (como un valor constante) mediante el esquema de Newton-Rhapson, mientras que la velocidad de rotación de la hélice puede ajustarse directamente a través de las configuraciones de OpenFOAM.

Para demostrar la robustez de la metodología, se implementan casos con distinta cantidad de números de palas (a saber, 3, 4 y 5) y con la posibilidad de variar o no los parámetros geométricos Fa/F y P/D resultando en 6 (seis) casos de estudio. Para todos los casos, también se restringen la velocidad de rotación y el diámetro de la hélice. Los casos con los resultados obtenidos se presentan en la tabla 1 y la figura 3.

Resultados y discusiones

Se observa una mejora consistente en el rendimiento en comparación con las configuraciones originales. Las modificaciones en las variables de diseño, tales como el coeficiente de skew (Cskew) y el coeficiente de rake (Crake), tienen un impacto notable en el rendimiento. En particular, los ajustes en el Cskew y el Crake en el Caso 1 y el Caso 2 han conducido a mejoras considerables. Los casos optimizados presentan un aumento en el Crake, lo que parece contribuir a una mayor eficiencia. No hay conclusiones claras acerca del coeficiente de rake, ya que en algunos casos el resultado son valores por encima del valor original, y en otros casos por debajo.

La magnitud de la mejora varía entre los casos de estudio. En el Caso 4, por ejemplo, la optimización muestra una mejora en el rendimiento de 0.576 a 0.595, mientras que en el Caso 6, el rendimiento aumenta de 0.628 a 0.659. Esta variabilidad sugiere que la efectividad de las optimizaciones puede depender de las condiciones específicas y del diseño inicial de cada hélice.

El análisis de velocidades tangenciales (Fig. 4) revela que el diseño actual presenta una distribución relativamente uniforme de las velocidades en la región de interés. Se demuestra que el diseño optimizado es eficiente y que se benefición de los ajustes geométricos introducidos para mitigar las variaciones en las velocidades y mejorar la uniformidad del flujo.

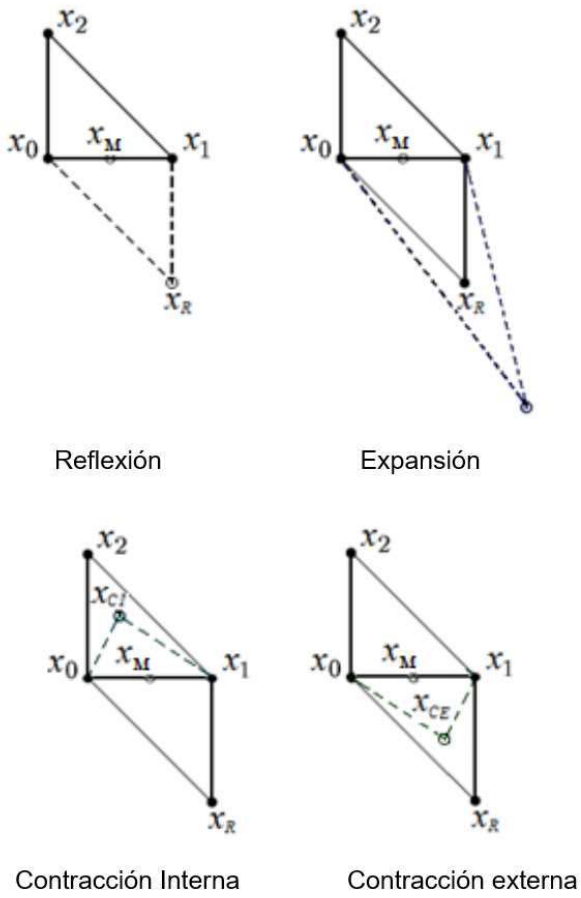


Fig. 2. Operaciones del simplex en algoritmo Nelder-Mead.

Conclusiones

En este trabajo se presentó un método innovador para la optimización de la forma de problemas hidrodinámicos navales para hélices y cascos. El método de optimización se desarrolló con base en el algoritmo de Nelder-Mead combinado con el método de Newton-Raphson para introducir algunas de las restricciones, y se utilizó el paquete OpenFoam para resolver el flujo mediante el método de volúmenes finitos. El estudio se centra en los cambios en los parámetros geométricos de las hélices de la serie B (serie Troost) del Canal de Wageningen, ampliamente utilizadas en la industria naval. La función objetivo evaluada es el desempeño de la hélice en una prueba de propulsor aislado bajo condiciones realistas.

Las optimizaciones realizadas muestran una mejora consistente en el rendimiento de las hélices en comparación con las configuraciones originales. Los ajustes en los coeficientes de skew

Tabla 1. Casos de estudio con resultados.

Caso	Z	FaF	D	P/D	Cskew	Crake	J	η
1 Original	3	0,777	1,100	0,785	1,000	15,000	0,508	0,660
1 Optimizado	3	0,777	1,100	0,785	1,067	15,017	0,508	0,683
2 Original	3	0,805	1,300	0,724	1,000	15,000	0,693	0,542
2 Optimizado	3	0,879	1,300	0,686	0,960	15,054	0,693	0,614
3 Original	4	0,790	0,950	0,812	1,000	15,000	0,543	0,532
3 Optimizado	4	0,790	0,950	0,812	1,000	15,094	0,543	0,573
4 Original	4	0,893	0,770	0,799	1,000	15,000	0,700	0,576
4 Optimizado	4	0,958	0,770	0,855	0,920	15,066	0,700	0,595
5 Original	5	0,759	1,400	0,827	1,000	15,000	0,640	0,599
5 Optimizado	5	0,759	1,400	0,827	1,000	15,095	0,640	0,625
6 Original	5	0,839	2,200	0,860	1,000	15,000	0,634	0,628
6 Optimizado	5	0,769	2,200	0,893	0,939	15,062	0,634	0,659

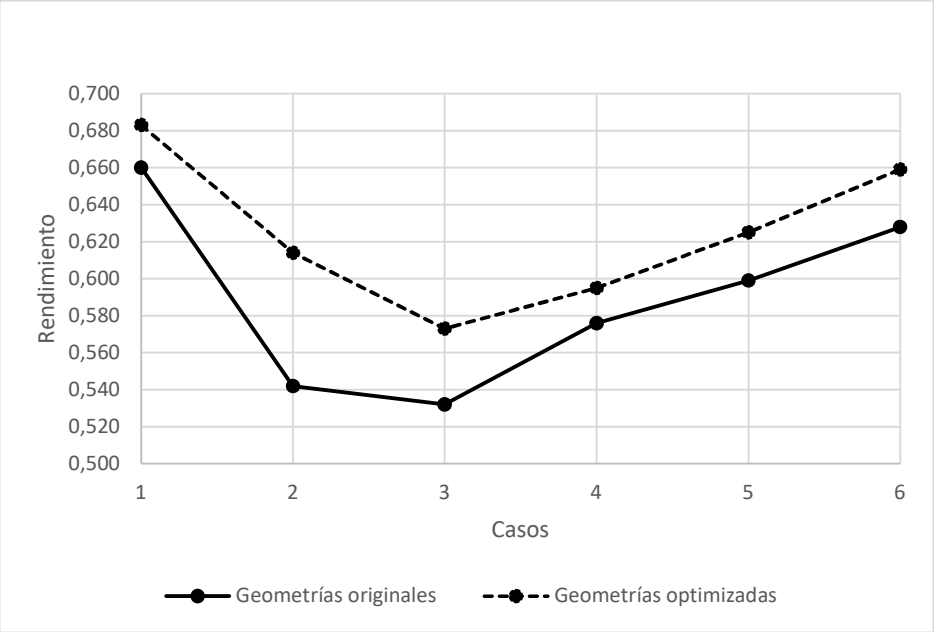


Fig. 3. Rendimientos para geometrías originales y optimizadas.

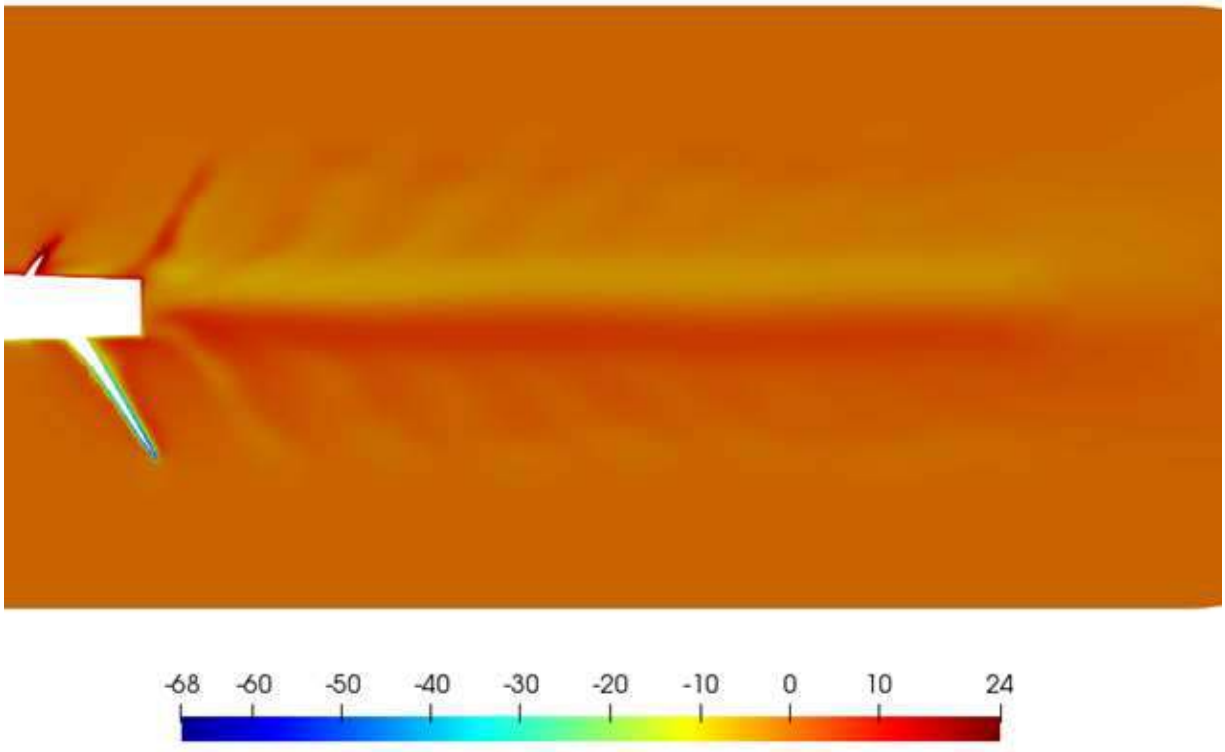


Fig. 4. Velocidades tangenciales (en m/s) para el caso 1 optimizado.

(Cskew) y rake (Crake) han resultado en incrementos significativos en la eficiencia, aunque el impacto del coeficiente de rake varía entre los casos estudiados.

La magnitud de la mejora en el rendimiento muestra variabilidad según el diseño inicial y las condiciones específicas de cada hélice, indicando que la efectividad de las optimizaciones puede depender del contexto particular.

Como trabajo futuro se propone, en primer lugar, ampliar el rango de variables de diseño consideradas, como el perfil de la pala y el ángulo de ataque, para evaluar su impacto en la eficiencia del propulsor. Además, se considera incorporar diversas condiciones operativas y ambientales, tales como variaciones en la velocidad de avance, velocidad de rotación y ángulo de inclinación de la hélice respecto al buque, para comprender mejor cómo estos factores influyen en la eficacia del propulsor en escenarios aún más realistas.

En cuanto a las técnicas de optimización, se sugiere implementar métodos tales como algoritmos evolutivos y técnicas basadas en inteligencia artificial, e incorporar nuevas funciones objetivo, por ejemplo, la reducción del ruido y la minimización de cavitación. También se espera trabajar con propulsores no convencionales, como los propulsores de paso variable para comparar sus ventajas y desventajas respecto a los diseños tradicionales.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por la Universidad Tecnológica Nacional, mediante el programa de proyectos y becas, y por CONICET mediante su programa de becas internas doctorales.

Referencias

Antonelli, N., Carr, G.E., & Urquiza, S. (2023). Optimización de formas de propulsores navales utilizando OpenFOAM. Mecánica Computacional. Industrial Applications, XL(36), 1277–1283. ISSN 2591-3522.

Berger, S., Druckenbrod, M., Pergande, M., & Abdel-Maksoud, M. (2014). A Two-Stage Optimisation Method for Full-Scale Marine Propellers Working Behind a Ship. Ship Technol. Res., 61, 64–79.

Carr, G.E., Vaccari, A., Giménez, J.A., Sanchez, Y., Biocca, N.A., Martínez, J.F., & Urquiza, S. (2018). Automatización de generación de mallas para la optimización de propulsores navales. Mecánica Computacional. Industrial Applications, XXXVI(12), 499–510. ISSN 2591-3522.

Foeth, E.J. (2015). Propeller optimization using an unsteady Boundary-Element Method. In Proceedings of the Fourth International Symposium on Marine Propulsors (pp. 27–32). Helsinki, Finland: The University of Texas.

Helma, S. (2016). A scaling procedure for modern propeller designs. Ocean Eng., 106, 165–174.

Helma, S., Streckwall, H., & Richter, J. (2018). The Effect of Propeller Scaling Methodology on the Performance Prediction. J. Mar. Sci. Eng., 6, 60.

Jang, Y.H., Eom, M.J., & Paik, K.J. (2020). A Numerical Study on the Open Water Performance of a Propeller with Sinusoidal Pitch Motion. Brodogradnja, 71, 71–83.

Lee, C.S., Choi, Y.D., Ahn, B.K., Shin, M.S., & Jang, H.G. (2010). Performance optimization of marine propellers. Int. J. Nav. Archit. Ocean Eng., 2, 211–216.

Mishima, S. (1996). Design of Cavitating Propeller Blades in Non-Uniform Flow by Numerical Optimization. Ph.D. Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, USA.

Nelder, J., & Mead, R. (1965). A simplex method for function minimization. Computer Journal, 7, 308. doi:http://dx.doi.org/10.1093/comjnl/7.4.308

Vesting, F., & Bensow, R. (2011). Propeller Optimisation Considering Sheet Cavitation and Hull Interaction. In Proceedings of the Second International Symposium on Marine Propulsors (pp. 79–88). Hamburg, Germany: Institute for Fluid Dynamics and Ship Theory.

Wilhelm, D. (2015). Rotating flow simulations with OpenFOAM. International Journal of Aeronautical Science & Aerospace Research, 1–7.

UNIDADES DE PROYECTOS GRUPALES E INDIVIDUALES CON DOCENTES Y ESTUDIANTES DE INGENIERÍA EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN

German Bianchini[1], Paola Caymes-Scutari[1, 2]

[1] Laboratorio de Investigación en Cómputo Paralelo/Distribuido (LICPaD), Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional, Rodríguez 273 (M5502AJE) Mendoza
[2] Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)
gbianchini@frm.utn.edu.ar

Resumen

La formación de investigadores ha adquirido gran relevancia en el contexto actual, donde la ciencia desempeña un papel fundamental en el progreso social (en el ámbito internacional, se observa un notable crecimiento en la formación de investigadores). Sin embargo, en Argentina, a pesar de tener el mayor número de investigadores en la región, persisten desafíos en términos de cantidad de investigadores, inversión económica en el sector y distribución territorial.

Para abordar este tipo de situación, diversas instituciones alrededor del mundo han implementado programas para fomentar las vocaciones científicas y de investigación desde edades tempranas. Por otra parte, la necesidad de fortalecer la formación de investigadores se refleja también en los procesos de acreditación universitaria. La evaluación de las carreras incluye la producción de proyectos de investigación y los aportes tanto del cuerpo docente como del alumnado.

Si consideramos el caso de la UTN, vemos que ofrece recursos para la formación de investigadores, como por ejemplo cursos sobre buenas prácticas en la vinculación tecnológica, gestión de la ciencia, tecnología e innovación, e inglés para la publicación de artículos científicos, entre otros. Sin embargo, se observa una brecha y un desconocimiento por parte de los potenciales investigadores, producto de la desinformación y la falta de instrumentos específicos para profesionalizar y financiar la investigación. Además, la considerable brecha salarial entre la investigación y el sector privado desincentiva la participación de jóvenes talentos.

El proyecto que se describe en el presente trabajo busca allanar el camino a aquellos interesados en desarrollar sus propias ideas, las cuales denominamos Unidades de Proyecto, y colabora en la inserción dentro del ámbito científico, brindando acompañamiento y fomentando el desarrollo de las investigaciones en la medida de lo posible de acuerdo a los recursos disponibles.

Palabras Clave: Investigación, Alumnos, Docentes, Iniciación.

Introducción

La investigación científica en los diferentes campos de las ciencias ha tomado especial importancia dado su aporte al desarrollo de sociedades que persiguen el bienestar a través del desarrollo científico, y que adicionalmente están preparadas para afrontar los desafíos de la naturaleza, la tecnología y el contexto mundial, procurando así el desarrollo social y cultural del país (Aldana, 2012; Cazaux, 2008; Delgado, 2021). Según el ganador del Premio Nobel Bernardo Houssay, “De la investigación científica dependen la salud, el bienestar, la riqueza, el poder y hasta la independencia de las naciones” (Houssay, 1960, p.7).

Alrededor del mundo se vienen registrando grandes avances en la formación de investigadores; por ejemplo, en algunos de los países que forman parte de la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos), tales como República Checa, Portugal, Austria, Dinamarca y Eslovenia, la formación de recursos humanos en investigación se ha incrementado exponencialmente (Sanz Menéndez y Cruz Castro, 2010).

En el continente americano, Estados Unidos ocupa el primer lugar en cuanto a número de investigadores científicos (según datos publicados por la UNESCO, en EEUU el 10% de cada 1000 habitantes de su población económicamente activa (PEA) se dedica a actividades relacionadas con la investigación), al que sigue Canadá con un 8% por cada 1000 de la PEA (CONACYT, 2014).

En el sur del continente la formación de investigadores se desarrolla principalmente en las universidades, fundamentalmente a través de programas de doctorado, como así también en el marco de instituciones dedicadas a la investigación, como es el caso de CONICET en Argentina, cuyo escalafón va desde estudiantes/becarios doctorales hasta investigadores superiores. Si bien Argentina es la nación con mayor número de investigadores, como puede apreciarse gráficamente en la Fig.1, con un 2,4% de científicos por cada 1000 habitantes de su PEA (Sebastián, 2003), por sobre Chile con un 2,0% y Brasil con un 1,3%, existe un rezago considerable en cuanto al número de investigadores –y a los recursos económicos que el estado dedica al área–, y en consecuencia a la formación de profesionales en esta área. Además, es importante remarcar que parte de las deficiencias en la formación de investigadores tiene su origen en los niveles iniciales del sistema educativo, pues, sólo hace muy poco tiempo, y en general como actividades optativas o complementarias, los planes nacionales de educación han comenzado a contemplar la formación para la investigación como un elemento importante en la educación de niños y jóvenes.

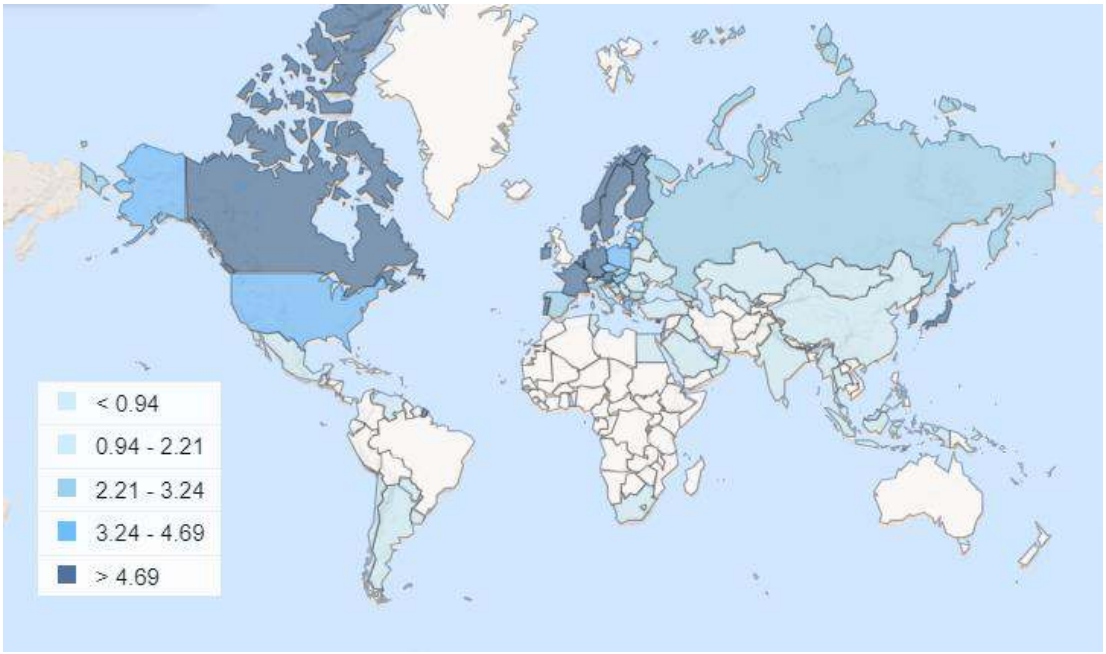


Fig. 1. Investigadores dedicados a investigación y desarrollo (en miles por cada millón de personas) (Banco Mundial, 2024).

Debido a esto, diversas instituciones a lo largo y ancho del mundo han comenzado a desarrollar programas para el fomento de vocaciones científicas y de investigación a edades tempranas (Centro Universitario Los Lagos, 2024; Escalante et al, 2011; Universidad de Navarra, 2024; Universidad Maimónides, 2024; Rojas et al, 2020), por lo que es evidente que el camino es implementar estrategias enfocadas en la formación de investigadores. Esta necesidad de orientarse en el sendero de la investigación incluso se aprecia en los procesos de acreditación de las diversas carreras universitarias, en donde un aspecto relevante en la evaluación de las mismas son los proyectos de investigación y los aportes que el plantel docente –y en lo posible los estudiantes– pueden realizar durante su vida académica.

Si bien en la UTN existen recursos para la formación de investigadores, como por ejemplo los cursos PROFORVIN (Universidad Tecnológica Nacional, 2024), que anualmente se dictan con una serie de contenidos que brindan información a los participaciones acerca de cuestiones como las *Buenas prácticas de la vinculación tecnológica*, la *Gestión de la ciencia, la tecnología y la innovación* o *Inglés*

para la publicación de artículos científicos, por citar algunos ejemplos, hallamos que hay una brecha y un desconocimiento, proveniente de la desinformación, y la falencia de instrumentos específicos que permitan profesionalizar la investigación, que mantienen alejados a los potenciales investigadores de estos recursos y fuentes de información. Por ello, y en línea con uno de los objetivos del IDETEC, en el presente trabajo se describe el proyecto PID *Marco para desarrollar nuevas unidades de proyectos e incorporar docentes y alumnos en actividades de investigación en ISI*, realizado en la UTN-FRM, que tiene como meta incentivar la investigación y difundir los trabajos que realizan los alumnos, becarios y docentes, para poder abrirse camino en el ámbito de la ciencia, favoreciendo el desarrollo de la misma.

En la siguiente sección se describen los objetivos y la forma de trabajo. La noción de Unidad de Proyecto, y las líneas y avances que actualmente se están llevando a cabo en el marco del mismo se detallan en la sección Resultados. Finalmente, se presentan algunas conclusiones y reflexiones.

Objetivos y métodos

El objetivo general del proyecto es promover la actividad científica, procurando el apoyo a la investigación e intentando que la pertinencia y relevancia de esos conocimientos contribuyan al progreso colectivo. En esta misma línea, son objetivos específicos la consolidación de la actividad de investigación, la formación de recursos humanos y el apoyo a la incorporación de los recursos formados en el plantel docente de la carrera, el crecimiento en proyectos y nuevas líneas de investigación, la promoción de la información y divulgación científica, el seguimiento y evaluación de la producción y la promoción de la innovación tecnológica.

Con el fin de mejorar y ampliar la oferta y amplitud de temáticas, dentro de un proyecto de investigación global se ha previsto el respaldo a la creación de propuestas más pequeñas (denominadas Unidades de Proyecto o simplemente UP) con el fin de generar masa crítica y reconocer a aquellos investigadores o grupos reducidos que no cumplen los requisitos o condiciones según las normas vigentes para crear sus propios proyectos de investigación (por ej. falta de categoría en carreras de investigador o categoría insuficiente, carencia de director, falta de experiencia a la hora de planificar o definir un cronograma y cumplirlo, falta de antecedentes, etc.), o que carecen de una experiencia tal que les permita conducir exitosamente un proyecto por sí mismos. Por lo tanto, el marco que ofrece el proyecto subyacente constituye un espacio de promoción de ideas e iniciativas para la iniciación en la investigación, tanto para estudiantes de grado como para docentes. Por esta razón, se ha impulsado, por medio de las cátedras vinculadas a los docentes participantes del proyecto, la difusión de temáticas y actividades que propicien que los estudiantes se inicien tempranamente en la investigación, fomentando su inclusión en los diversos grupos ya sea como alumnos *ad honorem* o como becarios.

Con el fin de alcanzar estos objetivos señalados, y más allá del tema específico o línea elegida por cada una de las UP, en cada una de las mismas se sigue una misma metodología, respetando las etapas del método científico. Los pasos incluyen realizar el diseño, análisis e implementación del tema de trabajo elegido, previo un estudio del área específica y estado del arte. Los procedimientos y tareas se detallan en la Tabla 1, y los mismos incluyen etapas importantes como el estudio del Estado del Arte, para saber qué avances se han realizado en los últimos años en el campo de interés; una etapa de Desarrollo, en la cual se podrán proponer e implementar prototipos y realizar mediciones; una etapa de Validación, que se enfoca en la evaluación de los resultados obtenidos y finalmente una etapa de Documentación y Publicación de los resultados hallados tanto a nivel de informe de proyecto como para la difusión de los resultados y conclusiones obtenidos.

Consideramos importante apostar a fortalecer las habilidades de análisis, interpretación de los fenómenos del entorno, sistematización de la información, uso adecuado de la tecnología, con el objetivo general de que sean capaces de construir su conocimiento a partir de la propia experiencia.

Tabla 1. Actividades correspondientes a las diversas etapas de trabajo

Estado del Arte
Revisar el Estado del Arte en lo relativo al tema de trabajo seleccionado. Revisar fundamentos teóricos del tema de trabajo. Revisar fundamentos teóricos sobre el paradigma a aplicar. Buscar diversas alternativas de solución al problema planteado.
Desarrollo
Proponer y diseñar prototipos. Implementar el diseño. Aplicar métricas para el análisis de la performance, rendimiento y/o funcionalidad de acuerdo al tipo de desarrollo (tales como *speedup*, tiempo de ejecución, eficiencia, escalabilidad, *overhead*, etc.) Realizar *testing*, corrección y depuración.
Validación del desarrollo
Aplicar el desarrollo sobre casos de estudio, en caso de haberlo, o sobre casos sintéticos. Depurar. Medir y evaluar los resultados obtenidos.
Documentación y Publicación de Resultados
Documentar los resultados y procedimientos. Publicar los resultados obtenidos. Redactar el informe final del proyecto.

Resultados

Hasta el momento se ha venido trabajando en diferentes Unidades de Proyecto (UP), en donde cada UP se entiende como un proyecto individual o grupal en el que una persona o un conjunto de investigadores enfoca su trabajo en función de sus intereses y conocimiento. Las distintas UP se han configurado de múltiples formas. Algunas cuentan con participantes alumnos que se encuentran en diferentes etapas de la carrera, y en otros casos las unidades se han constituido con docentes quienes, en algunos casos, no poseían mayor conocimiento de las tareas que involucra la realización de un proyecto de investigación. En otros casos, las UP cuentan con docentes que se encuentran realizando alguna maestría o carrera de doctorado, lo cual evidencia la diversidad de formación y experiencia de los participantes del proyecto global.

A continuación, se detallan las distintas UP actuales:

Reconocimiento de Imágenes mediante Redes Neuronales Paralelas (grupo conformado por seis estudiantes de segundo año de la carrera Ing. en Sistemas de Información). Dicha UP plantea el reconocimiento de imágenes numéricas, con el propósito de aprender acerca del funcionamiento de esta clase de modelos de redes neuronales artificiales (Gestal Pose, 2024; 3Blue1Brown, 2017) o RNA (ver esquema de capas en Fig. 2) y la realización de una implementación propia, principalmente como meta pedagógica, aunque no tanto como aporte innovador. Dentro de los resultados logrados se ha efectuado una primera versión de algunas funciones del algoritmo a la que se ha entrenado mediante una base de datos para el reconocimiento de números manuscritos.

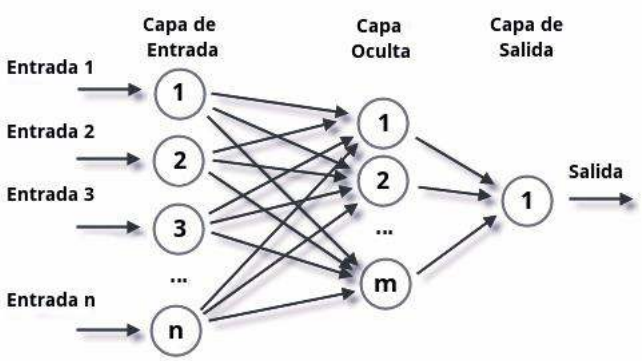


Fig. 2. Esquema de Red Neuronal Artificial con su estructura mínima compuesta por tres capas.

Resolución del problema TSP mediante el modelo ACO. La segunda UP, conformada por tres estudiantes avanzados de la Ing. en Sistemas de Información, se enfocó en la resolución del problema TSP, Travelling Salesman Problem (Abdulkarim y Alshammari, 2015) o Problema del Viajante en castellano, que hace referencia a la problemática de hallar la ruta más corta y al mismo tiempo la más eficiente para llegar a un destino o efectuar un recorrido, mediante la aplicación del algoritmo de optimización ACO, Ant Colony Optimization (Dorigo et al, 1996) u Optimización por Colonia de Hormigas en castellano. Sobre dicha implementación se realizaron múltiples experimentos con distintos números de ciudades para evaluar la respuesta, observando una baja escalabilidad, utilizando para dicho estudio un conjunto de datos reales de la colección de problemas de la Universidad de Waterloo (Universidad de Waterloo, 2024). En la Fig. 3 se aprecia la distribución de ciudades en Catar, que fue el caso de estudio utilizado. Por lo tanto, la UP se subdividió en dos equipos, donde uno se concentró en las mejoras del modelo, aplicando recorridos mediante las *k* ciudades más cercanas (utilizando la técnica *k-nearest cities*), mientras que el otro se concentró en la aplicación de procesamiento paralelo con GPU y threads para la mejora de los tiempos de respuesta.

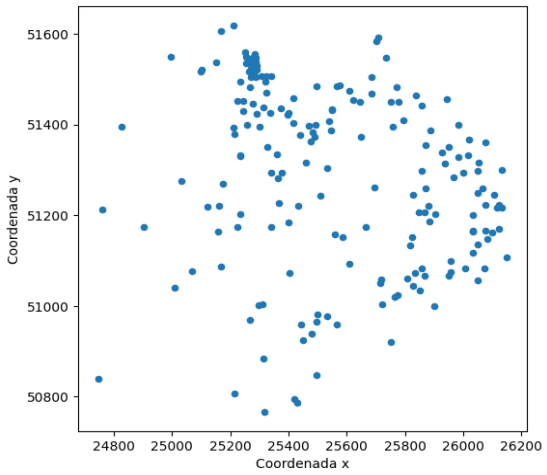


Fig. 3. Conjunto de 194 ciudades en Catar utilizado en las pruebas del algoritmo.

Aplicación de IA en servicios de internación domiciliaria. (UP conformada por tres docentes de Ingeniería en Sistemas de Información). En el presente proyecto se propone que la Inteligencia Artificial y la Internación Domiciliaria converjan en un solo tema (Badnjević et al, 2021). En primer lugar, se pretende alcanzar una idea clara sobre la necesidad de contar con dispositivos especiales para la aplicación de Inteligencia Artificial en las internaciones domiciliarias, dado que la gran mayoría de los dispositivos existentes han sido diseñados para instituciones sanatoriales. Su primera característica es que deben contar con facilidad de traslado y con una alta capacidad para recoger valores por medio de sensores o ingreso de datos. Su otra condición importante es que tengan capacidad para conectarse en forma automática a unidades de procesamiento de Inteligencia Artificial para que comparen contra experiencias generales y del propio paciente

(actualmente se trabaja en un *bot* que controla la glucemia). De esta manera, los recursos humanos afectados al cuidado del paciente en el domicilio podrían tener la información suficiente y a tiempo para la toma de decisiones. En relación a esto último, se comprende que se debe reformular la capacitación de los RRHH del personal dedicado a tareas de cuidados domiciliarios y de enfermería para estar preparados ante los cambios tecnológicos que suscitará la aplicación de esta clase de tecnología.

Estudio y configuración de cluster de computadoras (UP conformada por un equipo de tres estudiantes iniciales de Ingeniería en Sistemas de Información). En este caso particular, la UP tiene por objetivo la familiarización de los estudiantes con una arquitectura de tipo *cluster* (Cuevas Valencia, 2010) en un sistema de tipo Linux, optándose por la distribución Debian. Las tareas iniciales han sido una primera aproximación a esta arquitectura mediante la utilización de máquinas virtuales a través de *virtual box* (en la Fig. 4 puede verse uno de los pasos de configuración al momento de clonar la máquina virtual). La finalidad es documentar todo el proceso de configuración del clúster para la creación de un manual con un detalle paso a paso que en el futuro facilite dicha labor a otros estudiantes (dado que requiere conocimientos de sistemas operativos y redes, entre otras cosas) y permita, a su vez, la realización de un mantenimiento sencillo para dicho equipamiento.

Fig. 4. Captura de pantalla del proceso de clonación de máquinas virtuales en Virtual Box.

Autómatas Celulares aplicados a la simulación vehicular. (UP individual llevada a cabo por un docente investigador de Ingeniería en Sistemas de Información). Mediante el uso de Autómatas Celulares (AC) se pueden analizar comportamientos complejos de un sistema, surgidos a través de la aplicación de procesos computacionales básicos (Wolfram, 2018). Los AC resultan ideales como herramientas de simulación, puesto que permiten realizar simulaciones basadas en el avance del tiempo a través de pasos discretos, representando físicamente el estado del sistema a través de una grilla regular de celdas. En la presente UP, el docente se ha enfocado en el estudio de la historia de los AC y sus distintas aplicaciones, dado que ha sido exitosamente utilizado en la simulación de una amplia cantidad de fenómenos (crecimiento poblacional, tráfico vehicular, modelos electorales, simulación de incendios, etc.). A su vez, en el caso de estudio desarrollado, se está modelando el flujo vehicular, donde el modelo general, basado en el modelo teórico Na-Sch (Nagel y Schreckenberg, 1992), está compuesto por dos submodelos: un submodelo ambiental que es representado por un AC, y un submodelo de agentes que representa los vehículos que se desplazan por el ambiente (esquema en la Fig. 5). La evolución coordinada de ambos submodelos permite simular el fenómeno bajo estudio.

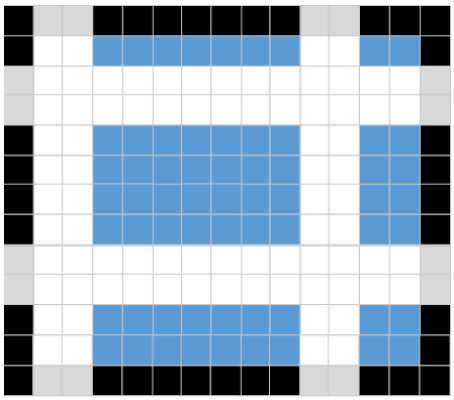


Fig. 5. Representación del modelo de flujo vehicular: las celdas blancas pueden contener un vehículo, las azules son espacio no transitable, en negro se representa el borde del espacio celular y en gris las celdas de intercambio con el exterior.

Por otra parte, como se ha comentado de la sección Objetivos y Métodos, más allá de los temas específicos sobre los que se ha centrado cada UP, uno de los resultados esperados y logrados ha sido trabajar en la mejora de las habilidades en el uso de herramientas para realizar investigación y en la comunicación de los resultados mediante el ejercicio del proceso de redacción, publicación y presentación de los aportes logrados, fomentando así la vocación científica de los participantes e incentivando la participación en los distintos mecanismos de vinculación. Hasta la fecha, se han publicado ocho trabajos en diversos eventos científicos como el WICC, CoNaIISI, CADI y EnIDI.

Conclusiones

En el presente artículo se han descripto las características, objetivos, metodología y temáticas llevadas a cabo en el proyecto de investigación y desarrollo (PID) titulado *Marco para desarrollar nuevas unidades de proyectos e incorporar docentes y alumnos en actividades de investigación en ISI*, el cual se encuentra enmarcado en el programa de Tecnología Educativa y Enseñanza de la Ingeniería de la UTN. El mismo se ha propuesto como un marco globalizador que permitiese la participación de docentes y alumnos en actividades de investigación, brindando la posibilidad de que individualmente, o en grupo, pudiesen llevar a cabo proyectos de investigación iniciales en líneas o temáticas de su interés, sin la necesidad de cumplir con todos los requisitos y formalidades que requiere la creación de un proyecto independiente, se trate éste de un PID, PICT, PICTO, u otra forma de financiamiento.

Como se ha expresado a lo largo del trabajo, es habitual que quienes buscan realizar actividades de investigación vean truncadas sus intenciones al toparse con las dificultades que presenta todo el proceso de formulación, presentación y aprobación de un proyecto, sin contar los requisitos que se solicita cumplan los propios participantes (categoría de investigador, antecedentes, etc.).

Por un lado, en el presente proyecto se ha buscado facilitar el acceso, brindando acompañamiento y soporte de distinto tipo, para que los interesados pudiesen desarrollar sus proyectos y así lograr tanto la experiencia de llevar a cabo un proyecto de investigación inicial, con todas las tareas y etapas que conlleva, como también generar antecedentes para que en futuras convocatorias pudiesen hacer sus aportes de forma completamente autónoma. Como se ha detallado en la sección de Resultados, hasta la fecha se han llevado a cabo cinco UP distintas, con diversos niveles de formación en sus integrantes y naturalmente distinto tipo de objetivos. Se ha trabajado en temas que involucran inteligencia artificial, computación paralela, metaheurísticas, autómatas, clusters, redes neuronales, etc., lo cual evidencia la variedad de intereses e inquietudes de los participantes.

Por otra parte, también es justo mencionar que, en estos tiempos, la ciencia y la investigación en instituciones académicas (en particular para los estudiantes y profesionales de áreas como sistemas e informática) no resulta una labor atractiva dada la falta de competitividad con el sector privado, la

falta de presupuesto y la escasez de recursos con los que se cuenta. La notable brecha salarial existente hace que la misma no sea contemplada como una opción, principalmente para los jóvenes. Por lo tanto, consideramos necesario prestar más atención y brindar más apoyo para evitar la caída tanto en cantidad y calidad de resultados científicos, y la disminución en el caudal de investigadores. En particular, en el presente proyecto se ha verificado que los estudiantes intervinientes no sostienen su participación a lo largo del tiempo, por lo que resulta necesario acotar los planes a no más de un año de trabajo, ya que, ante la obtención de empleos a causa de la abundante oferta laboral que existe, sumado al cobro en moneda extranjera o en criptomonedas, terminan alejándose de sus metas e inquietudes académicas iniciales en busca de otros horizontes y posibilidades de crecimiento laboral que la universidad actualmente no les brinda.

Finalmente, más allá de las dificultades y complicaciones que hallamos en la actualidad, consideramos valioso el aporte realizado en este tipo de propuesta, viéndose cumplidos los objetivos: los participantes han incorporado distintas herramientas, antecedentes y experiencias a sus saberes, logrando aportes concretos e integración de conocimientos, lo cual les brinda una visión más amplia de la ciencia y sus posibilidades, a la vez que abre caminos a nuevos proyectos y propuestas, ya sea éstos finalmente que se realicen en el ámbito académico-universitario o en el sector privado.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por la Universidad Tecnológica Nacional, mediante los proyectos PID TEUTIME0007658TC y TETEUME0008760TC. Los autores desean expresar su agradecimiento a todos los docentes y alumnos participantes en la distintas Unidades de Proyecto.

Referencias

Abdulkarim, H, Alshammari, I. (2015) Comparison of Algorithms for solving travelling salesman problem. International Journal of Engineering and Advanced Technology, vol. (4) issue 6. pp.76-79.

Aldana, M. (2012). ¿Qué le falta a la ciencia en México? Revista Temas, vol. 69, pp. 26-30.

Banco Mundial. (2024). Investigadores dedicados a investigación y desarrollo. Recuperado de https://datos.bancomundial.org/indicator/SP.POP.SCIE.RD.P6

Badnjević, A., Avdihodžić, H. i Gurbeta Pokvić, L. (2021). Artificial intelligence in medical devices: past, present and future. Psychiatria Danubina, vol. 33 (issue 3), pp. 101-106.

Delgado Bardales, J. M. (2021). La investigación científica: su importancia en la formación de investigadores. Revista Ciencia Latina, vol. 5 Núm. 3, pp. 2385-2386.

Cazaux, D. (2008). La comunicación pública de la ciencia y la tecnología en la “sociedad del conocimiento”. Las universidades argentinas y la divulgación de su producción científica a través de internet. Bitácora-e: revista electrónica latinoamericana de estudios sociales, históricos y culturales de la ciencia y la tecnología, vol. 1, pp. 66-87.

Centro Universitario de Los Lagos. (2024). Universidad de Guadalajara. Recuperado de http://www.lagos.udg.mx/

CONACYT. (2014). Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación 2014-2018. México: Gobierno de la República.

Cuevas Valencia, R. (2010). Implementación de Cluster de Computadoras para aplicaciones de Ingeniería.Guerrero, Mexico: UNICA.

Dorigo, M, Maniezzo V., Colorni A. (1996). *The Ant System: Optimization by a colony of cooperating agents*. IEEE Transactions on System, Man, ad Cybernetics-Part B, vol. 26, pp.1-13.

Escalante H., Corrales R., Barahona M. (2011). La investigación científica en los estudiantes de grado y posgrado. Revista Portal de la Ciencia, UNAH. Nro.11. pp.19-25.

Gestal Pose, M. (2024). Introducción a las Redes de Neuronas Artificiales. Recuperado de http://sabia.tic.udc.es/mgestal/cv/RNAtutorial/index.html

Houssay, B. A. (1960). La investigación científica. Buenos Aires, Argentina: Columba.

Nagel, K., Schreckenberg, M. (1992). A cellular automaton model for freeway traffic. Journal de Physique I France, vol. 2(12), pp. 2221–2229.

Rojas Arenas, I. D., Durango Marín, J. A., Rentería Vera, J. A. (2020). Investigación formativa como estrategia pedagógica: caso de estudio ingeniería industrial de la I.U. Pascual Bravo. Revista Estudios Pedagógicos, vol. 46, Núm. 1, pp. 319-338.

Sanz Menéndez, L., Cruz Castro, L. (2010). Análisis sobre ciencia e innovación en España. España: Fundación Española para la Ciencia y Tecnología.

Sebastián, J. (2003). Estrategias de cooperación universitaria para la formación de investigadores en Iberoamérica. Madrid, España: Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura.

Universidad de Navarra. (2024). Profesores e Investigación. Facultad de Medicina, Universidad de Navarra. Recuperado de https://www.unav.edu/web/facultad-de-medicina/profesores-e-investigacion

Universidad de Waterloo. (2024). *TSP World - Países*. Recuperado de https://www.math.uwaterloo.ca/tsp/world/countries.html

Universidad Maimónides. (2024). Investigación - UMAI. Recuperado de https://www.maimonides.edu/investigacion/

Universidad Tecnológica Nacional. (2024). UTN: PROFORVIN POSGRADO. Recuperado de https://rec.cvg.utn.edu.ar/course/index.php?categoryid=28

Wolfram, S. (2018). Cellular Automata and Complexity. Collected Papers. Recuperado de https://www.perlego.com/book/1597971/cellular-automata-and-complexity-collected-papers-pdf

3Blue1Brown. (2017). Neural Networks. Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=aircAruvnKk&list=PLZHQObOWTQDNU6R1_67000Dx_ZCJB-3pi

REDUCCIÓN DE INCERTIDUMBRE Y BÚSQUEDA POR NOVEDAD

Paola G. Caymes-Scutari[1, 2], German Bianchini[1]

[1] Laboratorio de Investigación en Cómputo Paralelo/Distribuido (LICPaD), Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional, Rodríguez 273 (M5502AJE) Mendoza
[2] Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)
pcaymesscutari@frm.utn.edu.ar

Resumen

La reducción de incertidumbre es un proceso para disminuir los efectos negativos de la falta de precisión en cualquier factor de un sistema de predicción. La incertidumbre es la falta de conocimiento o exactitud causada por la dificultad para modelar todos los parámetros del sistema, la imposibilidad de censarlos de forma continua, los errores que introducen las estimaciones, las limitaciones en la implementación computacional, etc. Por su parte, la búsqueda por novedad –o *novelty search*– es un algoritmo de exploración que a partir de un cierto conjunto de puntos en el espacio de búsqueda tiene como objetivo encontrar una solución de calidad a lo largo de sucesivas iteraciones. La búsqueda está conducida por lo novedoso o diferenciado que puede resultar cierto comportamiento o resultado para uno o un grupo de los puntos considerados, frente al que manifiestan los demás puntos. Ello permite descubrir puntos inusuales que podrían aportar información significativa en pos de una solución de mejor calidad, al mismo tiempo que evita el estancamiento y/o convergencia prematura en/a falsos óptimos locales.

En este artículo presentamos una aproximación que incorpora búsqueda por novedad en un sistema de reducción de incertidumbre para la predicción de fenómenos de propagación, que combina computación evolutiva, estadística y computación paralela. En contraste con la predicción clásica, que a partir del estado inicial del fenómeno lleva a cabo una única simulación para arrojar como resultado el estado que se predice para el instante siguiente, este sistema logra reducir la incertidumbre considerando en paralelo múltiples variaciones del estado inicial y realizando las correspondientes simulaciones independientes. La predicción refleja entonces la tendencia que manifiestan dichas simulaciones en su conjunto. La integración de búsqueda por novedad evita situaciones de estancamiento o convergencia prematura, potenciando la calidad de predicción tanto en términos de tiempo de ejecución como de precisión.

Palabras Clave: Novelty Search, HPC, Fenómenos de Propagación, Paralelismo, Incendios Forestales.

Introducción

Las metaheurísticas son una familia de algoritmos aproximados de propósito general, muchos de ellos inspirados en el comportamiento o funcionamiento de sistemas de la naturaleza (Talbi, 2009). Estos algoritmos permiten guiar y combinar estrategias inteligentes y probabilísticas para explorar y explotar el espacio de búsqueda, por lo que constituyen una alternativa a los métodos de búsqueda exactos o exhaustivos. Si bien no aseguran encontrar la solución óptima, poseen un alto grado de confianza dado que permiten encontrar soluciones de calidad aceptable con un costo computacional más razonable que el requerido por los métodos exactos. Para obtener buenas soluciones, cualquier algoritmo de búsqueda debe establecer un balance adecuado entre dos características contrapuestas del proceso: la intensificación y la diversificación. El equilibrio entre intensificación y diversificación es necesario para identificar rápidamente regiones del espacio con soluciones de buena calidad, y para no consumir mucho tiempo en regiones del espacio no prometedoras o ya exploradas.

Según su naturaleza, las metaheurísticas aplican distintas estrategias para obtener un buen balance entre intensificación y diversificación. Tal es el caso de una familia particular de metaheurísticas

constituida por los algoritmos evolutivos poblacionales (AEP), los cuales basan su funcionamiento en la supervivencia de los individuos más aptos, según señala la teoría de la evolución darwiniana (Talbi, 2009). Para ello, los AEP consideran una población de individuos (o muestra de posibles soluciones dentro del espacio de búsqueda). A lo largo de un proceso iterativo que implementa la evolución generacional, los individuos son sometidos a diferentes operadores que realizan modificaciones (algunas menores y otras mayores), a fin de balancear la intensificación y la diversificación. Una función de aptitud es la que permite evaluar la calidad de cada individuo, y así guiar cuáles prevalecerán y cuáles irán perdiendo importancia en las sucesivas actualizaciones de la población.

Al inicio de un AEP, usualmente la población se inicializa de forma estocástica, por lo que en la fase inicial o temprana de la evolución la población se distribuye uniformemente en el espacio de búsqueda. A medida que transcurren sucesivas iteraciones o generaciones evolutivas, la intensificación y la diversificación comienzan a dejar su impronta señalando ciertos sectores que pueden resultar prometedores para la búsqueda. Finalmente, en la fase final de la evolución, la población suele concentrarse en los óptimos, ya sean globales o locales, a partir de los cuales se habrá encontrado la solución óptima en el mejor de los casos, o una solución aceptable en caso contrario (Eiben y Smith, 2003). Sin embargo, alcanzar el equilibrio entre intensificación y diversificación no resulta sencillo y suele requerir un gran esfuerzo si se desea evitar demoras innecesarias en la búsqueda o incluso que la búsqueda fracase. En este sentido, los AEPs pueden sufrir de dos fenómenos denominados estancamiento y convergencia prematura. El estancamiento se manifiesta cuando la metaheurística resulta incapaz de encontrar soluciones mejores que las anteriores, aun cuando los individuos de la población sean diversos. Por su parte, la convergencia prematura se presenta cuando la metaheurística converge demasiado rápido, y puede suceder que se alcance un óptimo local. En ambos casos se produce un efecto negativo tanto en el proceso de búsqueda, como en el tiempo de cómputo que se ve degradado con iteraciones infructuosas

La principal abstracción de la evolución natural en la computación evolutiva consiste en optimizar la función de aptitud, la cual recoge el concepto de aptitud biológica (Holland, 1975, DeJong, 2006). La suposición implícita es que la optimización (entendida como el progreso medido por la función de aptitud) es el aspecto clave para el éxito de la evolución natural, guiando el recorrido en el espacio de búsqueda. El concepto de función objetivo suele considerar que es la mejor manera de mejorar el rendimiento para orientar la búsqueda, recompensando la mejora del rendimiento con respecto al objetivo. Esta medida objetiva del rendimiento se denomina función de aptitud (Holland, 1975, DeJong, 2006, Lehman, 2012) y podría interpretarse como una metáfora de la presión natural para adaptarse al entorno. Dicha presión en los algoritmos evolutivos (AE) hace que manifiesten una tendencia a converger a una única solución, en contraste con el impulso de la evolución natural hacia la diversidad. Como resultado, en ocasiones no buscar específicamente el objetivo puede revelar más fácilmente un recorrido exitoso, lo cual sugiere que la creatividad de la evolución natural puede beneficiarse más de la falta de un objetivo general que de la optimización (Lehman, 2012).

La búsqueda por novedad (NS o Novelty Search) (Lehman y Stanley, 2011, Lehman y Stanley, 2008) presenta un nuevo enfoque para la búsqueda evolutiva, el cual recompensa la novedad en el comportamiento de las soluciones candidatas, y de esta forma abstrae la evolución como una búsqueda de formas novedosas o diferenciadas de las conocidas o visitadas hasta el momento. Este nuevo enfoque contrasta con el enfoque tradicional de recompensar la evolución o el progreso hacia el objetivo a través de una función objetivo. Como se mencionó anteriormente, las funciones objetivo permiten orientar la búsqueda, pero al mismo tiempo podrían inducir a que la búsqueda convergiese o se estancase en callejones sin salida llamados óptimos locales, fenómeno que en la literatura incluso ha dado en considerarse como un '*engaño'* (Lehman, 2012). Dado el problema significativo que la convergencia o el estancamiento representan en el cálculo evolutivo, el fenómeno del *engaño* ha inspirado muchas técnicas diseñadas para mitigarlo. Sin embargo, casi todas ellas siguen siendo susceptibles a los óptimos locales porque miden el progreso con respecto al objetivo, y por lo tanto se mantienen ligadas a la posibilidad de converger prematuramente como fruto de los denominados engaños. En el caso de NS, se abandona por completo el objetivo, lo cual

frecuentemente supera a los métodos que buscan directamente el objetivo ya que es capaz de inducir dinámicas evolutivas más cercanas en espíritu a la evolución natural.

Los conceptos de diversificación, intensificación, función objetivo, estancamiento, convergencia prematura, novedad, etc., resultan de interés particular para este trabajo, dado que se analizan métodos que involucran distintos algoritmos evolutivos para guiar la predicción de incendios forestales, y alcanzar un resultado confiable en un tiempo de cómputo razonable. En la sección siguiente, ahondamos en algunos de los elementos mencionados y caracterizamos el concepto de incertidumbre y su reducción, como una acción necesaria para potenciar la predicción. Todo ello confluye en una familia de métodos predictivos clasificados como DDM-MOS (Bianchini et al, 2010) (Strappa et al, 2022), que combinan distintas estrategias estadísticas, de computación evolutiva, y de paralelismo para potenciar la calidad en la predicción de fenómenos de propagación, como pueden ser los incendios, las inundaciones, o las avalanchas. Posteriormente presentamos los experimentos y resultados obtenidos, y finalmente se presentan las principales conclusiones del trabajo.

Materiales y métodos

En esta sección se presentan algunos detalles sobre las características y el principio de funcionamiento de NS, la estrecha relación entre reducción de incertidumbre y predicción, y cómo estos aspectos participan e impactan en la calidad de los resultados que pueden obtenerse.

Características de la Búsqueda por Novedad

Por lo general, la integración de NS a ciertos algoritmos, entre ellos los algoritmos evolutivos, requiere la introducción de una métrica de novedad (Lehman, 2012). La métrica de novedad mide en qué medida un individuo es diferente de otros individuos, lo que crea una presión constante para distinguirse y manifestar algo nuevo. La idea clave es que, en lugar de recompensar el desempeño respecto de un objetivo, NS recompensa aquellas conductas que se diferencian de las anteriores. Por lo tanto, es necesario medir la novedad. Existen muchas formas posibles de medir la novedad mediante el análisis y la cuantificación de los comportamientos para caracterizar sus diferencias. Es importante destacar que, al igual que la función de aptitud, esta medida debe ajustarse y ser acorde al dominio del problema (Lehman, 2012).

NS involucra un archivo de soluciones novedosas en el que persisten aquellos individuos considerados anteriormente y cuyos comportamientos resultaron novedosos; asimismo, y dependiendo de la naturaleza del problema, el archivo también podría almacenar los individuos o puntos del espacio de búsqueda más recientemente visitados. Este archivo se utiliza para contrastar, valorar y calcular la novedad de los nuevos individuos que se van generando a lo largo del proceso de búsqueda. El objetivo es cuantificar qué tan diferenciado está cada nuevo individuo del resto de la población y de sus predecesores teniendo en cuenta su comportamiento.

En este contexto, una buena métrica de novedad debería calcular la dispersión de cualquier punto en el espacio de posibles comportamientos. Las áreas con grupos más densos de puntos visitados son menos novedosas y, por lo tanto, se recompensan menos. Una medida simple de la dispersión de un punto es la distancia promedio a los k puntos vecinos más cercanos a ese punto, donde k es un parámetro fijo que debe determinarse experimentalmente. Más intuitivamente, si la distancia promedio de un punto a sus vecinos más cercanos es pequeña, puede deducirse que el punto se encuentra en una región ya explorada. En contraste, si la distancia promedio resulta ser considerable, entonces es posible interpretar que el punto en cuestión se encuentra en un área dispersa, y por lo tanto resulta ser novedoso. La medida de dispersión de un cierto punto x se representa mediante ρ y está dada por (Ec.1):

$$\rho(x) = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^{k-1} dist(x, \mu_i) \quad (1)$$

donde μ_i es el *i*-ésimo vecino más cercano de *x* con respecto a la métrica de distancia *dist*, que es una medida dependiente del dominio, y representa la diferencia de comportamiento entre dos individuos en el espacio de búsqueda. El cálculo de los vecinos más cercanos puede tener en cuenta a los individuos de la población actual como así también a los individuos del archivo de individuos novedosos. Estas medidas de distancia y dispersión, permiten conducir la exploración en el espacio de búsqueda, ante la imposibilidad de determinar a priori qué áreas tienen baja densidad, y de obtener un punto cercano al objetivo. Debido a que la novedad se mide en relación con otros individuos, es posible considerar que NS está conducida por una dinámica coevolutiva (Lehman, 2012).

Dado un cierto individuo, si su novedad es suficientemente alta en relación a un umbral mínimo ρ_{min}, entonces el individuo es almacenado en el archivo de individuos novedosos. Por su parte, el umbral ρ_{min} se modifica dinámicamente durante la evolución para adaptarse a las dificultades para generar individuos novedosos a lo largo del tiempo: luego de determinada cantidad de generaciones sin hallar individuos novedosos o bien encontrando una excesiva cantidad de ellos, el umbral debe reducirse o incrementarse, respectivamente. La generación o conjunto de individuos actuales más el archivo brindan una muestra completa del recorrido realizado, y dónde se encuentra la búsqueda actualmente.

Dado su funcionamiento, NS resulta ser un algoritmo inmune a los fenómenos de convergencia prematura o estancamiento (evitando así el antes mencionado engaño que suele producirse al maximizar o minimizar la función objetivo), ya que en el proceso de búsqueda NS ignora el objetivo por completo. A su vez, también es importante señalar que NS no resulta en un recorrido aleatorio, sino que maximiza explícitamente la novedad, gracias al archivo de individuos más novedosos que permite llevar un registro del recorrido y así evitar que ciertas regiones sean revisitadas. En general, NS es un algoritmo de aplicación general y permite utilizar cualquier caracterización de comportamiento y cualquier métrica de novedad.

Podría argumentarse que este enfoque simplemente reemplaza una función objetivo por otra, dado que en NS se maximiza la novedad al igual que en otros algoritmos se maximiza la aptitud. Sin embargo, ambas situaciones resultan ser conceptualmente diferentes: la novedad crea un gradiente de diferencia de comportamiento, mientras que la aptitud crea un gradiente hacia el objetivo. La maximización de la aptitud se realiza con la intención de llevar la búsqueda hacia la meta (es decir, una región específica del espacio de búsqueda), mientras que la maximización de la novedad se realiza sin ningún concepto de dónde debe terminar la búsqueda o incluso qué dirección general debe tomar dentro del espacio de búsqueda. En otras palabras, NS no describe un punto (u objetivo) en el espacio de búsqueda al que apunta la búsqueda, sino que es una medida relativa circunscripta al contexto de cada búsqueda particular, dado que la novedad de cada individuo depende del comportamiento de los individuos visitados en la búsqueda actual, y por lo tanto no necesariamente puede compararse entre ejecuciones diferentes (o incluso entre diferentes generaciones dentro de una misma ejecución).

Reducción de Incertidumbre y Predicción

La teoría de la reducción de incertidumbre (Uncertainty Reduction Theory o URT) (Griffin et al, 2023) considera que el ser humano vive en una constante incertidumbre sobre el mundo que lo rodea, su composición y las reglas que lo rigen, por lo cual utiliza la observación, la comunicación, la intuición, y la acción para tratar de entender, explicar, resolver, o disminuir el efecto que pueda tener esa incertidumbre sobre cierto aspecto en particular, o bien en su vida en general. La incertidumbre es entendida entonces como todo aquel aspecto que se desconoce, se presenta de modo impreciso, o no se puede cuantificar y/o controlar. El interés por reducir la incertidumbre está íntimamente

relacionado con la necesidad de poder predecir el impacto que puedan tener las condiciones actuales en el estado futuro de la situación considerada. En este sentido, la URT considera que la reducción de incertidumbre es indispensable para predecir y explicar fenómenos, por lo que establece una relación inversamente proporcional entre la incertidumbre en un fenómeno y la predictibilidad de su comportamiento, e incluso llega a considerarlas como conceptos opuestos: a mayor incertidumbre menor predictibilidad, y viceversa (a medida que se incrementa la habilidad para predecir lo que sucederá, la incertidumbre disminuye) (Griffin et al, 2023).

En el área informático-computacional, generalmente los procesos de predicción implementan modelos matemáticos, empíricos, o semiempíricos que describen el comportamiento del fenómeno en cuestión a través de un simulador, que a su vez requiere como dato de entrada un grupo de variables representando aquellos factores que condicionan el comportamiento del fenómeno. Constituye la forma clásica de realizar una predicción, ya que considera el estado inicial del fenómeno y lo utiliza como insumo para el programa de simulación, arroja como resultado el estado que se predice para el instante siguiente. Este tipo de predicción suele ser limitada en cuanto a la precisión de los resultados, debido a que no está preparado para mitigar el efecto de la incertidumbre. La Fig. 1 ilustra el proceso de forma general. En la parte central de dicha figura se representa el simulador que implementa el modelo del fenómeno a simular (sea este matemático, empírico, o semiempírico). La flecha que se ubica a la izquierda de la figura representa la necesidad de contar con datos y parámetros de entrada (input) para el simulador, que describan el estado del entorno y puedan utilizarse como condiciones de partida para realizar la simulación. Por su parte, la flecha que se grafica a la derecha de la figura representa la simulación que arroja como resultado (output) el simulador, en base a los valores de entrada y al comportamiento que con ellos describe el modelo.

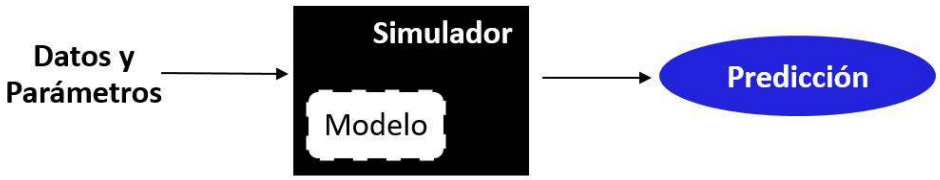


Fig. 1. Esquema general del proceso de predicción basado en simulación.

En un análisis más pormenorizado, es posible apreciar o admitir que todos estos elementos de la Fig. 1 constituyen fuentes de incertidumbre: los datos y parámetros de entrada porque no siempre pueden medirse o conocerse con exactitud; el modelo porque se define de acuerdo a un conjunto de variables que en cierta medida permiten describir el fenómeno pero cuya relación difícilmente represente o refleje con exactitud todas las interrelaciones y la dinámica del comportamiento del sistema bajo estudio; y el simulador porque su implementación a su vez introduce nuevas restricciones o truncamientos ligados a las limitaciones arquitectónicas o de implementación. A lo largo del proceso de predicción se va acumulando y potenciando la incertidumbre presente en los diferentes niveles, lo cual inevitablemente se refleja en la predicción resultante, impactando en la calidad de la misma, la cual se ve degradada conforme el nivel de incertidumbre se eleva. (Bianchini et al, 2010).

En este artículo, nos centramos en el caso particular de la predicción de incendios forestales, en el cual los datos de entrada están compuestos principalmente por la línea real de fuego y diversos parámetros o variables de entorno que describen el estado del ambiente en ese instante de tiempo (o su estimación). Entre ellas encontramos la velocidad y dirección del viento, la pendiente del terreno, el tipo de material combustible, la humedad de dicho material, etc. En la Fig. 2 se reformula la Fig. 1, explicitando los elementos que corresponden a las diferentes partes de la figura. El simulador es ahora en particular un simulador de incendios (*SI*), y el input está conformado tanto por la línea de fuego real (*LFR*) representada con una elipse, como por un vector con los parámetros antes enumerados, que se representa como un rectángulo con la etiqueta *variables de entorno*. La

predicción que arroja el SI está constituida por la línea de fuego predicha (*LFP*) representada como la elipse de salida.

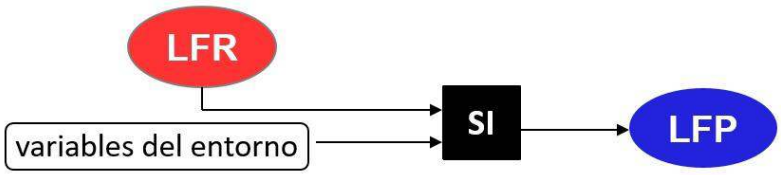


Fig. 2. Esquema general del proceso de predicción de incendios forestales.

Considerando la entrada requerida por el SI en la Fig. 2, es posible observar que, lamentablemente, no es posible contar con los valores exactos para todos estos factores debido a la imposibilidad de dotar todo el territorio forestado con instrumentos de medición y, sobre todo, debido a que algunos cambian dinámicamente durante el desarrollo del propio incendio. La prevención y la mitigación de los incendios forestales requieren de la predicción del comportamiento de los mismos, a fin de tomar decisiones informadas para su manejo para así intentar contrarrestar los efectos negativos sobre el medio ambiente. La complejidad para lograr la predicción radica en la necesidad de detectar tempranamente el evento, en la dificultad para disponer de datos actualizados del incendio y del entorno, y, como se mencionó previamente, en el nivel de incertidumbre relativo a los distintos elementos involucrados en el proceso predictivo. (Bianchini et al, 2010).

En los últimos años hemos desarrollado un conjunto de métodos para la reducción de incertidumbre, los DDM-MOS (*Data Driven Methods with Multiple Overlapped Solutions*) (Bianchini et al, 2010) (Strappa et al, 2022). En este artículo se considera el caso de aplicación de la predicción de incendios forestales, pero tales métodos podrían utilizarse también para predecir otros tipos de fenómenos de propagación, como avalanchas, aludes, o inundaciones, por ejemplo. En la sección siguiente se presentan las características generales de los mismos, la integración de NS, y posteriormente se documentan algunos importantes resultados.

Predicción de Fenómenos de Propagación

Una alternativa a la forma clásica de realizar predicciones la constituyen los DDM-MOS. Los DDM-MOS (*Data Driven Methods with Multiple Overlapped Solutions*) (Bianchini et al, 2010) (Strappa et al, 2022) son métodos computacionales predictivos con reducción de incertidumbre, que combinan distintas estrategias estadísticas, de computación evolutiva, y de paralelismo para potenciar la calidad en la predicción de fenómenos de propagación, como pueden ser los incendios, las inundaciones, o las avalanchas. La predicción de la línea de fuego se obtiene no en base a un único conjunto de valores de entrada (como en la predicción clásica), sino a múltiples combinaciones estimadas de ellos y a la agregación de las múltiples soluciones que arroja cada una de dichas combinaciones, según se ilustra de forma general en la Fig. 3. En dicha figura, la sigla *SI* representa al simulador de incendios, *LFR* representa la línea de fuego real, y *LFP* constituye la salida del sistema, o línea de fuego predicha. A la izquierda del gráfico puede apreciarse una población de individuos (también denominados escenarios, y conformados por diferentes combinaciones de valores en los parámetros de entrada que describen el estado del incendio para el simulador, como velocidad y dirección del viento, humedad, etc.), que constituyen una muestra de puntos en el espacio de búsqueda. Dado que la cantidad de combinaciones posibles de valores de parámetros constituye un espacio de búsqueda de tamaño considerable, la búsqueda exhaustiva de una solución resulta prohibitiva y en consecuencia se trabaja de forma muestral, realizándose múltiples simulaciones, cada una bajo las diferentes combinaciones de valores consideradas como entrada (en general se trata de combinaciones aleatorias). Para cada una de dichas combinaciones, el simulador *SI* arroja un resultado generalmente diferente (lo cual se representa en el centro de la Fig. 3 con varios recuadros *SI*), y por lo tanto el sistema debe analizar los resultados de todas ellas y determinar la tendencia. Es por ello que, en los DDM-MOS, la funcionalidad del simulador se encuentra complementada y enriquecida por metaheurísticas, estadística y paralelismo, como muestra la Fig. 3. Las metaheurísticas (Talbi, 2009) se utilizan para orientar la búsqueda dentro del

gran espacio de búsqueda hacia mejores soluciones, en base a la calidad de las múltiples simulaciones obtenidas. El cómputo paralelo brinda la potencia necesaria para ejecutar las múltiples simulaciones en paralelo y acelerar el procesamiento de la información. Y la Estadística se utiliza para obtener el patrón de comportamiento de la línea de fuego en base a los resultados obtenidos en las múltiples simulaciones realizadas para los diferentes escenarios. Asimismo, algunos DDM-MOS incorporan el uso de técnicas de Sintonización (Naono et al, 2010) (Caymes-Scutari et al, 2016) a fin de mejorar su rendimiento frente a otros métodos, y en pos de brindar un resultado de mayor calidad y utilidad.

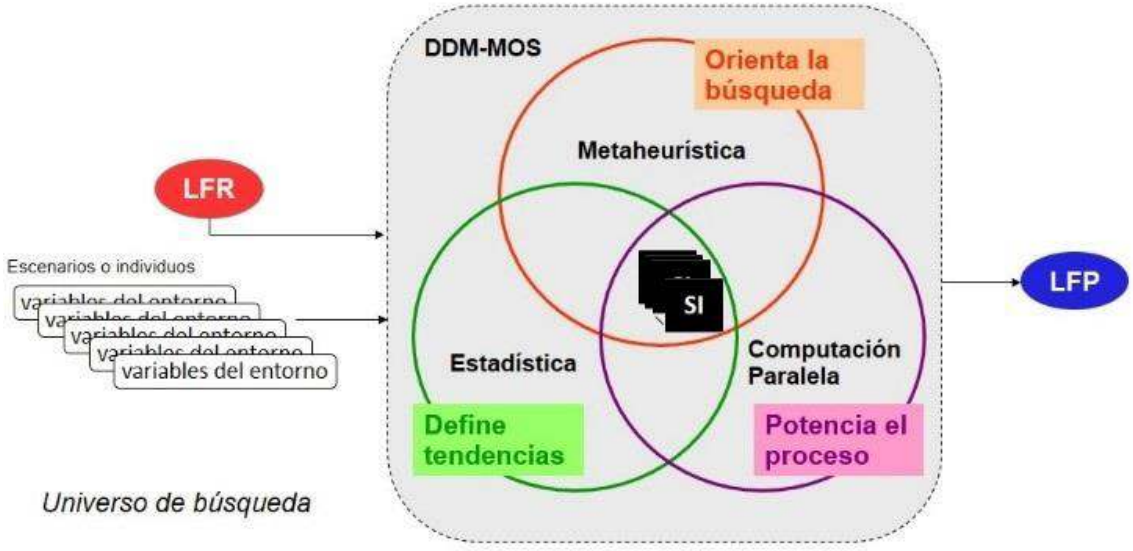


Fig. 3. DDM-MOS (Métodos Conducidos por Datos con Múltiples Soluciones Solapadas)

Cada DDM-MOS se caracteriza por el nivel de utilización que posee de elementos de Estadística, Computación Evolutiva y Metaheurísticas, Paralelismo, y Sintonización, que imprimen mejoras ya sea en cuanto a calidad de predicción, tiempo de ejecución, y/o utilización de recursos. En este artículo hacemos foco en un método estadístico-evolutivo, denominado ESS-NS. ESS-NS (*Evolutionary Statistical System based on Novelty Search*) (Strappa et al, 2022) es un método predictivo de la familia de los DDM-MOS, que integra en su funcionamiento la *búsqueda basada en novedad*. La búsqueda basada en novedad resulta ser una alternativa prometedora frente a las limitaciones de las metaheurísticas aplicadas previamente al problema de la predicción (Algoritmos Evolutivos y Evolución Diferencial), debido a que, en este paradigma alternativo, la búsqueda es dirigida por una caracterización del comportamiento de los individuos, cambiando así el *paisaje de la función de fitness* (*fitness landscape*), previniendo de manera directa los problemas de convergencia prematura y estancamiento, con los puntos que se encuentran aislados del resto, generando espacios de búsqueda novedosos, independientemente de su *fitness*. En la siguiente sección presentamos algunos resultados obtenidos con ESS-NS (Strappa et al, 2022) en contraste con los resultados obtenidos con otros métodos existentes, como ESS (Bianchini et al, 2015), ESSIM-DE (Tardivo et al, 2018) y ESSIM-EA (Méndez-Garabetti et al, 2015, Méndez-Garabetti et al, 2017). Interesa comparar ESS-NS con ESS dado que se trata de su predecesor directo: ambos consideran una única población, paralelismo simple, y la metaheurística de base es un algoritmo evolutivo clásico, en el caso de ESS-NS enriquecido con NS. Por su parte, también interesa compararlo con ESSIM-DE y ESSIM-EA, ya que, si bien son métodos que consideran múltiples poblaciones, dos niveles de paralelismo con islas, y sus metaheurísticas son la evolución diferencial y los algoritmos evolutivos respectivamente, han alcanzado resultados mejores a los obtenidos con ESS, ya sea en términos de calidad de predicción, tiempo de cómputo, o ambos aspectos.

Resultados y Discusión

Los resultados que se presentan a continuación permiten valorar el funcionamiento y efectividad de ESS-NS en contraste con otros métodos existentes (ESS, ESSIM-EA, y ESSIM-DE). Los

experimentos consideran un caso de quema controlada en campo realizadas en el marco del proyecto SPREAD (Spread, 2022). Como se mencionó anteriormente, uno de los parámetros de entrada lo constituye la línea de fuego. Para constituir dicho parámetro, se representa el terreno mediante celdas de una matriz, y se señala cuáles son las celdas que conforman el frente de fuego. El tamaño considerado para cada celda constituye un aspecto clave que puede influir tanto en la calidad de la predicción alcanzada como en el tiempo de respuesta, dado que un tamaño de celda pequeño permite una mayor precisión a la hora de representar los distintos sectores del terreno, pero a su vez requiere un tiempo de cómputo mayor, proporcional al volumen de celdas que deben procesarse. Por el contrario, un tamaño de celda mayor describe el terreno de una forma más sectorial y general, lo cual demanda menos volumen de cálculo, pero relega los detalles de cada porción del terreno, lo cual se traduce en una predicción obtenida más rápidamente, pero de menor calidad. En este caso, el terreno se considera dividido en 60x90 celdas lógicas, tiene una pendiente de 6 grados, y la línea de fuego inicial se localiza a lo largo del límite inferior del terreno. El proceso de predicción se realiza en cuatro pasos o steps sucesivos que ofrecen predicciones intermedias, en ventanas de 2 minutos. El primer step en sí, tiene como objetivo la inicialización del método y prepara las condiciones para comenzar a arrojar predicciones calibradas desde el segundo step. Por este motivo, en los gráficos sólo se presentan los 3 pasos que ofrecen predicción. Los experimentos fueron ejecutados en el Cluster LIDIC (UNSL), el cual cuenta con CPUs Intel de 64 bits Q9550 Quad Core, 2.83GHz, y 4GB RAM (DDR3, 1333MHz). Los nodos están conectados mediante Gigabit Ethernet y un switch Linksys SLM2048 de 1 Gb. El sistema operativo es Debian Lenny (64-bit), y para el paso de mensajes entre los nodos se utiliza la librería MPICH (MPICH, 2022).

Los resultados de cada método corresponden a valores promedio de 30 ejecuciones inicializadas con diferentes semillas. Esto significa que cada uno de los métodos considerados en la comparación (ESSIM-DE, ESSIM-EA, ESS, y ESS-NS) se ejecutó en 30 oportunidades instanciando cada vez una población inicial distinta, generada estocásticamente a partir de una semilla diferente. En base a esas 30 ejecuciones, se presentan los resultados promedio. Dado que se comparan métodos diferentes, y para que la comparación sea justa, se han considerado los mismos valores para los parámetros de funcionamiento comunes siempre que tengan sentido de acuerdo a la naturaleza de cada método. Para el caso de ESS-NS cabe mencionar que la medida de dispersión ρ (Ec. 1) para cada individuo de la población, considera k como el tamaño de la población, es decir que tiene en cuenta la totalidad de la población, y de esta forma la novedad de cada individuo refleja su situación frente a toda la población.

Los resultados obtenidos en relación a la calidad promedio de la predicción obtenida por cada método en cada paso de predicción (Fig. 4), pueden analizarse desde dos puntos de vista: la calidad del fitness (Fig. 4.a), y la distribución del fitness (Fig. 4.b).

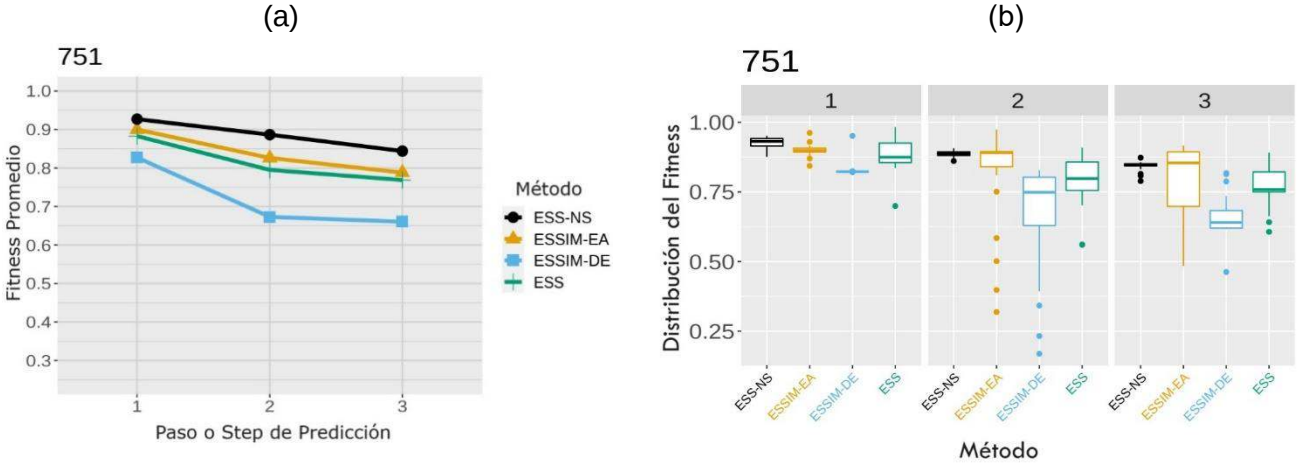


Fig. 4. Resultados de 30 ejecuciones en cada paso de predicción para el caso de quema 751. (a) Fitness promedio. (b) Distribución del fitness.

La Fig. 4.a permite estudiar la calidad de las predicciones obtenidas en los 3 sucesivos pasos de predicción (cada paso sucesivo representado en el eje de abscisas), mostrando con un color y trazo diferente los resultados para cada uno de los cuatro métodos considerados. Tales resultados corresponden al valor de fitness promedio de las 30 ejecuciones, es decir la aptitud o nivel de similitud entre la predicción arrojada por el método y el estado real del incendio en ese instante de tiempo. Cuanto más precisa sea la predicción, más cercano a 1 será su valor de fitness, mientras que un valor cercano a 0 indica una predicción muy distinta de la realidad. La Fig. 4.b ofrece información desagregada representada en un diagrama de cajas, brindando un análisis complementario de la distribución del fitness alcanzado por las 30 ejecuciones en cada paso de predicción para cada método. A su vez, en la Fig. 5 se documenta el tiempo de ejecución promedio de las 30 ejecuciones para cada uno de los métodos bajo estudio.

Fig. 5: Tiempos de ejecución promedio (hh:mm:ss). Promedio de 30 ejecuciones.

En términos generales, es posible observar que ESS-NS obtiene valores de fitness superiores a los de los otros métodos, alcanzando en todos los instantes de predicción un nivel de similitud de entre el 80% y el 95% de coincidencia con respecto al estado real del incendio (Fig. 4.a). Al mismo tiempo, puede observarse que ESS-NS presenta el comportamiento más regular e independiente de las características de la población generada inicialmente, ya que la caja correspondiente a ESS-NS ha resultado ser la más reducida y uniforme de los cuatro métodos, a lo largo de todos los pasos del proceso de predicción (Fig. 4.b). Este comportamiento coherente a lo largo de los sucesivos experimentos independientes, señalan la robustez del algoritmo, lograda gracias al almacenamiento de los mejores individuos hallados a lo largo de la evolución. Asimismo, cabe destacar los resultados obtenidos en términos de tiempo de ejecución (Fig. 5). ESS-NS obtiene una reducción de aproximadamente un 63% respecto del método ESS original, y aún una reducción de un 37% aproximadamente en los tiempos de cómputo respecto del más rápido de los otros métodos (ESSIM-DE). El incremento en la velocidad de respuesta por el notorio ahorro de tiempo son fruto de las características de ESS-NS, que al integrar la búsqueda por novedad al proceso predictivo evita el engaño de caer en óptimos locales, y propicia que se alcance más rápidamente el umbral de fitness, es decir que logra reducir la incertidumbre de una manera más efectiva, en pos de alcanzar una mejor aproximación al nivel de precisión deseado.

Conclusiones

La reducción de incertidumbre constituye un proceso necesario e indispensable para mejorar la calidad y precisión en la predicción de diferentes tipos de fenómenos. Diversas técnicas, e incluso la combinación de las mismas, pueden utilizarse y/o diseñarse para lograr reducir la incertidumbre. La complejidad y efectividad del proceso de reducción de incertidumbre depende entonces de las características de la metodología establecida, y su comportamiento particular al tratar el problema dado. Así es que, frecuentemente, el éxito del proceso de reducción de incertidumbre se encuentra limitado no sólo por las diferentes fuentes naturales de incertidumbre para el problema o sistema bajo estudio, sino también por las características y limitaciones propias de los algoritmos y/o estrategias que se emplean para reducir su impacto. Encontrar el equilibrio se vuelve en sí mismo un doble desafío. En este contexto, en este artículo hacemos foco en una familia de métodos de reducción de incertidumbre para la predicción de fenómenos de propagación, los denominados

DDM-MOS (*Data Driven Methods with Multiple Overlapped Solutions*). Tales métodos abordan la reducción de incertidumbre combinando la fortaleza que ofrecen diferentes pilares, tomando elementos de la estadística, el paralelismo, la sintonización, y las metaheurísticas poblacionales, los cuales interactúan en pos de una predicción más acertada. Sin embargo, existe un nivel de incertidumbre que aún resulta difícil de contrarrestar, y es por ello que estamos explorando nuevas formas de reorientar las metaheurísticas, y así mejorar el compromiso entre intensificación y diversificación, con el fin de invertir el tiempo de cómputo en procesamiento provechoso y no reiterativo. En este artículo nos enfocamos en la búsqueda por novedad, la cual constituye una estrategia que, a lo largo de la búsqueda, valora mejor o recompensa a las soluciones candidatas que más se diferencian del resto en cuanto a su comportamiento o resultado. En este paradigma, tiene más posibilidad de sobrevivir a lo largo de las generaciones una solución candidata que resulta novedosa, que una que ofrece una mejor aptitud en relación a la función objetivo. Si bien en un sentido podría resultar un concepto contradictorio respecto de la teoría evolutiva darwiniana que resume a las metaheurísticas poblacionales (supervivencia del más fuerte o mejor adaptado), esta forma de recompensar la novedad tiene un efecto doblemente positivo e interrelacionado en los resultados cuando se integra con metaheurísticas poblacionales: previene el estancamiento y la convergencia prematura ampliando el horizonte de la búsqueda, a la vez que evita el reprocesamiento de regiones ya visitadas y procesadas. Como consecuencia, la calidad de los resultados de la predicción, resultan ser superiores y el tiempo de respuesta también se ve mejorado, mostrando una reducción de entre el 30% y el 60% en el tiempo de respuesta promedio. Como conclusión final, y a partir de los resultados encontrados, puede vislumbrarse que la búsqueda por novedad constituye una estrategia prometedora para enriquecer y potenciar las capacidades de los métodos de reducción de incertidumbre.

Agradecimientos

Los autores agradecen a CONICET, UTN y FONCyT, por el soporte para la realización de este trabajo (proyectos SIUTIME0007840TC, TEUTIME0007658TC, SITCME0009816TC, TETEUME0008760TC, y UUMM-2019-00042). Y al LIDIC (Universidad Nacional de San Luis) por brindar el cluster para realizar los experimentos.

Referencias

Bianchini, G., Denham, M., Cortés, A., Margalef, T., and Luque, E., Wildland Fire Growth Prediction Method Based on Multiple Overlapping Solution. (2010). Journal of Computational Science Vol 1 Issue 4, pp. 229-237. Elsevier.

Bianchini, G.; Caymes-Scutari, P.; Méndez Garabetti, M. Evolutionary-Statistical System: A Parallel Method for Improving Forest Fire Spread Prediction. (2015). J. Comput. Sci., 6, 58–66. https://doi.org/10.1016/j.jocs.2014.12.001.

Caymes-Scutari, P., Bianchini, G., Sikora, A., and Margalef, T., Environment for Automatic Development and Tuning of Parallel Applications. (2016). HPCS 2016 - International Workshop on Parallel Optimization using/for Multi and Many-core High Performance Computing, Innsbruck, Austria. pp. 743-750. IEEE.

De Jong Kenneth A.. Evolutionary Computation: A Unified Approach. (2006). MIT Press.

Eiben A., Smith J. What is an Evolutionary Algorithm?. In: Introduction to Evolutionary Computing. (2003). Natural Computing Series. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-05094-1_2.

Griffin E., Ledbetter A., Spark G. A first look at Communication Theory – 11th edition. Capítulo 9: Uncertainty Reduction Theory, de Charles Berger. (2023). McGraw Hill.

Holland John H. Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control and Artificial Intelligence. (1975). University of Michigan Press, Ann Arbor, MI.

Lehman Joel. Evolution Through the Search for Novelty. (2012). Electronic Theses and Dissertations. 2214. University of Central Florida.

Lehman J. and Stanley K., Exploiting Open-Endedness to Solve Problems Through the Search for Novelty. (2008). Artificial Life, p. 8.

Lehman J. and Stanley K. O., Abandoning Objectives: Evolution Through the Search for Novelty Alone. (2011). Evolutionary Computation, vol. 19, no. 2, pp. 189–223.

Méndez Garabetti, M.; Bianchini, G.; Tardivo, M.L.; Caymes Scutari, P. Comparative Analysis of Performance and Quality of Prediction Between ESS and ESS-IM. (2015). Electron. Notes Theor. Comput. Sci. 314, 45–60. https://doi.org/10.1016/j.entcs.2015.05.004.

Méndez Garabetti, M.; Bianchini, G.; Caymes Scutari, P.; Tardivo, M.L.; Gil Costa, V. ESSIM-EA Applied to Wildfire Prediction Using Heterogeneous Configuration for Evolutionary Parameters. (2017). In Proceedings of the XXIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación, La Plata, Argentina, 9–13 October, 2017; p. 10.

MPICH—High-Performance Portable MPI. Disponible online: https://www.mpich.org/ Accedido en octubre 2022.
Naono, K., Teranishi, K., Cavazos, J. and Suda, R., Software Automatic Tuning: From Concepts to State-of-the-Art Results. (2010). Springer, New York.

SPREAD - Forest Fire Spread Prevention and Mitigation, SPREAD Project, Fact Sheet, FP5, CORDIS, European Commission. Available online: https://cordis.europa.eu/project/id/EVG1-CT-2001-00043. Accedido en Octubre 2022.

Strappa J., Caymes Scutari P., and Bianchini G., Evolutionary Statistical System based on Novelty Search: a Parallel Metaheuristic for Uncertainty Reduction Applied to Wildfire Spread Prediction. (2022). In Algorithms 2022, vol 15, issue 12, 478. MDPI.

Talbi, E., Metaheuristics: From Design to Implementation. (2009). John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey.

Tardivo M. L., Caymes Scutari P., Bianchini G., and Méndez Garabetti M., Hierarchical Parallel Model for Improving Performance on Differential Evolution. (2017). Concurrency and Computation: Practice and Experience 29 (10): e4087.

Tardivo, M.L.; Caymes Scutari, P.; Méndez Garabetti, M.; Bianchini, G. Optimization for an Uncertainty Reduction Method Applied to Forest Fires Spread Prediction. (2018). In Computer Science—CACIC 2017; De Giusti, A.E., Ed.; Springer International Publishing: Cham, Switzerland; Volume 790, pp. 13–23. https://doi.org/10.1007/978-3-319-75214-3_2.

OBTENCIÓN DE UNA PELÍCULA ACTIVA A BASE DE PECTINA Y VAINILLINA PARA APLICACIÓN EN ENVASADO DE ALIMENTOS

Silvina S. Guzmán[1]; María G. Fiore[1]; Matías I. Nari[1], Deisy I. Galuppo[1], Candelaria Masera[1], Regina Toninetti[1]; Cristián A. Ferretti[2]; Vanina A. Guntero[1]
[1]Grupo Productos Naturales y Materiales (ProNaM), Facultad Regional San Francisco, Universidad Tecnológica Nacional, X2400
[2]Grupo de Síntesis Orgánica y Materiales (GSOM), Instituto de Química Aplicada del Litoral (IQAL), Facultad de Ingeniería Química (FIQ), Universidad Nacional del Litoral (UNL), S3000
vaniguntero@gmail.com

Resumen

Durante muchos años, polímeros derivados de la industria petroquímica se han utilizado para el embalaje y envasado de alimentos por sus versátiles propiedades. Sin embargo, la eliminación de los mismos de forma inadecuada, ya sea por incineración generando gases del efecto invernadero o por contaminación blanca, trae asociado problemas medioambientales y de salud para la población.
En este contexto, la propuesta del presente trabajo es desarrollar un material alternativo que permita mitigar los problemas de contaminación ambiental y el agotamiento de los recursos naturales. Para lo cual se realizaron distintas formulaciones usando como material estructural pectina, glicerol por sus propiedades plastificantes, vainillina por sus conocidas propiedades antioxidantes y antimicrobianas y alginato de sodio como copolímero.
Una vez obtenidas las películas, se las caracterizó mediante la medición de espesor, comportamiento de hinchazón, contenido de sólidos , biodegradabilidad en el suelo y permeabilidad al vapor. La incorporación de vainillina condujo a un aumento del 50 % de la permeabilidad al vapor de agua en comparación con la película que no la tenía en su composición. También se obtuvieron valores ligeramente mayores para la película con vainillina del comportamiento a la hinchazón y biodegradabilidad en el suelo. Dichos resultados permitieron seleccionar la composición más conveniente para la aplicación deseada.

Palabras Clave: Película activa, Pectina, Vainillina.

Introducción

Desde la síntesis de los primeros polímeros derivados del petróleo, estos han sido muy utilizados en la industria debido a sus características de resistencia mecánica, térmica y, en algunos casos, también química (Young & Lovell, 1981). Sin embargo, debido a su uso tan versátil, y la falta de una adecuada administración de los mismos al momento de desecharlos, se generan efectos adversos en el ecosistema, que luego inciden en la salud de todos los seres vivos.

Algunos plásticos como el polietileno, polipropileno, polietileno tereftalato, poliestireno, policloruro de vinilo, entre otros, son ejemplos de polímeros sintetizados como resultado del tratamiento de cadenas carbonadas obtenidas del fraccionamiento de hidrocarburos presentes en el petróleo (Ortega-Garcia et al. 2021). Son materiales de bajos costos de producción, por lo que tienden a utilizarse solo una vez, generando desechos nocivos al medio ambiente. Dentro de esos efectos se pueden mencionar la contaminación del aire y del agua por acción de microplásticos que ingresan a los seres vivos (por vías respiratorias y/o digestivas), y que se componen de monómeros de alcanos y compuestos bencénicos los cuales son tóxicos.

La industria del packaging representa un 40 % de los productos plásticos que se producen. Por lo tanto, el desarrollo de envases de alimentos basados en polímeros biodegradables naturales como lo son por ejemplo, celulosa, almidón, quitosano y pectina ha atraído mucho la atención en los últimos años. En particular, la pectina es un heteropolisacárido natural, versátil y no tóxico de interés en las industrias alimentaria, farmacéutica y cosmética. Es uno de los principales componentes de las paredes celulares de todas las plantas superiores y representa entre el 0,5 y el 4,0% del peso fresco total de las plantas (Romann-Ben, 2022). Presenta, además, propiedades gelificantes y levemente entrecruzantes, lo que la convierte en un componente muy propicio para la elaboración de películas.

El diseño de películas con propiedades biodegradables a partir de una matriz polimérica natural otorgan cortos tiempos de degradación (entre 3 y 6 meses) en comparación con los constituidos por derivados de petroquímicos que tardan miles de años (Gomez et al. 2022). Para la formación de estas películas, suele agregarse un entrecruzante para fortalecer los enlaces químicos y facilitar la formación de una red polimérica; un plastificante que disminuye la rigidez y que proporciona flexibilidad; y un componente con activo antimicrobiano y/o antioxidante.

Se conoce que tanto el glicerol como el alginato de sodio son aditivos que se podrían usar para el desarrollo de las mencionadas películas. El alginato de sodio es la sal sódica de un polisacárido natural presente en el esqueleto de algas pardas como *Laminaria hyperborea*, *Laminaria digitate* y *Macrocystis pyrifera*, con una función estructural similar a la de la celulosa en las plantas terrestres (Varela-Feijoo et. al, 2023). El uso de alginatos en una amplia gama de aplicaciones se debe principalmente a su excepcional comportamiento gelificante, estabilizador y reológico, junto con su notable capacidad de retención de agua. Se utilizan comúnmente en forma de perlas, cápsulas, fibras, películas y mezclas con otros polímeros naturales y sintéticos (Milivojević et. al, 2023). Mientras que, el glicerol es el compuesto que posee esa capacidad de plastificar y disminuir la rigidez (Nastasi et al. 2023).

La vainillina (4-hidro-3-metoxibenzaldehído) es el componente principal de la vainilla natural, que es uno de los materiales aromatizantes más utilizados e importantes en todo el mundo (Salazar et al., 2008). Tiene 3 grupos sustituyentes unidos al anillo aromático (Fig. 1), un aldehído, un oxhidrilo y un metoxi. Dichos grupos pueden participar en la formación de puentes de hidrógeno con los donadores y/o aceptores de puentes de hidrógeno pertenecientes a los biopolímeros (Salum, 2023). Además, tiene un efecto plastificante en el polímero (descenso de la Tg), disminuyendo su rigidez y resistencia a la fractura y aumentando su permeabilidad al vapor de agua. La capacidad secuestrante de este antioxidante mejora la capacidad de barrera al oxígeno en un film (Salgado Lorente, 2023).

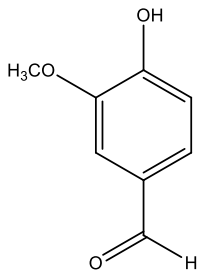


Figura 1. Estructura química de la vainillina

De esta manera, se plantea como objetivo generar alternativas sustentables de películas para su uso en el embalaje y envasado de frutas y verduras, y así disminuir la excesiva acumulación de desechos no biodegradables generados por el ser humano en el medioambiente. Dicho objetivo se llevó a cabo mediante el diseño y evaluación de diferentes formulaciones de películas basadas en pectinas, sin y con vainillina como aditivo, variando sus concentraciones. Todos los componentes

seleccionados son biocompatibles. Los estudios de medición de espesor, comportamiento de hinchazón, contenido de humedad, biodegradabilidad de las películas en el suelo y permeabilidad al vapor se realizaron para evaluar su potencial como materia prima para fabricar materiales de embalaje ecológicos y sostenibles como posible reemplazo de plásticos de un solo uso no degradables.

Materiales y métodos

1. Materia prima

Para obtener este polímero biodegradable se plantearon y analizaron varias formulaciones cuyos componentes fueron pectina cítrica ($C_6H_{10}O_7$), agua destilada (H_2O), alginato de sodio ($C_6H_7O_6Na$), glicerol ($C_3H_8O_3$), y vainillina ($C_8H_8O_3$).

2. Diseños de formulaciones

Se plantearon 2 formulaciones sin la vainillina las cuales son mostradas en la Tabla 1, y 2 formulaciones con el agregado de vainillina (Tabla 2).

Tabla 1. Formulaciones de las películas sin vainillina (%m/m)

Formulación	Pectina Cítrica (g)	Agua Destilada (g)	Alginato de Sodio (g)	Glicerol (g)
FP1	1,83	95,85	1,38	0,94
FP2	2,03	95,92	1,02	1,03

Tabla 2. Formulaciones de las películas con vainillina (%m/m)

Formulación	Pectina Cítrica (g)	Agua Destilada (g)	Alginato de Sodio (g)	Glicerol (g)	Vainillina (g)
FPV1	1,82	94,87	1,36	0,93	1,02
FPV2	1,83	95,70	1,39	0,97	0,11

3. Formación de las películas

Las películas se obtuvieron mediante el método de Casting (Azarifar et al. 2019), con modificaciones. Este método consistió en la mezcla de los reactivos por medio de agitación magnética a una temperatura constante, con el fin de obtener un hidrogel con la mayor homogeneidad posible, ya que es la base para la formación de la película. Luego se secó en estufa hasta alcanzar el peso constante.

4. Caracterización de la película

Se le realizó una serie de ensayos de caracterización para obtener datos que nos permitieron analizar sus propiedades y generar conclusiones. Dentro de estos ensayos se pueden mencionar: espesor, comportamiento de hinchazón, contenido de humedad, biodegradabilidad en el suelo y permeabilidad al vapor de agua.

Medición de espesor, con un micrómetro de precisión de 0,01 mm, se tomaron varios puntos de la película y se obtuvo su valor promedio y de desviación estándar (Alasavar, 2023).

Estudio de *comportamiento de hinchazón (SW)*, el cual consistió en sumergir muestras de película con un área específica y determinada para todos los ensayos (en este caso se plantearon muestras cuadradas de 4 cm^2), en soluciones amortiguadoras de pH aproximadas de 4, 7 y 10; este proceso se realizó midiendo las masas del film en intervalos constantes de tiempo, con un vidrio reloj quitando el exceso de humedad presente. Luego de obtener los datos, se planteó un estado de equilibrio donde la masa deja de aumentar al llegar al punto de hinchazón máxima antes de comenzar a degradarse. La Ec. (1) es la que se utilizó para encontrar el porcentaje de hinchazón en el equilibrio, en donde w_h corresponde a la masa de la muestra con exceso de humedad y w_d determina su respectiva masa en seco.

$$SW(\%) = \frac{w_h - w_d}{w_d} \times 100\% \quad (1)$$

Contenido de humedad (CH), en este ensayo, se procedió a tomar 3 muestras en cápsulas de porcelana y se colocaron en una estufa a 105 °C hasta alcanzar una masa constante, donde el tiempo generalmente no superó las 24 horas. Para determinar este ensayo se tuvieron en cuenta, el valor inicial de la masa de las muestras y el valor final, que es el de la pesada constante. Con estos datos, se calculó el porcentaje de humedad presente de acuerdo a la Ec. (2).

$$CH(\%) = (1 - \frac{m_o - m_f}{m_f}) \times 100\% \quad (2)$$

Teniendo en cuenta esta ecuación se registró la masa de la muestra inicial (m_o) antes de colocarla en la estufa y la masa seca (m_f) después de 18 h en la estufa.

Para la *biodegradabilidad en el suelo*, inicialmente se tomó una muestra de tierra la cuál fue colocada en un matraz de 50 ml y humedecida con agua destilada hasta la marca de enrase continuando con agitación de la solución durante 1 minuto y se dejó en reposo el matraz durante otros 10 minutos, repitiendo este proceso 3 veces. Este procedimiento se realizó para poder obtener una referencia del pH de la tierra en la cual se colocarán las muestras de película. Luego fueron introducidas 3 muestras de la película, previamente pesadas, en recipientes con tierra seca, se verificó que los mismos estén cubiertos por completo y se agregó 5 ml de agua destilada. Cada 48 hs se realizaron registros del cambio másico, y se volvieron a enterrar y humedecer las muestras como se indicó anteriormente. A través de este procedimiento fue posible calcular el porcentaje de desintegración en tierra del biopolímero 14 días después de comenzar el proceso. Para el cálculo se utilizó la Ec. (2), y se consideró que m_0 es la masa inicial y m_f es la masa de la muestra al cabo de 14 días. A diferencia del ensayo anterior donde el contenido de humedad de la masa que se pierde es solo de agua, en este el resultado indicó la cantidad de masa de la película que se degrada.

Permeabilidad al vapor de agua (PV), el mismo brinda la referencia de que tanto vapor de agua se filtra a través del polímero obtenido. Para ello se utilizaron dos frascos de vidrio de igual volumen, uno se rellenó con perlas de vidrio y se utilizó como frasco de control, y otro con cloruro de calcio anhidro como frasco de análisis. Ambos se taparon con una muestra de la misma película, se

midieron sus masas y se colocaron en un desecador durante 10 días. Al cabo de ese tiempo, se midieron los frascos con las muestras para luego proceder al cálculo correspondiente del ensayo, determinado por la Ec. (3).

$$PV = \frac{100}{10\ días} \times [(m_f - m_i) - (mc_f - mc_i) \quad (3)$$

Donde V es el volumen del recipiente en mL; $(m_f - m_i)$ la diferencia del peso final e inicial en mg; $(mc_f - mc_i)$ la diferencia del peso final e inicial entre los frascos control en mg.

Resultados y discusiones

En las películas sin vainillina, en la obtenida de FP2 se observó que la consistencia del hidrogel precursor fue más líquida debido a la disminución del contenido de alginato de sodio. Además, la viscosidad del hidrogel disminuyó notablemente, con lo cual se produjo una película extremadamente delgada y rígida. También presentó proliferación de microorganismos. En base a ello se decidió plantear otra formulación con el agregado de un componente activo antimicrobiano y antioxidante, como la vainillina. La formulación FP1 presentó una flexibilidad y espesor aceptables por lo que a partir de la misma se realizaron los siguientes estudios con el agregado de vainillina.
Se obtuvieron dos formulaciones distintas con vainillina, se observó que la formulación FPV1 polimerizó de forma no deseada provocando cristalización y mayor opacidad, lo cual se asocia al mayor contenido de vainillina respecto a la segunda formulación. Mientras que la FPV2 dio lugar a una película con mayor transparencia, homogeneidad y flexibilidad. Teniendo ésto en consideración, la formulación seleccionada para realizar los ensayos posteriores fue la FPV2.

Características y propiedades de las películas FP1 y FPV2 fueron expresados en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultados de los ensayos de caracterización de las formulaciones

Ensayo de caracterización	FP1	FPV2
Espesor	0,05 ± 0,01 mm	0,08 ± 0,01 mm
Contenido de Humedad	4,26 ± 0,13%	11,01 ± 2,76%
Comportamiento a la Hinchazón	Equilibrio antes de los 3 minutos en las 3 soluciones	Equilibrio en 5-6 minutos a pH 4, 3-4 minutos a pH 7 y 4-5 minutos a pH 10
Biodegradabilidad en el suelo	46,05 ± 5,32%	49,17 ± 8,22%
Permeabilidad al vapor de agua	271,45 mg/Día*L	511,36 mg/Día*L

De esta manera, con los valores tabulados, se realizó el siguiente análisis:

Los rangos típicos de espesor de las películas obtenidas por el método de Casting son entre 20-400 µm (Pellá, 2019). Teniendo en cuenta ésto, se puede agregar que ambas películas se encuentran dentro del rango de espesor esperable; mostrando un aumento del espesor de la película la que presenta vainillina, seguramente relacionada al aumento de viscosidad del hidrogel precursor.

Respecto al contenido de humedad, el agregado de vainillina, generó un aumento en el contenido de humedad de la película. Ésto se explica debido a la capacidad de plastificación que le confiere la vainillina a la película (Young & Lovell, 1981).

El valor del comportamiento de hinchazón máximo es relevante debido a que es el punto en el cual la película absorbe la solución hasta ocupar todos los espacios libres y luego su masa disminuye debido a la ruptura de los enlaces. Al comparar el comportamiento de ambos polímeros (FP1 y FPV2) en soluciones de distintos valores de pH, se observa una hinchazón máxima estable para aquel que no posee vainillina y valores más variables en el tiempo para la película que posee el componente antimicrobiano y antioxidante. Este comportamiento es consecuencia del pH bajo de la vainillina, la cual, en solución, acidifica el medio. Esto genera que en una solución ácida necesite mayor tiempo para infiltrarse, debido a los grupos carboxilos con alto impedimento estérico que posee. Por otra parte, esta característica dificulta la capacidad de romper los enlaces de la película. (Young & Lovell, 1981).

En cuanto a la biodegradabilidad en el suelo, son similares los valores encontrados, dando levemente un porcentaje superior de degradación la película que presenta vainillina (FPV2) respecto a la formulación que no la contiene (FP1).

La permeabilidad al vapor de agua es una característica importante para las películas desarrolladas considerando su potencial aplicación en la industria del packaging, debido a que es un factor que se relaciona de manera directa con la vida útil del producto y su estabilidad. Se observó que la adición de vainillina a la matriz polimérica conduce a un aumento en la permeabilidad al vapor de agua en un 50% aproximadamente en comparación con la FP1 que no contiene este aditivo. Ésto se asocia con la acción estructural de la vainillina en la película que evidenciamos de forma aproximada mediante un microscopio electrónico de barrido. La observación muestra que la vainillina tiene la capacidad de otorgar a la red polimérica un mayor orden, generando así un polímero semicristalino con espacios homogéneos para la permeabilidad del agua.

En base a los resultados obtenidos en los ensayos de caracterización realizados, se consideró la película FPV2 (Fig. 2) como la mejor alternativa a seguir desarrollando para reemplazar a los polímeros obtenidos a partir del petróleo. La elección se fundamenta en que presentó flexibilidad, homogeneidad, transparencia y espesor adecuados para la aplicación deseada. Además, el equilibrio a la hinchazón se alcanzó en un tiempo menor a 7 minutos. Esta película es biocompostable perdiendo más de un 40% de masa en 2 semanas. Si se extiende el análisis mediante una regresión potencial, en promedio, la película sin vainillina se degrada un 55,67%; y la película con vainillina se degrada un 62,67%.

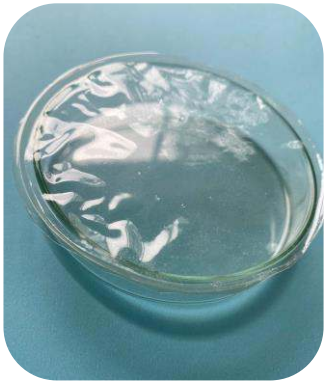


Figura 2. Película final de formulación FPV2.

Conclusiones

Una serie de cuatro películas basadas en pectinas, con y sin vainillina, nombradas FP1, FP2, FPV1 y FPV2 fueron diseñadas y preparadas en este trabajo. FP1 y FP2 no contenían vainillina, mientras que FPV1 y FPV2 si (FPV2 tiene un 11% menos respecto a FPV1). Estas películas se prepararon por el método de Casting a partir de soluciones acuosas filmogénicas que contenían el polímero natural y cada aditivo en porcentajes de masa variables con respecto a la pectina.
La combinación de los resultados obtenidos de la caracterización de FPV2 muestran que dicha película tiene un excelente potencial para ser utilizada como biopolímero en desarrollos de embalajes y envases biodegradables, por lo que, la etapa siguiente de este trabajo implica la caracterización mediante ensayos de tracción, flexión, dureza y fluidez para comprobar la resistencia mecánica de la película y su comportamiento de fluidez a exposición a elevadas temperaturas y, además, se realizaran pruebas microbiológicas para determinar la susceptibilidad del material a la acción de microorganismos.

Agradecimientos

Los autores agradecen al financiamiento otorgado por la Universidad Tecnológica Nacional mediante el proyecto PAPPSF0008588.

Referencias

Alasavar H. (2023). “Development and characterization of sustainable active pectin films: The role of choline chloride/glycerol-based natural deep eutectic solvent and lavender extracts”. “Heliyon”, volumen 9, tema 11. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21756

Azarifar M. (2019). “The optimization of gelatin-CMC based active films containing chitin nanofiber and Trachyspermum ammi essential oil by response surface methodology”. “Carbohydrate Polymers”, volumen 208, páginas 457-468. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.01.005

Bertuzzi et al.,(2002). “Estudio de la permeabilidad al vapor de agua de films comestibles para recubrir alimentos”, Producciones Científicas. Sección: Ciencias de la Ingeniería, Agronomía y Tecnología, página 4.

Gomez et al., (2022). “Películas de almidón de papa (Solanum tuberosum L.), empaques innovadores para alimentos: una revisión”. “Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI”, vol. 10, página 3.
https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icbi/article/view/8965/9115

Milivojević et al., (2023). “Alginate Gel-Based Carriers for Encapsulation of Carotenoids: On Challenges and Applications”. “Gels”, vol. 9 (8), 620. https://doi.org/10.3390/gels9080620

Nastasi J. R. (2023). “Tuning the mechanical properties of pectin films with polyphenol-rich plant extracts”. “International Journal of Biological Macromolecules”, volumen 253, parte 7. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.127536

Ortega-Garcia J. A. (2021). “Exposiciones laborales, dieta y envasado: recomendaciones para reducir los contaminantes medioambientales en la lactancia materna”. “Anuales de Pediatría”, volumen 94, página 261. https://doi.org/10.1016/j.anpedi.2021.01.017

Pellá M. C. J. (2019). “Effect of gelatin and casein additions on starch edible biodegradable films for fruit surface coating”. “Food Chemistry”, volumen 309.
https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125764

Roman-Benn et al., (2023). “Pectin: An overview of sources, extraction and applications in food products, biomedical, pharmaceutical and environmental issues”. “Food Chemistry Advances”, vol. 2, 100192. https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100192

Salazar R. (2008). “Electrochemical oxidation of C4-vanillin-and C4-isovanillin-1, 4-dihydropyridines in aprotic medium: Reactivity towards free radicals”. “Journal of Electroanalytical Chemistry”, volumen 622, páginas 29-36. https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2008.04.024

Salgado Lorente C. (2023). “Influencia de compuestos fenólicos antioxidantes y antimicrobianos en las propiedades de films de PHBV”.

Salum et al., (2023). “Effect of Vanillin Concentration on the Properties of Poly(vinyl alcohol)-Based Films Prepared to Potentially Replace Single-Use Plastics”. “Macromol. Chem. Phys.”, vol. 224, 2300332. https://doi.org/10.1002/macp.202300332

Young & Lovell. (1981). “Introduction to Polymers”. Manchester, Reino Unido: Springer-Science+Business Media.

VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA DE MOTORES DE INDUCCIÓN ASÍNCRONOS BAJO DIVERSAS CONDICIONES DE CONTAMINACIÓN DE LA CARCASA

Jose A. Baldini, Walter C. Aguilera, Mirta S. Doque, Diego Santoni, Oriana Almada

Gimbat, Facultad Regional San Nicolas, UTN, Colon 332
jbaldini@frsn.utn.edu.ar

Resumen

Los motores eléctricos asincrónicos con jaula de ardilla de baja tensión totalmente cerrados y autoventilados son ampliamente utilizados en la industria y otras aplicaciones. En este estudio experimental, se llevaron a cabo ensayos bajo diversas cargas y condiciones de ventilación. Se colocaron termocuplas en puntos estratégicos del estator y se registraron las mediciones obtenidas. El objetivo fue investigar la evolución de la temperatura en distintos puntos del motor en ausencia de ventilación normal y con dos estados de los alabes de la carcasa: limpia y obstruida al 50%. Se observó que la temperatura en la condición de alabes tapados fue menor que en la otra, contrario a lo esperado. Este hallazgo sugiere un efecto inesperado de la obstrucción en la circulación del aire dentro del motor.
Palabras clave: Motores Asincrónicos – temperatura - ventilación

Introducción

Los motores eléctricos asincrónicos con jaula de ardilla de baja tensión, totalmente cerrados y autoventilados, representan uno de los tipos de máquinas más utilizadas en una amplia gama de aplicaciones industriales y comerciales. Su prevalencia en la industria no es casualidad; estos motores han llegado a dominar el mercado debido a una combinación de características que los hacen excepcionalmente versátiles y eficientes. En comparación con otros tipos de motores eléctricos, los motores asincrónicos con jaula de ardilla destacan por su simplicidad en el mantenimiento, lo que se traduce en menores costos operativos y una mayor confiabilidad a lo largo del tiempo. Esta accesibilidad y facilidad de uso han permitido que estos motores reemplacen progresivamente a otras tecnologías de motor en múltiples aplicaciones.

Además de su facilidad de mantenimiento y menor costo relativo, una de las grandes ventajas de estos motores es su capacidad para integrarse con dispositivos electrónicos modernos, tales como arrancadores suaves y variadores de velocidad. Esta integración no solo simplifica el control del motor, sino que también permite optimizar su rendimiento para diferentes condiciones operativas, logrando en muchos casos superar las prestaciones de otros tipos de máquinas eléctricas. Esta flexibilidad y adaptabilidad son factores clave que han contribuido a la amplia adopción de los motores asincrónicos con jaula de ardilla en diversas industrias.

Sin embargo, a pesar de sus ventajas inherentes, los motores eléctricos instalados en entornos industriales están expuestos a condiciones que pueden afectar su rendimiento y durabilidad. Los ambientes de trabajo donde se emplean estos motores para accionar diversas máquinas a menudo contienen partículas y sustancias que forman parte del proceso de producción, como es el caso en industrias de celulosa, cemento, procesamiento de granos, entre otros. Estas partículas tienden a depositarse sobre las carcasas de los motores, obstruyendo el flujo normal de ventilación de aire, lo que es esencial para mantener una adecuada disipación del calor generado durante la operación del motor.

La acumulación de estos materiales en la superficie de los motores se ve agravada por la presencia de humedad en el ambiente, que provoca la formación de capas firmes y adheridas de estos componentes. Estas capas no solo son difíciles de remover, sino que también actúan como aislantes que impiden el normal intercambio de calor entre el motor y el ambiente. Como resultado, la disipación de calor se ve comprometida, lo que puede llevar a un sobrecalentamiento interno. Este sobrecalentamiento es

particularmente crítico en los aislantes de los bobinados del motor, que deben mantenerse dentro de los límites establecidos por la clase térmica de aislamiento para evitar daños irreversibles y asegurar el funcionamiento eficiente del motor.
Además, el incremento de la temperatura interna del motor también contribuye a un aumento de las pérdidas por calentamiento, lo cual reduce el rendimiento global del motor. Este deterioro en el rendimiento no solo implica una operación menos eficiente, sino que también puede acortar la vida útil del motor, incrementando la necesidad de mantenimiento y posibles reemplazos prematuros.
Es importante destacar que el rendimiento de estos motores es un parámetro que se encuentra especificado por los fabricantes en sus catálogos, y este rendimiento es certificado por entidades independientes mediante procesos de medición rigurosos. Los valores de rendimiento que se presentan en los catálogos representan el límite inferior del rendimiento esperado para diferentes grados de eficiencia. Esto significa que, bajo condiciones óptimas de operación, el rendimiento real del motor puede superar estos valores mínimos, especialmente en situaciones donde las cargas aplicadas se encuentran dentro de un rango ideal en relación con la capacidad nominal del motor.
La investigación que se desarrolla en este contexto tiene como objetivo principal corroborar cómo las distintas condiciones de ventilación afectan el incremento de la temperatura en el motor. Para ello, se ha seleccionado un motor que operará bajo una carga mecánica equivalente al 100% de su capacidad nominal, pero con una ventilación restringida para simular las condiciones adversas que se presentan en ciertos entornos industriales. A través de este análisis, se pretende obtener una comprensión más detallada de la relación entre la ventilación y la temperatura de operación del motor, lo cual es crucial para desarrollar estrategias de mantenimiento y operación que maximicen la eficiencia y vida útil de estos motores en entornos desafiantes.

Desarrollo

El Laboratorio de Alta Tensión de la Facultad donde se realizaron los ensayos, cuenta con un banco de prueba de motores marca SCHENCK TYP (Fig.1) con una capacidad de trabajo de 100HP con un freno de corriente continua refrigerado por agua, para regular las distintas condiciones de carga acopladas al eje.

Fig. 1. Motor en Banco de pruebas.

Se utiliza un motor que denominaremos “G1”, marca Siemens de 11 KW, 1460 rpm, 400 V, 50 Hz, grado de eficiencia EFF2.
La alimentación del motor se hace desde un tablero de comando que tiene un arrancador suave marca Schneider modelo Altistar, con una capacidad de 140 Amp.
Se desarmó el motor y se colocaron cuatro termocuplas tipo “J” (Fig.2) para medición de la temperatura del lado de menor disipación del calor, o sea del lado acople. Dos de ellas en la cabeza de bobina: una en la parte superior (T2) y otra en la parte inferior (T1); una en el núcleo (T3) y otra en la carcasa (T4).

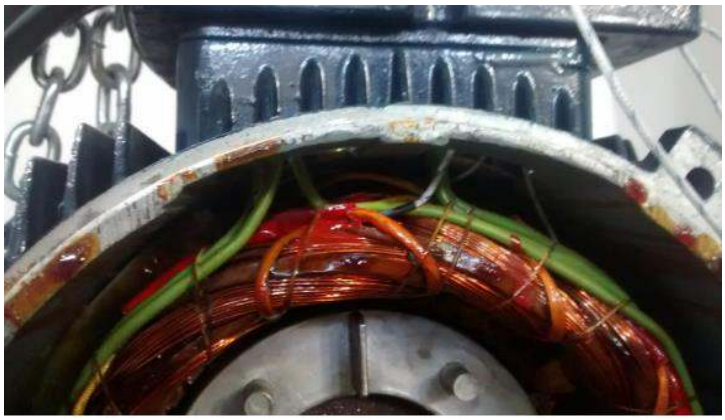


Fig. 2. Ubicación de las Termocuplas en los bobinados

T1: Cabeza de bobina del motor parte inferior
T2: Cabeza de bobina del motor parte superior
T3: Estator parte superior
T4: Carcasa. Parte externa superior detrás de la caja de bornes.
Se decidió utilizar el método de medición de temperatura por termocuplas, aunque los datos observados tendrían mayor validez si los mismos hubieran sido obtenidos utilizando el método de variación de resistencia eléctrica de los bobinados.

Todas las termocuplas se conectaron a al multimedidor (Ver Fig. 3)

Fig. 3. Salida de las termocuplas al multimedidor

Las mediciones generales que se realizaron fueron para:

a) Estados de Carga: Plena Carga, 75%, 50%, 25% de Plena Carga y Vacío (0%)

b) Estados de ventilación: 100% de ventilación (condición normal de funcionamiento), 50 % de ventilación y sin ventilación.
c) Condiciones de los canales de ventilación: con 50% de canal de ventilación obstruido y sin obstrucción (condición nominal).

Se tomaron muestras de temperatura cada 20 minutos en cada termocupla situadas en los diferentes puntos del estator.

Los resultados de las mediciones se traducen y grafican en Excel para comparar cada una en función de la ubicación, el estado de carga y ventilación. En la tabla 1 se muestra la planilla de toma de datos genérica.

Tabla 1: Ejemplo de Planilla generada para cada estado de ventilación y carga.

UTN San Nicolás

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL - FACULTAD REGIONAL SAN NICOLÁS DEPARTAMENTO INGENIERIA ELECTRICA LABORATORIO ALTA TENSIÓN Y ENSAYOS DE MAQUINAS
GIMBAT (Grupo de Investigación de Máquinas de Baja Tensión)

DATOS DE PLACA:

MARCA	SIEMENS	TIPO	0	N°	0
TENSIÓN (V)	400	RRIENTE ESTATOR		RPM	1460
LASE AISLACIÓN	F	POTENC	11 kw	14,96 [PS]	antidad Arranque	0
DATOS ADICIONALES: 100 % VENTILACION					

PARA MOTORES ROTOR BOBINADO

NSIÓN DE ROTOR		ORRIENTE ROTOR (	

FECHA ENSAYO	27/10/2018
ORCENTAJE CARG	100%
VISIONES FRENO (	51

$P = \frac{F\,n}{1000}$ [PS]

P = potencia
F = n° divisiones freno
n = rpm

N°	UBICACIÓN TERMOCUPLAS
1	BOBINADO PARTE INFERIOR
2	BOBINADO PARTE SUPERIOR
3	ESTATOR PARTE SUPERIOR
4	EXTERIOR - CARCAZA

CORRIENTE (Amp)			TENSION (Vol)				POTENCIA (KW)			TERMOCUPLAS (°C)					RENDIMIENTO
R	S	T	RS	ST	TR	RPM	R	S	T	1	2	3	4	HORA	η
										24,5	24,8	25	24,7		
										51	53,5	36,8	30		
22	22,6	22,4	396	395,6	394,5	1462	12,5			94,2	93,8	62,5	44,8		0,88
										104,1	104,6	69,8	49,3		
										111,5	111,9	74,4	51,4		

Cálculo de la reducción de la superficie de disipación por obstrucción de los canales de ventilación.

Para simular un agente externo depositado en el motor y que obstruye el natural flujo de aire, se colocó una masilla cubriendo el largo de los canales de disipación hasta el 50% de la altura y a lo largo de los mismos, esto reduce la superficie de disipación de calor del motor en un porcentaje que vamos a calcular (ver Fig. 4).

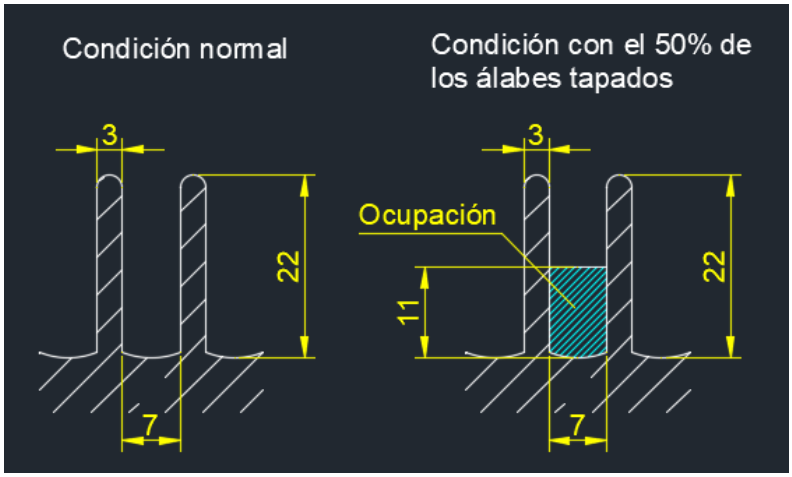


Fig. 4 Detalle del 50% de los Alabes Tapados

La superficie total de disipación del motor en condiciones normales es:

$$STD = SCSA + STDE + STTR + SAL \quad (1)$$

Donde:
STD= Superficie total de Disipación
SCSA= Superficie de la carcasa sin álabes
STDE= Superficie tapa delantera
STTR= Superficie tapa trasera
SAL= Superficie de los álabes

A partir de mediciones efectuadas:

$$STD = 0{,}1011\ m^2 + 0{,}1037\ m^2 + 0{,}1037\ m^2 + 0{,}5405\ m^2 = 0{,}8490\ m^2 \quad (1)$$

Para las condiciones de estudio donde se tapó el canal entre álabes con masilla hasta la mitad del alto total del álabe, en todo el largo de la carcasa (ver fig.5), resulta:

Fig. 5: Estado de los alabes

STAL=STD-STM (2)

Donde:
STAL= Superficie total considerando la falta de disipación producto de la obstrucción de la masilla
STD= Superficie total de Disipación (original)
STM= Superficie del canal obstruido

Luego:

$$STAL = 0{,}8490\ m^2 - 0{,}3335\ m^2 = 0{,}514\ m^2 \quad (3)$$

Expresado en porcentaje

$$\frac{STM}{STD}.100 = \frac{0{,}3335\ m^2}{0{,}8490\ m^2}.100 = 39{,}5\ \% \qquad (4)$$

Lo cual significa que la superficie de disipación se reduce a un 60,5% del total.
Es decir que obstruyendo el 50% del ingreso de aire en los alabes de la carcasa, se produce una disminución de éste a un valor de 60,5%.

Casos analizados

Para este trabajo en particular se analizaron estos dos estados:

Estado N°1: 100% de carga nominal en el eje - sin ventilación – canales de ventilación sin obstrucción.
Estado N°2: 100% de carga nominal en el eje - sin ventilación – canales de ventilación 50% obstruidos.

En este último estado se taparon los canales de ventilación con una masilla plástica de un alto igual a la mitad de la altura desde la carcasa a la punta del álabe y de un largo igual al largo de carcasa, de tapa a tapa, simulando el depósito de un material volátil, lo que no implica el mismo porcentaje de disminución en la superficie de disipación.

En los diferentes gráficos se observa la evolución de la temperatura en las diferentes termocuplas T1, T2, T3 y T4 en función del tiempo. Se aprecia que las termocuplas T1 y T2 que se encuentran en las cabezas de bobinas elevan su temperatura más que las termocuplas T3 y T4.

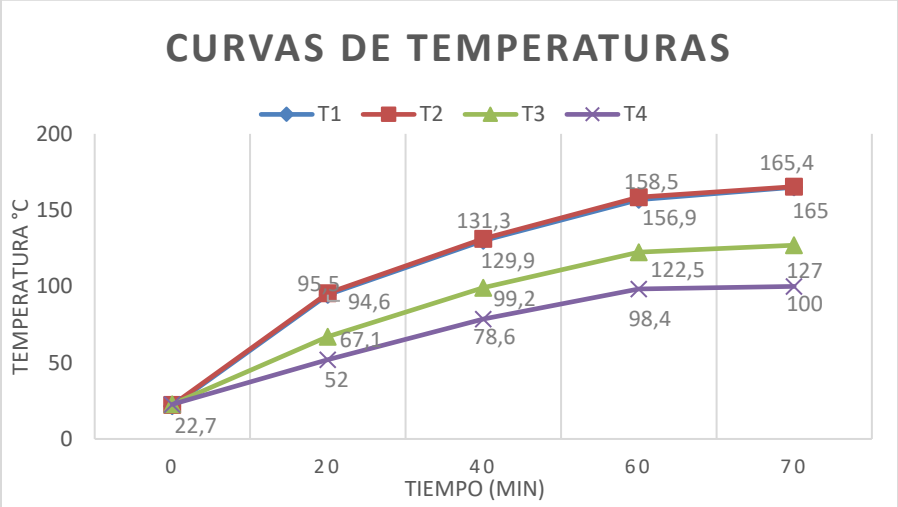


Gráfico 1- 100% de carga nominal en el eje - sin ventilación – canales de ventilación sin obstrucción.

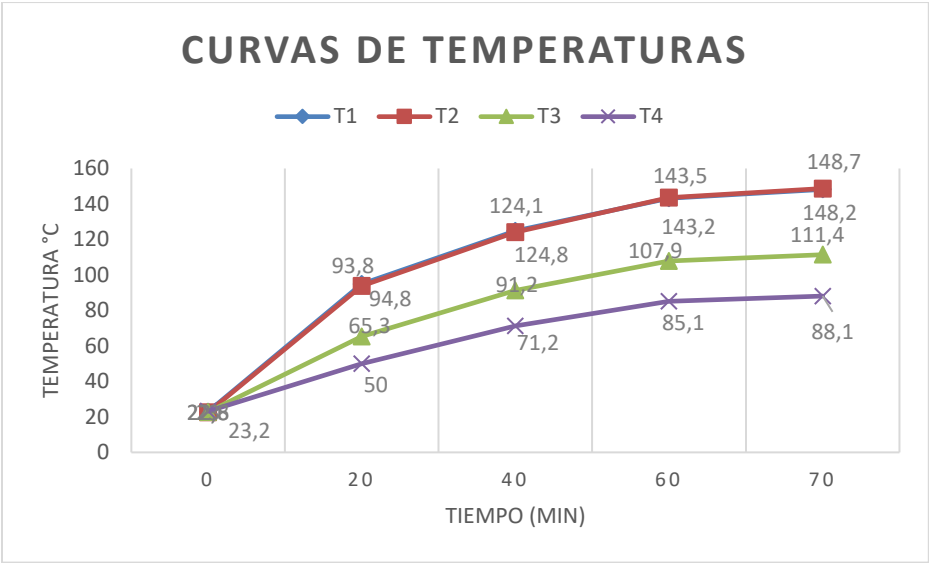


Gráfico 2 – 100% de carga nominal en el eje - sin ventilación – canales de ventilación 50% obstruidos.

En el Gráfico 3 comparamos la evolución de las temperaturas en la termocupla T1, para las condiciones de álabes sin obstrucción “álabes limpios “y álabes obstruidos “álabes sucios”.

Gráfico 3 – Comparación de la evolución de la temperatura en la termocupla T1.

Conclusiones

Al analizar el Gráfico 3, se observa que la temperatura registrada es mayor en el caso de la carcasa con los álabes limpios comparada al de los álabes sucios, lo cual contradice las suposiciones iniciales. Este fenómeno puede atribuirse a la acción disipadora de la masilla empleada, que ha facilitado una mayor evacuación del calor desde el interior al medio ambiente, resultando en una menor evolución de la temperatura. Es relevante considerar que, en aplicaciones industriales reales, los materiales acumulados en los álabes podrían ejercer un efecto contrario, modulando la temperatura en función de su composición y propiedades térmicas.

Referencias

Khaldi, R., Benamrouche, N., & Bouheraoua, M. (2012). An experimental investigation of heating in induction motors. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Electrical and Computer Engineering, 6*(6). Recuperado de https://publications.waset.org/13844/an-experimental-investigation-of-heating-in-induction-motors

Londoño-Parra, C., & Ramírez Echevarría, J. (2013). Normas de eficiencia energética en motores de inducción. ¿Está preparada Latinoamérica? *TecnoLógicas Instituto Tecnológico Metropolitano, Medellín, Colombia*, (30), 117-147. Recuperado de https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=344234332007

Antal, L., & Antal, M. (2009). Heating of the induction motor rotor with damaged squirrel-cage. *Prace Naukowe Instytutu Maszyn, Napedow i Pomiarów Elektryecznych, 63*(29), 84-89. Recuperado de http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.baztech-article-BPW9-0009-0009

ESTUDIO DE LA PROFUNDIDAD DE LA ZONA ACTIVA EN SUELOS ARCILLOSOS

Oscar D. Rico[1], Alejandro C. García[1], M. Emilia Medina[1], Matías Cornaló[1], Enzo Medina[1]

[1]GIICMA, Laboratorio de Geotecnia, Facultad Regional Concordia, Universidad Tecnológica Nacional, Salta 277 Concordia Entre Ríos, labsuelo.frcon@gmail.com

Resumen

El perfil de humedad de un terreno depende entre otros factores de sus propiedades físicas, además de características ambientales como la distribución anual de precipitaciones, la evapotranspiración, y también de la profundidad del nivel freático regional; por tanto, se pueden esperar variaciones significativas entre diferentes regiones.

En la bibliografía internacional se encuentran varios trabajos de investigación sobre el tema como por ej. Kraynski (1967) [1], Fernandes, M. et. al. (2015) [2], también textos clásicos como Bowles J. (1996) [3], Braja M. Das (2012-2019) [4] [5], donde en general expresan la profundidad necesaria para alcanzar un valor de humedad constante entre períodos húmedos/secos, denominada humedad de equilibrio.

Este trabajo busca aportar conocimiento a la cuantificación de la profundidad de humedad de equilibrio, que sea representativa de los suelos arcillosos potencialmente activos de Entre Ríos, Argentina, mediante un análisis pormenorizado de datos obtenidos partiendo de muestras extraídas por el método de penetración estándar (SPT) norma ASTM D1586-11 / (IRAM 10517).

Para esta investigación se analizaron más de 500 muestras extraídas entre octubre de 2013 y abril de 2023, procedentes de aproximadamente 100 sondeos de exploración de la provincia, hasta profundidades que alcanzan los 5.00m

Se logró obtener una familia de curvas de Profundidad (m) vs Humedad (%), que presentan una distribución con fuerte tendencia a agruparse hacia un valor medio de humedad, acotada en un entorno de variación en ≈ 32% ± 5%, para una profundidad del orden de los 3.00m.

Los resultados obtenidos en este trabajo muestran cierta concordancia con lo publicado a nivel global, donde en general se establece una humedad de equilibrio en torno a los 3.00m de profundidad, diferenciándose de datos recabados a partir de un estudio regional, realizado en la década de 1980 para una única locación del centro de la provincia, el que habría concluido en la obtención de la humedad de equilibrio a una profundidad del orden de 1.60m.

Palabras Clave: Profundidad de Equilibrio, Humedad, Arcillas Activas

Introducción

Algunos suelos netamente arcillosos tienen la capacidad de variar su volumen cuando ocurren cambios en su contenido de humedad, pudiendo consecuentemente generar importantes presiones de expansión sobre las estructuras fundadas en los mismos. Tal situación ocurre en extensas zonas de la provincia de Entre Ríos, las que presentan suelos arcillosos con elevado pasante por el tamiz N°200, entre 80% a 100%, alto límite líquido > 55%, considerable índice plástico, con valores superiores a 30%, y partículas de tamaño menor a 2 micrones, en cantidad cercana o superior a 50%. Características estas típicas de los denominados suelos potencialmente activos, en los que se manifiesta el fenómeno expansión-contracción.

Éstas variaciones volumétricas en el suelo generan en las estructuras presiones en todas las direcciones, que con mayor incidencia en obras “livianas” pueden provocar movimientos horizontales y verticales, con deformaciones diferenciales que producen fisuras, grietas, roturas, y eventualmente el colapso o salida de servicio de la construcción , estos fenómenos son de acotada

o imperceptible magnitud en estructuras que someten al suelo a grandes presiones; si son mayores a la denominada “presión de expansión”, en general no se presentan inconvenientes.

Materiales y métodos

Todas las muestras de suelo analizadas, provenientes de unos aproximadamente 100 sondeos de distintas zonas del territorio provincial, fueron cedidas por empresa dedicada a la investigación geotécnica.

Fig. 1- Método de ejecución ensayo SPT (Standard Penetration Test)

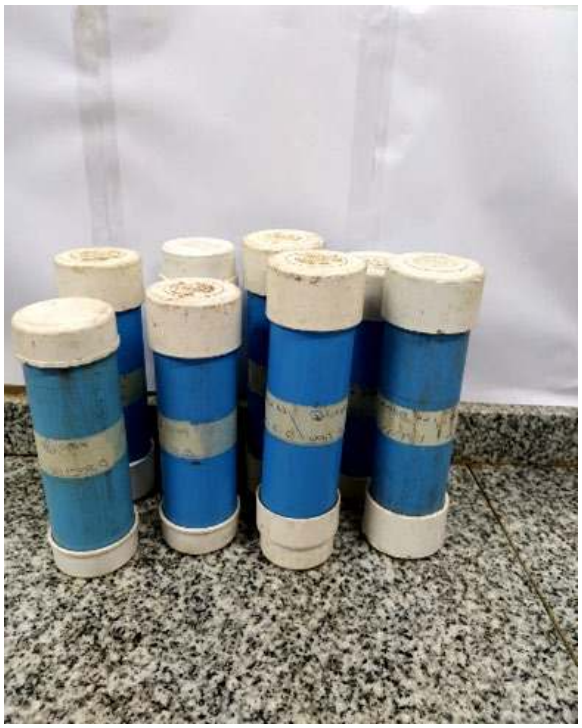


Fig. 2- Muestras obtenidas del ensayo SPT

Los testigos investigados provienen de las siguientes localidades entrerrianas: Bovril, Chajarí, Feliciano, San Jaime, San Salvador, Basavilbaso, Chañar, Col. Avigdor, Conscripto Bernardi, Estancia Grande, Federación, Federal, Gral. Campos, Gualeguaychú, Jubileo, La Criolla, La Florida, Los Charrúas, Macía, Ubajay, Villa Elisa y Villaguay. Adicionalmente para el sur de la Provincia de Corrientes, se estudiaron muestras procedentes de Juan Pujol, Sauce de Luna y Sauce.

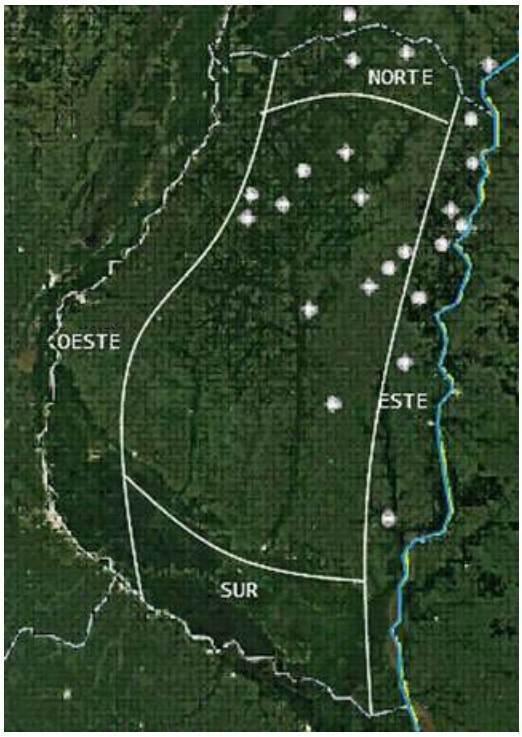


Fig. 3 – Regionalización de la provincia de Entre Ríos y ubicaciones aprox. del origen de las muestras

Se realizaron los siguientes ensayos de identificación y clasificación:

- Humedad Natural (IRAM 10519),
- Límites de Atterberg (IRAM 10501/07),
- Lavado por tamiz #200 (IRAM 10507),
- Clasificación SUCS (IRAM 10509).

Se registraron los resultados de los ensayos confeccionado una tabla de datos (denominada T1), donde además de la profundidad de extracción y la humedad de las muestras, se incorporaron otros datos como la plasticidad, el número de golpes del SPT, la locación de extracción, el contenido de finos o pasante por la malla N° 200, etc.

Tabla T1 - Procesamiento de datos

Profundidad	Fecha	Humedad	N	LL	LP	IP	Pasante Tamiz	yd	SUCS	Color	Observaciones	Lugar	Region
(m)		[%]		[%]	[%]		N°200	[g/cm3]					
0,25	oct-19	28,69	7	65	25	40	76,64	1,5	CH	Negruzco	Nodulitos Calcareos	Chajari	Este
0,75	oct-19	24,69	9	49	21	28	80,7		CL	Castaño	Calcareo - Fracciones Negruzca	Chajari	Este
1,75	oct-19	28,78	10	48	18	30	70,94	1,66	CL	Castaño	Fracciones Rojizas - Nodulitos	Chajari	Este
2,75	oct-19	32,87	9	62	29	33	94,07	1,44	CH	Castaño	Fraciones grisaceas. Muestra Homogenea	Chajari	Este
3,75	oct-19	34,36	12	63	30	33	96,57		CH	Grisaceo	Nodulitos Calcareos Disepersos	Chajari	Este
4,75	oct-19	34,53	14	58	30	28	97,57	1,41	CH	Grisaceo	Fracciones Cast. Rojizas. Nodulitos	Chajari	Este
0,25	ago-21	20,35	7	38	16	22	34,9		SC	Negruzca	Restos de ladrillos	Federal	Centro
0,75	ago-21	30,15	8	67	24	43	97,22		CH	Castaño	Fracciones Negruzcas. Nodulitos calcáreos	Federal	Centro
1,75	ago-21	36,45	7	62	31	31	99,62		CH	Castaño	Fracciones Negruzcas. Muestra	Federal	Centro
2,75	ago-21	36,5	11	61	31	30	99,41		CH	Castaño	Muestra Homogenea.	Federal	Centro
3,75	ago-21	35,74	14	59	30	29	98,05		CH	Castaño	Fracciones Negruzcas	Federal	Centro
4,75	ago-21	32,67	17	60	30	30	98,56		CH	Grisáceo	Fracciones Negruzcas	Federal	Centro
						0							
0,25	jun-21	36,05	3,6	67	28	39	95,81	1,3	CH	Negruzco	Raicillas homogéneo	Col. Avigdor	Centro
0,75	jun-21	32,45	7	68	26	42	98,06	1,45	CH	Castaño	Fracciones Negruzcas. Nodulos calcáreos	Col. Avigdor	Centro
1,75	jun-21	29,45	9	63	26	37	89,95	1,51	CH	staño grisáo	Fracciones Negruzcas nódulos	Col. Avigdor	Centro
2,75	jun-21	25,69	9	62	23	39	69,63		CH	staño grisáo	Pintas negruzcas nódulos calcáreos	Col. Avigdor	Centro
3,75	jun-21	34,17	8	63	29	34	98,9		CH	Castaño	Nodulitos calcáreos	Col. Avigdor	Centro
4,75	jun-21	36,02	8	63	28	35	89,17	1,28	CH	Castaño	Homogéneo nódulos calcáreos	Col. Avigdor	Centro
0,25	feb-22	19,64	7,8	70	20	50	98,19		CH	Negruzco	Raicillas	Feliciano	Norte
0,75	feb-22	23,26	9	55	22	33	97,53		CH	Castaño	Nodulitos calcáreos y negruzcos	Feliciano	Norte
1,75	feb-22	29,54	7	60	18	42	93,21	1,48	CH	Grisáceo	Fracciones negruzcas. calcáreos	Feliciano	Norte
2,75	feb-22	35,87	4	62	24	38	98,09	1,33	CH	Grisáceo	Fracciones castañas. Nodulitos	Feliciano	Norte
3,75	feb-22	37,87	5	59	26	33	99,9		CH	Grisáceo	Nodulitos negruzcos	Feliciano	Norte
4,75	feb-22	35,39	8	61	27	34	99,62	1,35	CH	Castaño	Fracciones grisáceas y negruzcas	Feliciano	Norte

Inicialmente con la totalidad de los datos se representaron las curvas Profundidad (m) vs Humedad (%), en un único gráfico. (fig. 4).

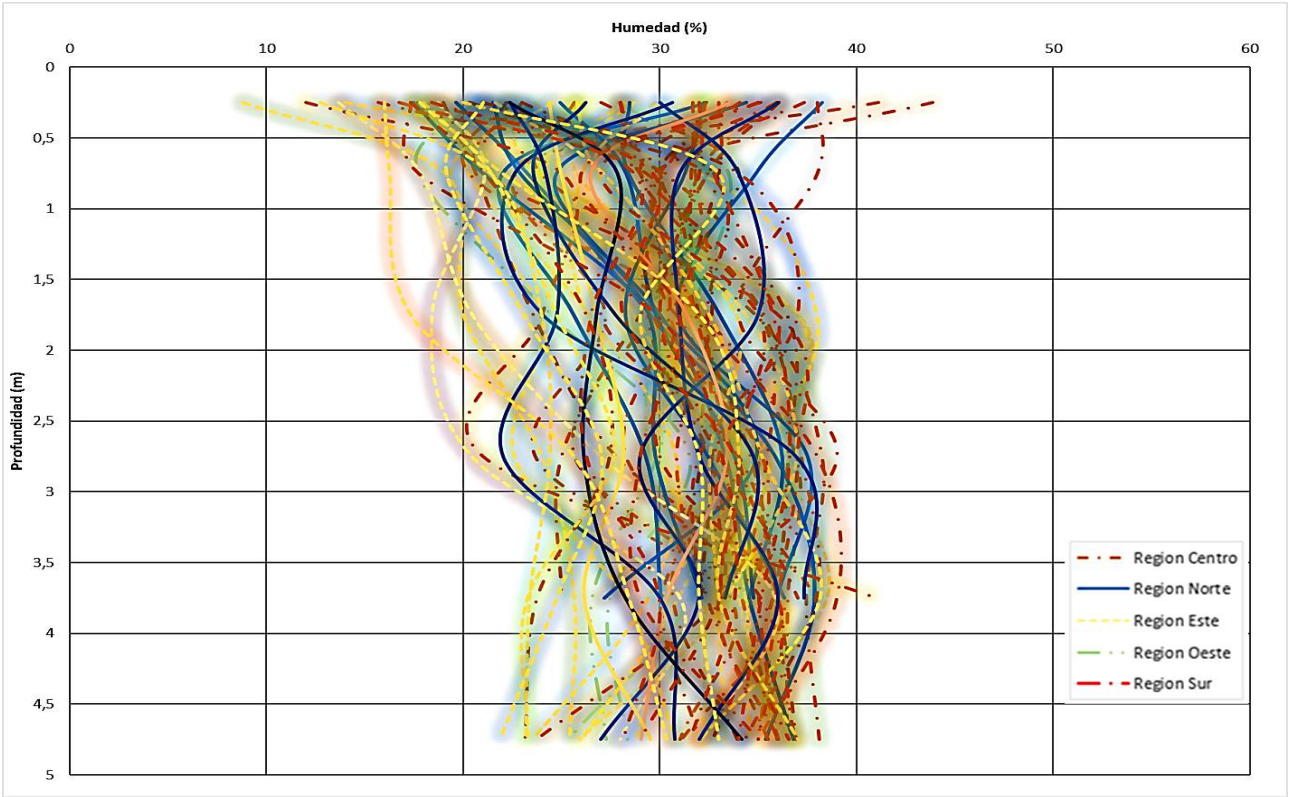


Fig. 4 – Curvas humedad (%) vs profundidad (m) de la totalidad de las muestras.

Como se puede observar en la figura 4, los datos generales presentan considerable dispersión. A partir de estos resultados se procedió a aplicar filtros a la información, acotando el muestreo de análisis, pero de forma que permitan agrupar los suelos según características más homogéneas.

Algunos filtros aplicados se pueden observar desde la figura 5 a la figura 9:

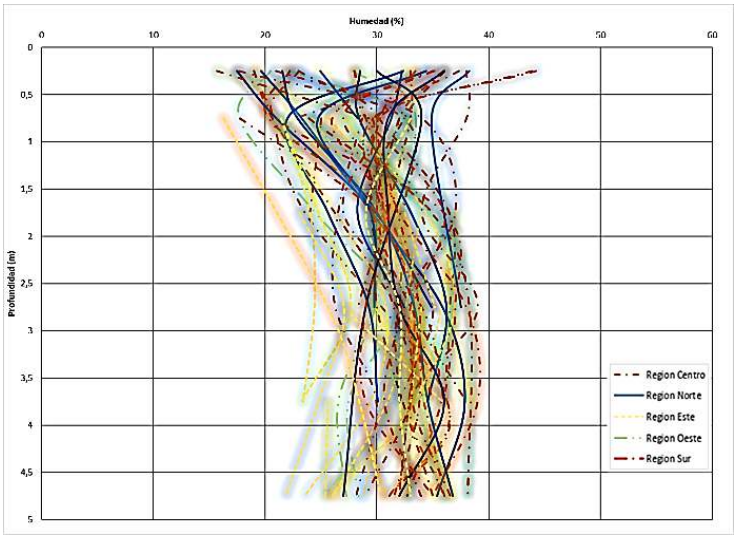


Fig. 5- Filtro 1: Regiones Centro y Norte; IP>30

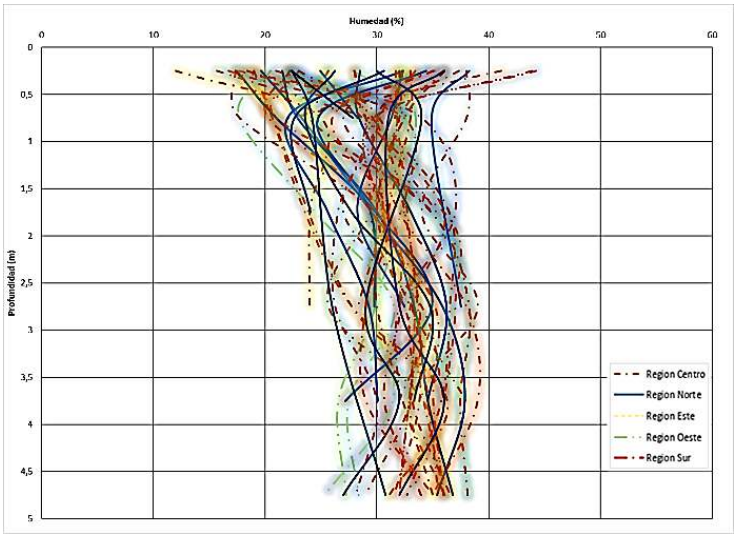


Fig. 6- Filtro 2: Pasante Tamiz #200>85%; IP≥30; CH

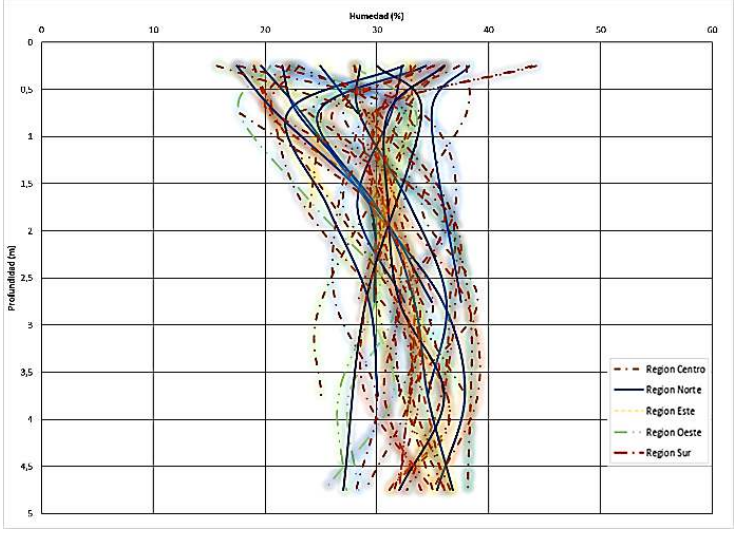


Fig. 7- Filtro 3: LL>40 y Pasante Tamiz #200>85%

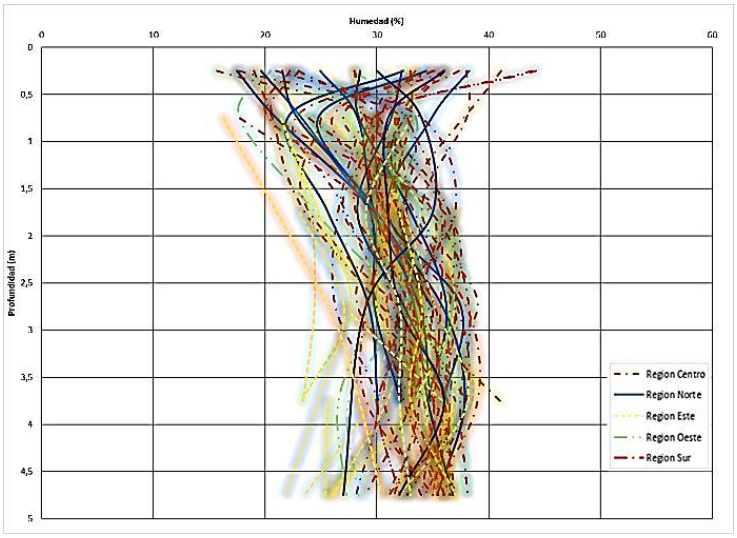


Fig. 8- Filtro 4: IP>30; Pasante Tamiz #200>85%; Región Centro y Norte; CH

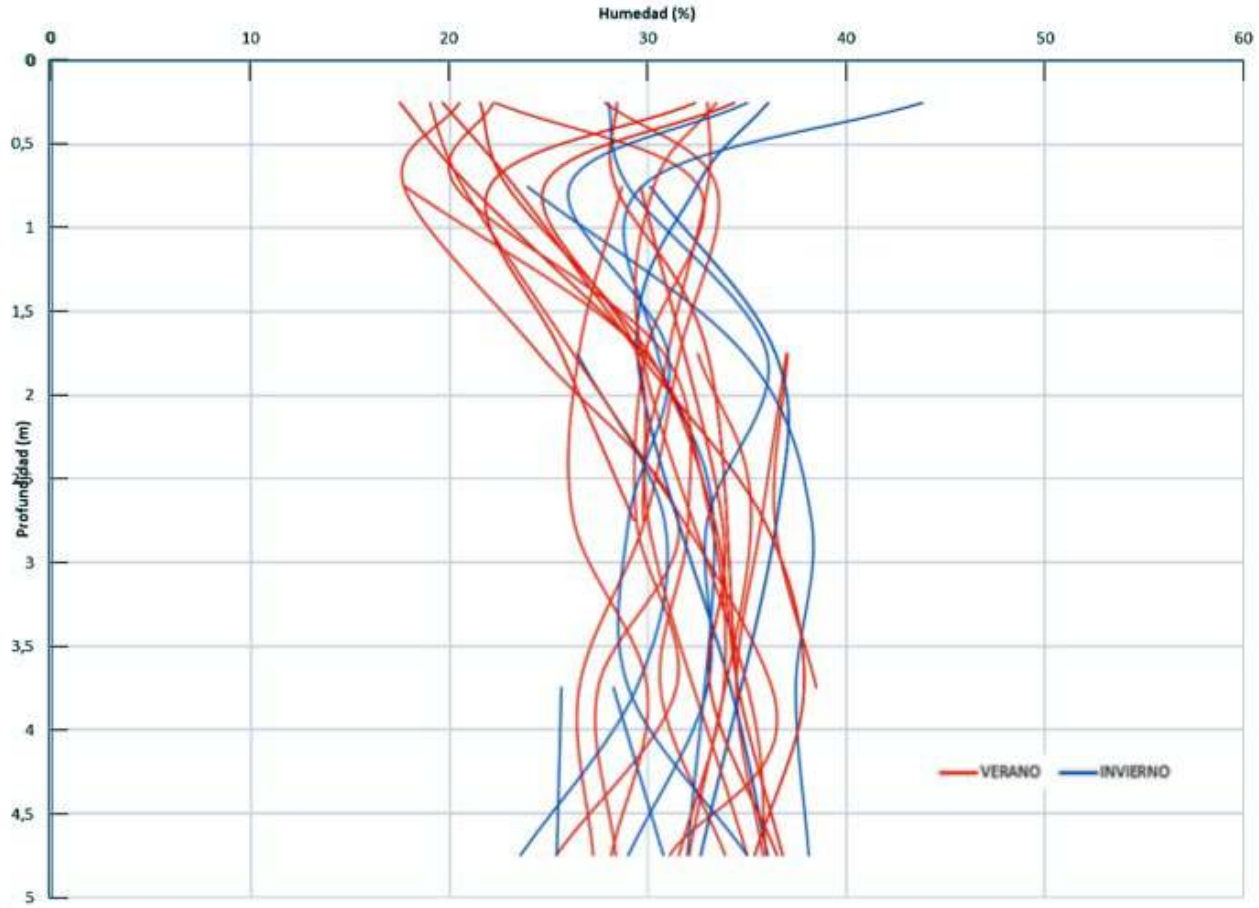


Fig. 9- Filtro 5: Pasante Tamiz #200>85%; IP≥30. En gráficos superpuestos: meses cálidos (rojizos: diciembre, enero y febrero) vs meses fríos (azulados: junio, julio y agosto).

Resultados y discusiones

Se vislumbra en forma clara la tendencia hacia una fuerte variación de la humedad natural del suelo para los estratos más superficiales, pero a partir de cierta profundidad (mayor a los 2m), se aprecia que el rango de variación es más acotado. Esta tendencia de evolución se observa similar a lo presentado de forma preliminar, en investigación de UTN Concordia del año 2006, Miccuci et. al. [6]; mostrando además datos relativamente concordantes con las otras investigaciones para la región litoral de Argentina y que fueran recientemente relevadas por Domé [7].

Partiendo de considerar que dicha profundidad, hasta la que puede variar la humedad de los suelos, es un fenómeno estacional y fuertemente condicionado por la amplitud de los regímenes de lluvia y humedad ambiente; resulta imperioso prever la continuidad de estas investigaciones a mediano o largo plazo, aumentando el muestreo, de manera que permita registrar períodos de seca extraordinaria (verano), así como en estadios de máximo y prolongados períodos lluviosos (invernales). Para lograr lo anterior se considera determinante obtener datos de una misma localidad a lo largo del tiempo y de resultar factible, poder realizar varios sondeos en un mismo sitio, durante diferentes épocas del año.

Así mismo en la idea intención de continuidad del trabajo y siguiendo tendencias de algunas publicaciones recientes Cheng, Y., et. al. [8]; Devkota, B. et. al. [9]; etc., se pretende también incorporar ensayos que permitan cuantificar la succión del suelo y su variación en profundidad.

Conclusiones

En los gráficos obtenidos se aprecia que la tendencia general para las variaciones de humedad de los distintos registros, acompaña a las curvas teóricas difundidas en la bibliografía internacional (pe. B. Das, 7ma. Ed. 2012) [4].

Se evidencia cierta dispersión, la que al estado actual de la presente investigación se atribuye al origen de datos procedentes de diferentes localizaciones.

Se observa que las muestras que arrojaron un Índice de Liquidez (IL) cercano o inferior a cero (0), fueron en todos los casos obtenidas en temporada estival o de sequía y para una profundidad máxima de 1.0m. Resultando así el Índice de Liquidez, un "buen" indicador del déficit o avidez de humedad del terreno.

Se puede concluir preliminarmente de acuerdo a los resultados registrados, que la profundidad de la humedad de equilibrio se encuentra en el orden de 3.00m (fig. 10).

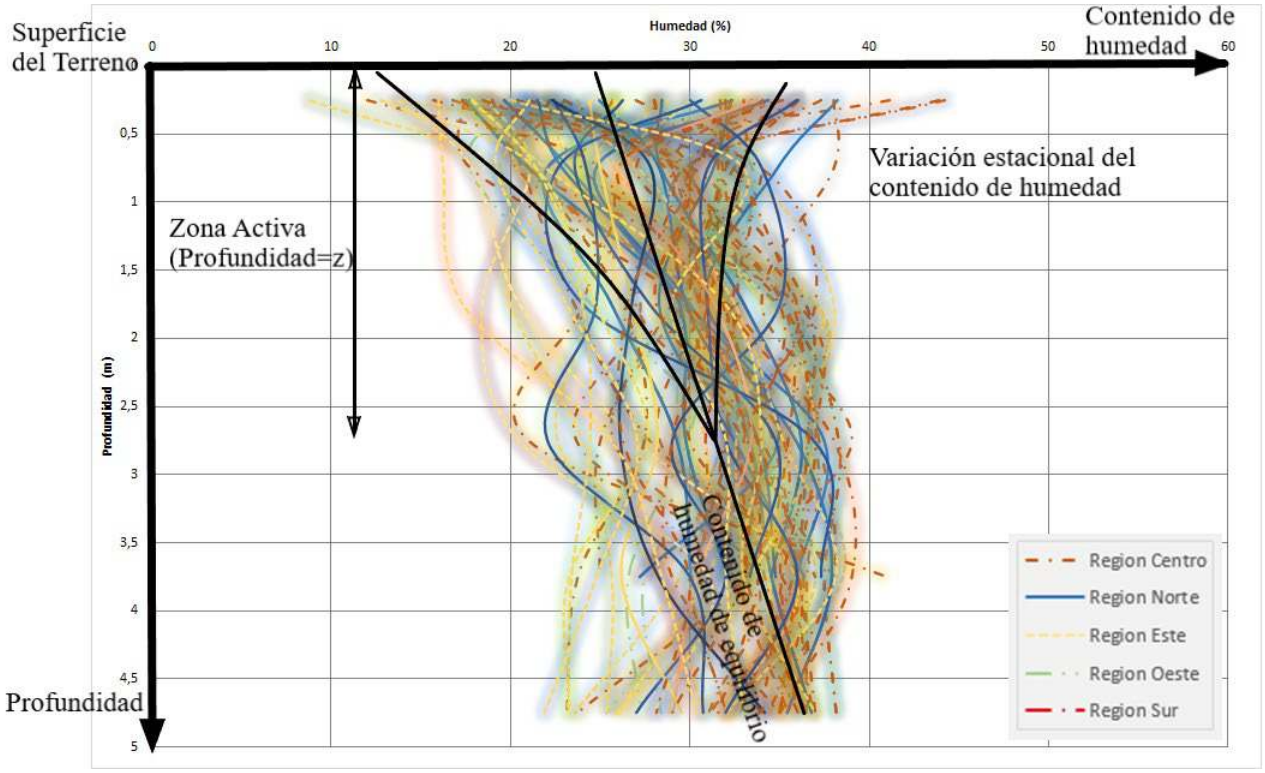


Fig. 10 – Profundidad de la humedad de equilibrio

Referencias

[1] Kraynski, L.M., “A Review Paper on Expansive Clay Soils”, Woodward-Clyde & Assoc., Portland Cement Assoc., Vol. 1. 1967.

[2] Fernandes, M.; Denis, A.; Fabre, R.; Lataste, J.F.; Chretien, M. “In situ study of the shrinkage-swelling of a clay soil over several cycles of drought-rewetting”. Eng. Geol. 2015, 192, pp. 63–75.

[3] Bowles, J. “Foundation Analysis and Design”, 5th Edition, Mc. Graw-Hill Companies, USA, 1996, pp. 380-393.

[4] Das, B.M. “Principios de Ingeniería de Cimentaciones” - 7ª Edición, Thompson. México, 2012, pág. 695-699.

[5] Das, B.M. and Sivakugan, N. “Principles of Foundation Engineering”, 9th Edition, Cengage Learning, Boston, Massachusetts, USA, 2020, pp. 612-615.

[6] Miccuci, C.A.; Rico O.D.; et. al. “Contribución al conocimiento de las Arcillas Activas” - GIAA - UTN Concordia E. Ríos, – CAMSIG XVII, San Juan, Argentina, 2006.

[7] Domé J.B.; “Suelos Expansivos. El Desastre Silencioso”. Paraná, Entre Ríos, Argentina, 2024.

[8] Cheng, Y.Z.; Huang, X.M.; Li, C.; Shen, Z.P. “Field and numerical investigation of soil-atmosphere interaction at Nairobi, Kenya”. Eur. J. Environ. Civ. Eng. 2017, 21, pp. 1326–1340.

[9] Devkota, B.; Karim, M.R.; Rahman, M.M.; Nguyen, H.B.K. “Accounting for Expansive Soil Movement in Geotechnical Design—A State-of-the-Art Review”. MDPI. University of South Australia, Adelaide, 2022, pp. 17-21.

DESARROLLO DE ALFABETIZACIÓN ACADÉMICA Y NUEVAS ALFABETIZACIONES EN INGLÉS TÉCNICO PARA INGENIERÍA QUÍMICA E INGENIERÍA MECÁNICA: UNA EXPERIENCIA EDUCATIVA INNOVADORA

Gabriela C. Galfioni[1], Verónica L. Muñoz[2]

[1]Departamento de Ciencias Básicas, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Río Cuarto, Ruta Nac. 36, Km. 601, Río Cuarto
[2]Departamento de Ciencias Básicas, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Río Cuarto, Ruta Nac. 36, Km. 601, Río Cuarto
gabrielagalfioni@ing.unrc.edu.ar

Resumen

Este trabajo se contextualiza en la asignatura *Inglés Técnico II*, Facultad de Ingeniería (UNRC), enfocada en la enseñanza de lectura especializada de artículos de semi-divulgación en inglés. El objetivo de esta presentación es socializar una experiencia educativa innovadora que llevamos adelante en el año académico 2023 en el marco del trabajo final solicitado a los estudiantes. Con el propósito de fomentar la alfabetización académica, las nuevas alfabetizaciones y las competencias tecnológicas, políticas, sociales y actitudinales (CONFEDI), planteamos como tarea la búsqueda, selección y lectura de un artículo de semi-divulgación de interés disciplinar, y el diseño posterior de una infografía. Contextualizamos la actividad en una situación hipotética que se plantea como práctica social en el ámbito laboral de la ingeniería: optimizar la producción en una planta industrial en base a información bibliográfica y realizar una presentación oral con apoyo visual para informarles a los operarios y al Jefe de Planta. El propósito de utilizar infografías es convertir contenido altamente complejo en información fácilmente comprensible y de consumo rápido. El producto final obtenido sintetiza el desarrollo de las competencias de alfabetización académica en torno a cuestiones de género, interpretación lingüística, estrategias de lectura, síntesis y escritura, y también de nuevas alfabetizaciones a través del uso de aplicaciones tecnológicas.

La actividad resultó interesante y desafiante para los estudiantes. Asimismo, las infografías que diseñaron reflejaron la práctica de alfabetización académica, de nuevas alfabetizaciones y de las competencias planteadas por el CONFEDI. No obstante, debemos señalar que una de las limitaciones advertidas fue la escasez de tiempo para fomentar exposiciones que promuevan el desarrollo de la oralidad. Sin embargo, consideramos que esta limitación propone una nueva oportunidad para promover el desarrollo de otras habilidades de la lengua como la oralidad para enriquecer aún más la experiencia educativa y promover otras competencias.

Palabras Clave: Alfabetización Académica, Nuevas Alfabetizaciones, Inglés con Fines Específicos (IFE), Tecnología en Educación, Infografías

Introducción

Es bien sabido que el inglés es la lengua que se privilegia para la comunicación internacional de la ciencia y la tecnología. Dado el valor funcional del inglés científico internacional, la educación superior se enfrenta al desafío de preparar a los estudiantes para insertarse laboralmente en un contexto de globalización caracterizado por cambios rápidos y constantes. Uno de los cambios más notorios es, sin duda, la circulación masiva y acelerada del conocimiento científico y tecnológico, impulsada por una lengua común, el inglés, y por las nuevas tecnologías. Como consecuencia, las universidades de todo el mundo incorporan en sus mallas curriculares cursos de inglés obligatorios u optativos. Esta situación es muy evidente, particularmente, en las disciplinas académicas con orientación científico-tecnológica, como lo es la ingeniería.

La Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC), al igual que otras universidades de Argentina, se hace eco de este escenario al incluir en los planes de estudio materias orientadas a la enseñanza

de inglés. Estos cursos se encuadran teórica y metodológicamente en el área de Inglés con Fines Específicos (IFE), disciplina académica con amplia trayectoria en la Lingüística Aplicada y con origen en el campo de las Lenguas con Propósitos Específicos, orientada a la enseñanza e investigación de la lengua en base a necesidades comunicativas particulares, principalmente en situaciones académicas y profesionales (Basturkmen y Elder, 2004; Bhatia, 2008; Hyland, 2002). Los cursos de Inglés con Fines Específicos tienen como objetivo entrenar a grupos de estudiantes de una misma disciplina académica, o disciplinas afines, en el desarrollo de habilidades de alfabetización para comunicarse en situaciones específicas en su cultura disciplinar (Basturkmen y Elder, 2004; Belcher, 2004; Dudley-Evans y St John, 1998; Hyland, 2002, 2006; Hyland y Hamp-Lyons, 2002; Johns y Swales, 2002; Martínez, 2011). Este es el caso de las materias *Inglés Técnico I* e *Inglés Técnico II* que dictamos en la Facultad de Ingeniería de la UNRC.

Nos enfocamos en este trabajo en la asignatura *Inglés Técnico II*, que dictamos en el segundo cuatrimestre para alumnos de tercer año de Ingeniería Química y alumnos de segundo año de Ingeniería Mecánica. La materia tiene como objetivo guiar a los estudiantes en el desarrollo de competencias y estrategias de lectura para que accedan a bibliografía especializada en inglés y fortalezcan su alfabetización académica en sus trayectos de formación universitaria. Es importante señalar que si bien el material de lectura está escrito en inglés, la naturaleza de la materia *Inglés Técnico II* (al igual que *Inglés Técnico I*) nos permite contribuir al desarrollo de estrategias de alfabetización académica en dos sentidos. Por un lado, la enseñanza explícita de la lectura favorece el desarrollo de esta competencia más allá de la lengua, dado que los alumnos pueden aplicar las estrategias de lectura incluso al leer textos en español. Esto es sumamente importante, pues la lectura es una estrategia fundamental para participar en la comunidad discursiva de las disciplinas, y realizar actividades requeridas para aprender en la universidad (Carlino, 2005). Por otro lado, y no menos importante, la lectura académica muy frecuentemente se vincula a la escritura. De hecho, son dos habilidades prácticamente indisociables, fuertemente arraigadas a las distintas actividades académicas en las que se involucran los estudiantes universitarios. En *Inglés Técnico II* acompañamos el proceso de lectura a través de nuestro andamiaje con distintas actividades, que suponen la producción escrita a partir de diferentes consignas, algunas más guiadas y con menor demanda cognitiva; otras menos guiadas y con mayor desafío cognitivo.

El foco en la enseñanza explícita de la lectura en inglés y las actividades escritas que los alumnos deben resolver en español no sólo promueve la alfabetización académica sino que también allana el camino hacia el desarrollo de las competencias genéricas establecidas por el CONFEDI (2018) para el perfil de los egresados en ingeniería, puntualmente “comunicarse con efectividad”, una competencia “social, política y actitudinal” que implica las siguientes competencias asociadas: “capacidad para seleccionar las estrategias de comunicación en función de los objetivos y de los interlocutores y de acordar significados en el contexto de intercambio”; “capacidad para producir e interpretar textos técnicos y presentaciones públicas”.

Hasta aquí nos hemos referido de manera genérica a la alfabetización académica, a la lectura y a la escritura en la universidad. No obstante, estos procesos están siempre anclados a situaciones de comunicación específicas y, por lo tanto, se recontextualizan de acuerdo a las actividades que requieren el uso del lenguaje. De esto se desprende una concepción sociocultural del lenguaje, pues la lectura y la escritura son prácticas que siempre se manifiestan como acciones específicas en situaciones sociales particulares (Barton, 2005; Barton y Hamilton, 2005; Cassany, 2006; Cassany y Morales, 2008; Gee, 2005, 2015; Ivanic, 2009; Kucer, 2014; Mateos, 2009; Rueda, 2011). Uno de los aspectos centrales de la situación comunicativa son los géneros, definidos como tipos de textos específicos que se utilizan para lograr objetivos sociales determinados culturalmente en una comunidad específica (por ej., la cultura disciplinar). En la universidad, saber usar determinados géneros de manera receptiva o productiva permite a los estudiantes desenvolverse en las distintas tareas académicas requeridas para transitar las carreras de grado y participar en la cultura disciplinar (Carlino, 2005; Ivanic, 2009). Cada género se caracteriza por tener una función social específica (y por ende emisores y destinatarios particulares), como así también por textualizarse a partir de determinados rasgos lingüísticos que lo distingue de otros géneros. En *Inglés Técnico II* nos centramos puntualmente en el artículo de semi-divulgación. Se trata de textos que comunican

la ciencia y la tecnología en marcha, es decir los nuevos avances científicos y tecnológicos (Ciapuscio y Kuguel, 2002; Gallardo, 1998) que muestran el progreso y la vanguardia en el campo del conocimiento y su aplicación.

Las condiciones de producción y recepción del artículo de semi-divulgación lo hacen relevante para ser empleado como material de lectura en los cursos de Inglés con Fines Específicos a nivel de grado (Muñoz, 2015). Tienen como objetivo informar sobre hallazgos, desarrollos, innovaciones y avances científicos y tecnológicos con fines aplicados. Se publican en revistas con cierto grado de especialización, como *Nature* (Reino Unido), *American Scientist* (Estados Unidos) y *Ciencia Hoy* (Argentina). Están escritos por especialistas, usualmente investigadores o divulgadores entrenados en un área disciplinar específica. Están dirigidos a lectores semi-legos, que tienen un nivel de conocimiento especializado y experticia disciplinar intermedio entre los científicos especialistas en una disciplina específica que leen artículos de investigación altamente especializados y entre el público general masivo que lee noticias sobre ciencia y tecnología en los medios periodísticos de difusión (Ciapuscio, 2003). Estas características hacen que los artículos de semi-divulgación sean interesantes, novedosos y accesibles a los estudiantes de grado, quienes se están formando en una disciplina en particular. Así, al ser menos especializados y menos complejos que los artículos de investigación, no requieren un alto nivel de conocimiento disciplinar y son accesibles a estudiantes que generalmente no tienen entrenamiento en la lectura de textos científicos, tanto en español como en inglés.

En el tramo final de la materia *Inglés Técnico II*, les solicitamos a los estudiantes realizar un trabajo de cierre que supone la búsqueda, selección y lectura de un artículo de semi-divulgación de su interés. Hasta el año 2022, se les pedía escribir un informe a partir de la lectura del artículo, que debían entregar en formato digital. La escritura de este género académico resultaba algo tediosa para los estudiantes. Además, desde nuestra percepción, los informes no lograban reflejar completamente el nivel de comprensión de los estudiantes. A partir de estas inquietudes, en el año 2023 nos propusimos realizar un cambio innovador y optamos por solicitarles a los alumnos la producción de otro género, la infografía, que tiene valor instrumental no sólo en el ámbito académico y científico sino también en el ámbito laboral. Esta modificación en el trabajo final nos permitió añadir nuevos elementos para despertar la motivación de los estudiantes y, al mismo tiempo, utilizar un instrumento que refleje mejor la comprensión lectora de los alumnos.

Por todo lo argumentado hasta aquí, en este trabajo presentaremos una experiencia educativa innovadora en la materia *Inglés Técnico II* (Facultad de Ingeniería, UNRC), diseñada para fomentar y acompañar el desarrollo de la alfabetización académica y de nuevas alfabetizaciones en alumnos de ingeniería química e ingeniería mecánica.

Marco teórico

Tal como adelantamos en la introducción, la materia *Inglés Técnico II* se contextualiza en el área de Inglés con Fines Específicos (IFE). Originalmente una rama de enseñanza del inglés, IFE se ha consolidado como una disciplina académica de relevancia en el área de la Lingüística Aplicada y, más general, en la educación superior (Bruce y Ding, 2019; Ding, 2022; Ding y Bruce, 2017; Hyland, 2019; Hyland y Jiang, 2021). En el ámbito universitario, el objetivo de los cursos de IFE es entrenar a alumnos de las diferentes disciplinas en competencias comunicativas específicas, por ejemplo la lectura y la escritura, para desenvolverse en determinadas situaciones que requieren el uso de géneros específicos ya sea para el estudio en contextos académicos o para la comunicación en contextos profesionales (Dudley-Evans y St John, 1998; Johns y Swales, 2002; Hamp-Lyons, 2011; Hyland, 2006; Hyland y Hamp-Lyons, 2002). De este modo, se busca ayudar a grupos específicos de estudiantes a insertarse y participar en determinadas comunidades disciplinares a partir de diferentes prácticas comunicativas que requieren el uso estratégico del lenguaje (Anthony, 2018; Basturkmen, 2017; Belcher, 2009, 2013; Bond, 2020; Bruce, 2011; Ding y Bruce, 2017; Hamp-Lyons, 2011; Hyland, 2018, 2019, 2022; Hyland y Jiang, 2021; Paltridge y Starfield, 2011, 2017; Pérez-Llantada y Swales, 2017). La particularidad de Inglés con Fines Específicos es que tiene un vínculo muy estrecho con las disciplinas académicas que contextualizan los cursos de lectura y

escritura, en nuestro caso la ingeniería. Además de la especificidad disciplinar y el foco en habilidades comunicativas particulares, los cursos de IFE se centran en ciertos géneros con valor instrumental en contextos académicos y profesionales.

Entendemos por géneros los tipos específicos de textos, escritos u orales, que se manifiestan como eventos comunicativos estandarizados y que se crean en respuesta a actividades sociales rutinarias donde los miembros de una comunidad interactúan en contextos culturales específicos (Berkenkotter y Huckin, 1995; Bhatia, 1993, 2001, 2004; Miller, 1984; Swales, 1990). De este modo, no se definen como productos meramente lingüísticos sino como actividades retóricas socialmente contextualizadas que permiten regular la experiencia y darle significado. Cada género se distingue, como ya mencionamos, por tener propósitos comunicativos, emisores y receptores específicos. Esto, a su vez, determina las características lingüísticas de los géneros en los distintos niveles de textualización. Por otra parte, cada género demanda diferentes roles en los emisores y receptores, diferentes objetivos y diferentes procesos de lectura y escritura. Todo lo planteado tiene correspondencia con la concepción sociocultural de la alfabetización que presentamos en la introducción. Desde esta perspectiva, asumimos la alfabetización académica como una habilidad desarrollada en un proceso gradual que implica aprender a leer y escribir diferentes clases de texto y diversos temas en diferentes contextos (Carlino, 2005).

Las infografías para la comunicación del conocimiento científico

Las infografías son representaciones visuales que combinan texto con el uso de elementos gráficos para facilitar la transmisión de datos e información a la audiencia de forma más clara y accesible (Bhat y Alyahya, 2023). Estas representaciones visuales incluyen una variedad de elementos como gráficos de torta, de barra, histogramas, íconos demográficos, diagramas, mapas, flechas, entre otros, que ayudan a la visualización y comprensión del contenido escrito. Aunque su uso se popularizó en la era digital, las infografías tienen sus orígenes mucho antes de la llegada de las computadoras. Algunos autores sugieren que el primer uso de infografías en la literatura data del año 1600 en un libro de movimientos solares (Yildirim y Dolgunsön, 2023). También su origen se remonta a su uso en periódicos, donde algunos periodistas descubrieron que la presentación gráfica de datos captaba más la atención de los lectores y era más efectiva que el texto exclusivamente (Kate et al., 2023). A raíz de su implementación en medios impresos, investigadores de diversas disciplinas comenzaron a explorar el uso de infografías con fines científicos, concluyendo que, aunque las infografías pueden contener una mayor densidad de información, mejoran significativamente la experiencia de percepción del lector en comparación con la información exclusivamente textual (Locoro como se cita en Kate et al., 2023).

Con el objetivo de diseminar información y descubrimientos en los campos de la ciencia, la investigación y la educación, el uso de infografías ha tomado un rol preponderante. Estas herramientas visuales son cruciales para la presentación de datos con fines educativos (Bhat y Alyahya, 2023), especialmente en el área de la ingeniería ya que pueden ser utilizadas en contextos de divulgación en donde se transmite conocimiento disciplinar especializado. Según Almazova et al. (2019), en la formación de futuros ingenieros también se debería promover el uso de infografías ya que no sólo facilita la presentación de información de manera no verbal, sino que también promueve el desarrollo del pensamiento crítico, reduce las barreras lingüísticas en el aprendizaje de una lengua extranjera y aumenta la motivación en los procesos educativos. Además, el desarrollo de estas habilidades se alinea con las habilidades del siglo XXI y las competencias promovidas por CONFEDI, que incluyen la alfabetización científica, la alfabetización lingüística y comunicativa, y la alfabetización digital. Estas alfabetizaciones se ven reflejadas cuando los estudiantes producen sus propias infografías sobre temas de ingeniería. Al hacerlo, desarrollan habilidades científicas para analizar y simplificar información enfocada en los últimos avances ingenieriles, estructurar el mensaje y enfatizar los puntos clave según su comprensión de principios científicos y tecnológicos. Además, aplican habilidades lingüísticas y comunicativas al discernir entre información relevante e irrelevante, organizar la información en fragmentos manejables y combinar texto con elementos visuales. Por último, la creación de infografías implica el manejo de habilidades digitales como el uso de aplicaciones y software para el diseño y creación visual del contenido. Esta práctica

contribuye a una comunicación más efectiva del conocimiento y fortalece la formación integral como futuros profesionales.

En cuanto al contenido y diseño de las infografías, Yildirim y Dolgunsön (2023) sugieren que si bien su estructura puede ser flexible, existen parámetros o principios que indican si está organizada de manera eficiente. Según Siricharoen (como se cita en Yildirim y Dolgunsön, 2023), se espera que una infografía bien diseñada cuente una historia a sus lectores y atraiga su atención con títulos y elementos visuales bien estructurados. Yildirim y Dolgunsön proponen cuatro pasos para el diseño de infografías. Primero, se debe determinar el objetivo y el contexto en el que la infografía va a ser presentada. Es fundamental definir quién es la audiencia y sobre qué tema se va a exponer para comenzar el diseño. En segundo lugar, se debe decidir qué componentes se utilizarán. Para esta etapa, Kress y van Leeuwen (2021) presentan tres significados que deben considerarse en la creación de una infografía: visual, interpersonal, y textual. Esto implica construir visualmente el contexto y el tema, proporcionar recursos que permitan a la audiencia relacionarse con el mensaje del autor, y estructurar el texto para resaltar los elementos más importantes. La construcción de estos tres significados en esta segunda etapa de la creación de la infografía implica el desarrollo de las habilidades mencionadas en el párrafo anterior. En tercer lugar, se sugiere definir el tipo de infografía a presentar, teniendo en cuenta que las infografías pueden ser estadísticas, informacionales, de procesos, de línea de tiempo, comparativas, jerárquicas, entre otras. Por último, el cuarto paso implica que la presentación de la información debe unir el contexto y la audiencia, con los significados deseados y el diseño visual. Es importante aclarar que el éxito de una infografía no sólo depende de su contenido textual sino de la habilidad de los creadores para exhibir la información de manera estratégica, que pueden ser potencialmente mejoradas con la ayuda de aplicaciones digitales.

Con el uso de las aplicaciones digitales y los avances tecnológicos, Bhat y Alyahya (2023) argumentan que el potencial de las infografías en educación es ilimitado. Entre las aplicaciones más utilizadas en la actualidad se encuentra Canva, una plataforma de diseño gráfico que puede utilizarse tanto en computadoras como en teléfonos móviles. Canva permite la creación de una gran variedad de materiales gráficos y visuales que se pueden adaptar al contexto educativo. Una de las plantillas que ofrece la plataforma son infografías. Según Jamaludin y Sedek (2023), Canva proporciona una interfaz simple e intuitiva que facilita la creación de elementos visuales con fines educativos, al mismo tiempo que fomenta la creatividad y la colaboración. Además, los usuarios pueden trabajar en línea de manera sincrónica desde diferentes dispositivos en la misma infografía, una característica que impulsa el aprendizaje a través de proyectos colaborativos. En resumen, el uso de plataformas como Canva no sólo amplifica el potencial de las infografías en el ámbito educativo sino que también proporciona herramientas accesibles y eficientes para que los estudiantes creen representaciones visuales efectivas, facilitando así la comprensión de conceptos complejos y fomentando una colaboración enriquecedora en el proceso educativo.

Materiales y métodos

Nuestro enfoque pedagógico

Para nuestra experiencia educativa innovadora, nos basamos en la pedagogía de género, un enfoque muy pertinente para la enseñanza de las lenguas (Basturkmen y Elder, 2004; Berkenkotter y Huckin, 1995; Bhatia, 2008; Flowerdew, 2000; Johns, 1995, 2002; Swales, 1990). Fundamentamos la elección dado que asumimos la importancia de los géneros como instrumentos de acción en contextos sociales específicos y adherimos a una concepción sociocultural de la alfabetización que reconoce el carácter situado de la lectura y la escritura como prácticas sociales contextualizadas en situaciones de comunicación específicas. La enseñanza de lectura y escritura basada en los géneros nos permite acentuar la relación entre el sujeto y el contexto (Swales, 1990). Desde este enfoque, se integran la dimensión cognitiva y la dimensión social, haciendo hincapié en el desarrollo de otras estrategias que nos permiten considerar los contextos sociales donde se lleva a cabo la lectura y la escritura, los propósitos retóricos, los roles y las interacciones entre sujetos, y la manera en que los significados se construyen socialmente en diferentes contextos culturales,

como las comunidades discursivas de cada disciplina (Hyland, 2003, 2007; Johns, 1995). La metodología de enseñanza se orienta hacia la familiarización de los estudiantes sobre los rasgos prototípicos del artículo de semi-divulgación y la infografía, como así también la sensibilización acerca del contexto donde circulan dichos géneros y cobran sentido sus funciones y valores (Basturkmen y Elder, 2004; Berkenkotter y Huckin, 1995; Bhatia, 2008; Flowerdew, 2000; Johns, 1995, 2002; Swales, 1990). Se integran procesos de andamiaje combinados con el aprendizaje contextualizado in situ que fomenta la lectura y la escritura como actividades auténticas en la comunidad discursiva de la ingeniería, y la concientización sobre los distintos elementos que caracterizan a ambos géneros.

Los procedimientos pedagógicos que aplicamos en el aula consistieron en diversas acciones. En primer lugar, se fomenta en los alumnos la reflexión sobre sus propias prácticas de lectura como estudiantes universitarios de ingeniería. También, se introducen y sistematizan los artículos de semi-divulgación y las infografías como géneros académicos y científicos en una dinámica áulica 'docente-clase completa' en la cual los docentes presentan, explican y familiarizan a los estudiantes sobre las características de ambos géneros. Asimismo, se fomenta la participación de los estudiantes. Además, se reflexiona sobre los propósitos sociales del artículo de semi-divulgación y de la infografía en el ámbito académico-científico y en el ámbito laboral, atendiendo a la situación de comunicación que da origen a estos géneros. Se incentiva también la reflexión sobre el rol de estos géneros en los ámbitos académico-científico y profesional, y el rol que se debe asumir al leerlos y escribirlos. Por otro lado, se muestra la organización global de los artículos de semi-divulgación y las infografías, como así también la estructura esquemática de la información. Se destacan igualmente aspectos lingüísticos e icónicos que contribuyen a señalar la organización macro (títulos y subtítulos, gráficos y figuras, tipos y tamaños de letras, disposición de la información). Asimismo, se hacen notar y se identifican los aspectos léxico-gramaticales más relevantes que caracterizan a los artículos de semi-divulgación y a las infografías como géneros. Se reflexiona sobre la función del lenguaje para comunicar hechos, conceptos, propósitos retóricos, evaluación, y la organización del texto. En línea con esto, se lleva a cabo una lectura grupal de los textos mediada por los docentes. La dinámica es, en primer lugar, una interacción 'docente-clase completa' y, en segundo lugar, una metodología de trabajo entre los docentes y distintos grupos de estudiantes. Del mismo modo, se presentan de manera explícita y se utilizan distintas estrategias de sensibilización y familiarización sobre las diferentes características de los artículos de semi-divulgación y de las infografías. Se aplica la técnica pedagógica 'noticing' (darse cuenta) que promueve el reconocimiento y la identificación de diferentes elementos distintivos de los géneros. También, se fomentan espacios de interacción y trabajo grupal que propicien el debate. Se utilizan textos ejemplares para ilustrar ambos géneros. Por último, se fomenta la importancia de la lectura y la escritura independiente a partir de la práctica.

Nuestra experiencia innovadora

Como explicamos en la introducción, en *Inglés Técnico II* solicitamos un trabajo final que supone, en primera instancia, la búsqueda, selección y lectura de un artículo de semi-divulgación y, en segunda instancia, la escritura de un informe. El informe es un género académico que tiene valor funcional en el ámbito educativo, con una finalidad didáctica, producido por estudiantes y dirigido a docentes. Se trata de un género empleado para orientar el proceso de aprendizaje en la interacción docente-alumnos, como sucede con los libros de texto, los apuntes de cátedra, las presentaciones en powerpoint y las guías de estudio. Es decir, el informe tiene valor instrumental en una situación de comunicación entre docentes y alumnos. Dado que el informe se plantea más como una guía de estudio que como una actividad auténtica de escritura basada en lectura, nos surgió la inquietud de realizar ciertos ajustes en el diseño y la administración del trabajo final.

Tal como anticipamos en la introducción, pusimos en marcha nuestra experiencia innovadora en el año lectivo 2023. El principal cambio respecto de lo que tradicionalmente hacíamos en la materia fue solicitarles a los estudiantes la producción de una infografía, un género que se emplea tanto en el ámbito universitario, con propósitos académicos, como en el ámbito de trabajo, con fines laborales. Específicamente en nuestra experiencia, decidimos orientar la producción de infografías

hacia objetivos profesionales, al plantear actividades contextualizadas en ámbitos de trabajo para lograr objetivos laborales en ingeniería. De este modo, les propusimos un nuevo desafío a los estudiantes, esto es aprender a utilizar un nuevo género que, en situaciones comunicativas de trabajo, les permitirá desenvolverse de manera exitosamente pragmática.

Para lograr el objetivo de producir un género profesional, planteamos una situación hipotética que acontece en el ámbito industrial, donde se desempeñan profesionalmente la mayoría de los ingenieros: optimizar la producción en base a información bibliográfica sobre desarrollos científicos y tecnológicos, y realizar una presentación con apoyo visual para informarles a los operarios y al Jefe de Planta. Lo interesante de esta metodología es que los alumnos se posicionan en una situación comunicativa auténtica fuera de la universidad. Por el contrario, la escritura de géneros académicos, como el informe, si bien es una tarea valiosa con fines educativos, supone muy frecuentemente realizar actividades "para el docente". Así pues, proponerles a los estudiantes un nuevo contexto para la actividad de lectura y escritura representa un desafío, los aparta de su rol de alumnos universitarios y los motiva a posicionarse en su futuro rol como ingenieros que ya están ejerciendo la profesión en una industria. Asumir este nuevo rol los conduce a leer y escribir desde otra perspectiva. La actividad consistió en cuatro etapas principales: 1) búsqueda y selección de un artículo publicado en las revistas *Ingenia*, *Engineering* o *The Engineer*; 2) lectura del artículo; 3) diseño y elaboración de la infografía de acuerdo a una serie de pautas establecidas para orientar el trabajo tanto en el formato como en el contenido; 4) entrega final de la infografía en formato pdf a través de la plataforma Google Classroom.

Resultados y discusiones

A partir de la experiencia llevada a cabo en la asignatura de *Inglés Técnico II* con alumnos de Ingeniería Química e Ingeniería Mecánica de la UNRC, se obtuvieron 11 infografías creadas en grupos de dos alumnos o de manera individual. Cada trabajo final se basó en un artículo de semi-divulgación previamente seleccionado por los alumnos de acuerdo con sus intereses en diversas áreas de la ingeniería. Algunas de las áreas de innovación que surgieron de los artículos seleccionados fueron procesos productivos, mejoramiento de calidad, biotecnología, inteligencia artificial aplicada a la ingeniería automotriz, mecánica aeroespacial, y materiales sustentables.

Todas las infografías fueron creadas utilizando la aplicación Canva y eligiendo plantillas ofrecidas por la aplicación en su versión gratuita en la sección de infografías. El diseño de cada infografía así como las paletas de colores, organización visual de la información, y elementos gráficos incluidos, fueron variando de acuerdo al artículo que leyeron los estudiantes. Si bien existieron diferencias con respecto a la parte visual o gráfica, todas las infografías contaron con las secciones solicitadas de título, problema, solución o innovación, conclusiones, justificación de la selección del artículo y referencias (Ver Fig. 1). Para conservar el anonimato de los autores de cada infografía, sus nombres fueron eliminados colocando un recuadro blanco sobre ellos.

Todas las infografías contaron con el título del artículo en inglés y su interpretación en español. El resto de las secciones de la infografía fueron escritas en español promoviendo la interpretación de las distintas secciones del artículo de semi-divulgación en inglés con sus elementos lingüísticos característicos que habían sido trabajados durante el cursado de la materia. También los alumnos escribieron una sección de justificación de elección del artículo en la que surgieron reflexiones como la importancia de la temática del artículo de semi-divulgación y su impacto en el futuro, la necesidad de resolver problemas a través de la comprensión de un tema, su futuro trabajo en una planta industrial, la mejora continua de la comprensión de temas estudiados, la necesidad de entender cómo optimizar procesos de forma innovadora, y la identificación del deber como ingenieros de liderar iniciativas que optimicen recursos. A partir de estas reflexiones, entendemos que no sólo existió motivación personal en el proceso de selección y lectura de los artículos de semi-divulgación sino también desarrollo de pensamiento crítico y habilidades cognitivas.

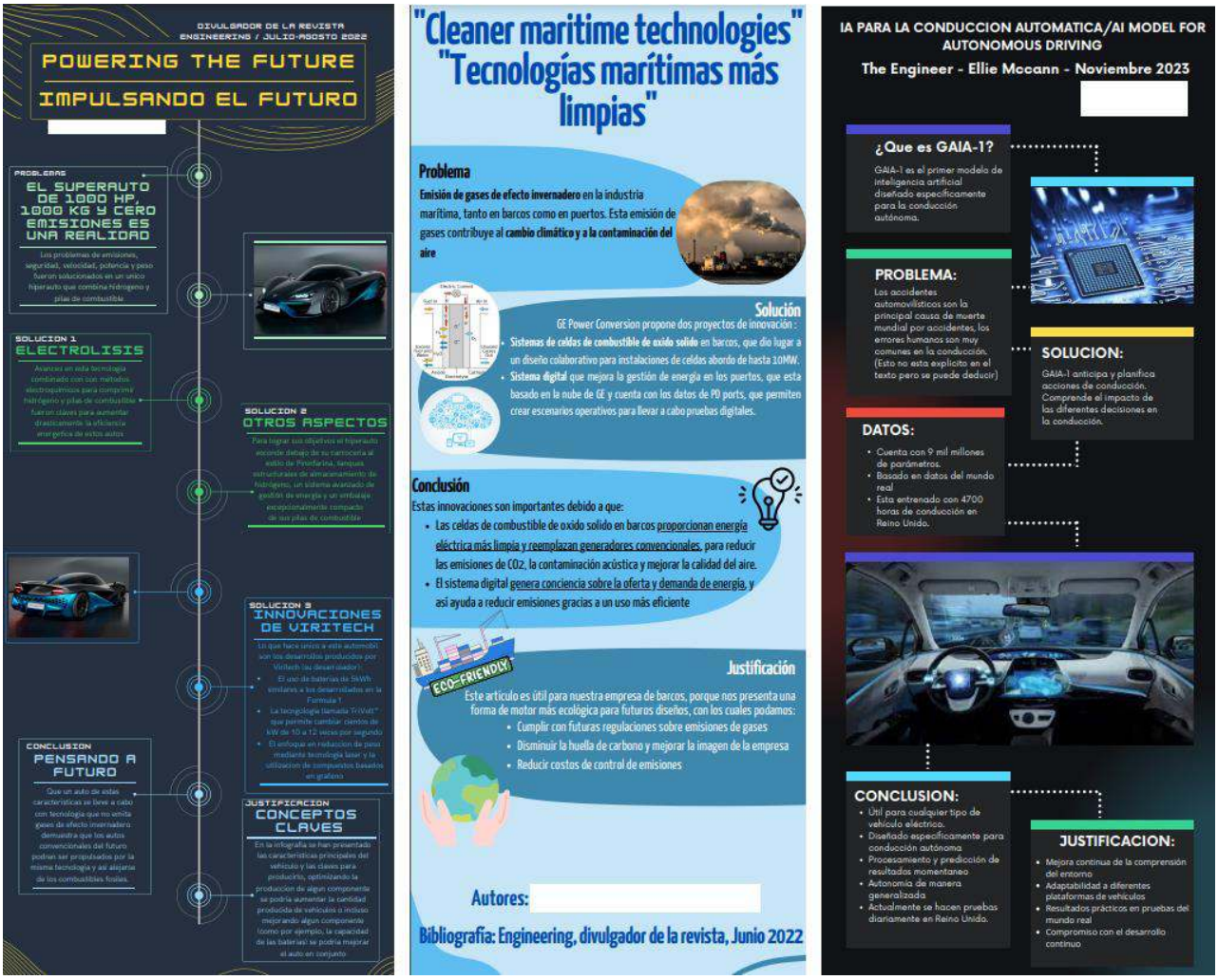


Fig. 1. Tres ejemplos de infografías producidas por alumnos en la asignatura Inglés Técnico II

Como se observa en la Figura 1, los estudiantes lograron asimilar el propósito comunicativo de las infografías, pudiendo convertir contenido altamente complejo (desarrollado en los artículos de semi-divulgación) en información fácilmente comprensible y de consumo rápido, para ser transmitida, hipotéticamente, a operarios de una industria. Debemos destacar, también, que los estudiantes manifestaron no tener inconvenientes para interactuar con la plataforma Canva y para aprender a usar las herramientas necesarias. Esto es importante, ya que de los 20 alumnos que asistieron a la materia, sólo dos habían utilizado Canva previamente a esta experiencia. Por otra parte, nos interesa señalar que los estudiantes pudieron responder a la actividad solicitada, siguiendo las instrucciones al trabajar bajo nuestra supervisión en el aula y de manera autónoma fuera del aula. Esto se evidenció tanto en las calificaciones (la mayoría obtuvo 10 y 9 como nota final) como en las apreciaciones personales que los alumnos fueron transmitiendo de manera espontánea. Asimismo, queremos mencionar que nuestras percepciones y observaciones en el aula a partir de la interacción con los alumnos fueron muy positivas.

En síntesis, el producto final obtenido resume el desarrollo de las competencias de alfabetización académica en torno a cuestiones de género, interpretación lingüística, estrategias de lectura, síntesis y escritura, como así también de nuevas alfabetizaciones a través del uso de aplicaciones tecnológicas. La actividad resultó interesante y desafiante para los estudiantes. Asimismo, las infografías que diseñaron reflejaron la práctica de alfabetización académica, de nuevas alfabetizaciones y de las competencias planteadas por el CONFEDI.

Conclusiones

Presentamos aquí el relato de una experiencia educativa innovadora que tuvo como objetivo introducir cambios en el diseño y la administración del trabajo final que los alumnos deben presentar hacia el final del cursado de la materia *Inglés Técnico II* (Facultad de Ingeniería, UNRC). Desde nuestra perspectiva, hemos logrado cambios que posibilitan la integración de la concientización genérica (familiarizar a los estudiantes sobre las características distintivas del artículo de semi-divulgación y de la infografía), el desarrollo de las competencias comunicativas de lectura y escritura para usar ambos géneros, y el desarrollo de nuevas alfabetizaciones vinculadas al uso de la tecnología para la comunicación de la ciencia. Esto, creemos, nos ha permitido generar un espacio para incentivar a los alumnos de ingeniería química e ingeniería mecánica.

Del mismo modo, a partir de las nuevas acciones pedagógicas hemos podido atender no sólo a la competencia genérica "comunicarse con efectividad" planteada por el CONFEDI (2018) para el perfil de egresado en ingeniería sino también a otras competencias genéricas sociales, políticas y actitudinales, como "desempeñarse de manera efectiva en equipos de trabajo" e, incluso, a la competencia genérica tecnológica "identificar, formular y resolver problemas de ingeniería". Estos logros demuestran que los cursos de Inglés con Fines Específicos son frecuentemente el único apoyo sistematizado que tienen los estudiantes universitarios para comprender el lenguaje y su relación con las prácticas disciplinares (Hyland, 2018). En este sentido, sostenemos que nuestras asignaturas son importantes espacios curriculares para la enseñanza explícita de la lectura y la escritura, y así contribuir al proceso de alfabetización académica de los estudiantes.

A modo de proyección, nos proponemos continuar con esta modalidad de trabajo, potenciando sus ventajas e incorporando, también, algunos ajustes con el objetivo de mejorar la actividad. Creemos necesario administrar una encuesta para que los alumnos informen sobre su experiencia en el proceso de elaboración del trabajo final. La encuesta nos permitirá, por un lado, recoger feedback sistematizado de los estudiantes sobre la metodología empleada y, por otro lado, añadir aspectos referidos a su metacognición, percepciones y emociones. También proyectamos solicitarles a los estudiantes realizar las presentaciones orales a los operarios con el apoyo visual de las infografías, actividad que se plantea en las consignas como situación hipotética. Las exposiciones orales promoverán el desarrollo de la oralidad, una habilidad comunicativa muy importante, para enriquecer aún más la experiencia educativa y promover otras competencias. Para finalizar, esperamos que las ideas de nuestra experiencia docente accionen futuras iniciativas y puedan multiplicarse en otros espacios curriculares no sólo en la Facultad de Ingeniería de la UNRC sino también en otras carreras y universidades.

Referencias

Almazova, N., Rubtsova, A., Radchenko, Y., y Barinova, D. (2019). Infographics in engineering education: Methods of professional communicative context development. The European Proceedings of Social y Behavioural Sciences: 19th PCSF 2019 Professional Culture of the Specialist of the Future (pp. 372-382). Future Academy. https://doi.org/10.15405/epsbs.2019.12.40

Anthony, L. (2018). Introducing English for specific purposes. Routledge.

Barton, D. (2005). Researching literacy practices. Learning from activities with teachers and students. En Barton, D., Hamilton, M., e Ivanic, R. (Eds.), Situated literacies. Reading and writing in context (pp. 165-176). Routledge.

Barton, D. y Hamilton, M. (2005). Literacy practices. En Barton, D., Hamilton, M., e Ivanic, R. (Eds.), Situated literacies. Reading and writing in context (pp. 7-14). Routledge.

Basturkmen, H. (2017). ESP teacher education needs. Language Teaching, 1-13.

Basturkmen, H., y Elder, C. (2004). The practice of LSP. En A. Davies, y C. Elder (Eds.), The handbook of applied linguistics (pp. 673-694). Blackwell.

Belcher, D. (2004). Trends in teaching English for specific purposes. Annual Review of Applied Linguistics, 24, 165-186.

Belcher, D. (2009). What ESP is and can be: an introduction. En D. Belcher (Ed.), English for specific purposes in theory and practice (pp. 1-20). University of Michigan Press.

Belcher, D. (2013). The future of ESP research: resources for access and choice. En B. Paltridge y S. Starfield (Eds.), Handbook of English for specific purposes (pp. 535-551). Wiley.

Berkenkotter, C., y Huckin, T. (1995). Rethinking genre from a sociocognitive perspective. En Genre knowledge in disciplinary communication. Cognition/ culture/ power (pp. 1-25). Lawrence Erlbaum.

Bhat, S. A., y Alyahya, S. (2024). Infographics in educational settings: A literature review. IEEE Access, 12, 1633-1649. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.334808340

Bhatia, V. (1993). Analyzing genre: language use in professional settings. Essex: Longman.

Bhatia, V. (2001). Analysing genre: some conceptual issues. En S. M. Hewing (Ed.), Academic writing in context (pp. 79-92). University of Birmingham Press.

Bhatia, V. (2004). Worlds of written discourse: A genre-based view. Continuum.

Bhatia, V. (2008). Lenguas con propósitos específicos: perspectivas cambiantes y nuevos desafíos. Revista Signos, 41(67), 157-176.

Bond, B. (2020). Making language visible in the university. English for academic purposes and internationalisation. Multilingual Matters.

Bruce, I y Ding, A. (2019). Countering commodification in EAP: the need to explore, innovate and transform. BALEAP Conference 2019: Innovation, Exploration and Transformation.

Bruce, I. (2011). Theory and concepts of English for academic purposes. Palgrave-Macmillan.

Carlino, P. (2005). Escribir, leer y aprender en la universidad. Una introducción a la alfabetización académica. Fondo de Cultura Económica.

Cassany, D. (2006). Leer desde la comunidad. En Tras las líneas. Sobre la lectura contemporánea (pp. 21-43). Anagrama.

Cassany, D. y Morales O. A. (2008). Leer y escribir en la universidad: hacia la lectura y la escritura crítica de géneros científicos. Revista Memoralia, 5, pp. 69-82.

Ciapuscio, G. (2003). Formulation and reformulation procedures in verbal interactions between experts and (semi-) laypersons. Discourse Studies, 5(2), 207-233.

Ciapuscio, G., y Kuguel, I. (2002). Hacia una tipología del discurso especializado: aspectos teóricos y aplicados. En J. García Palacios, y M. T. Fuentes (Eds.), Entre la terminología, el texto y la traducción (pp. 37-73). Almar.

CONFEDI (2018). Propuesta de estándares de segunda generación para la acreditación de carreras de ingeniería en la República Argentina. Universidad FASTA Ediciones.

Ding, A. (2022). Bourdieu and field analysis: EAP and its practitioners. En A. Ding y M. Evans (Eds.), Social theory for English for Academic Purposes (pp. 155-175). Bloomsbury.

Ding, A., y Bruce, I. (2017). The English for academic purposes practitioner. Operating on the edge of the academia. Palgrave-Macmillan.

Dudley-Evans, T., y St John, M. (1998). Developments in English for specific purposes. A multi-disciplinary approach. Cambridge University Press.

Flowerdew, J. (2000). Discourse community, legitimate peripheral participation, and the nonnative-English-speaking scholar. TESOL Quarterly, 34(1), 127-150.

Gallardo, S. (1998). Estrategias y procedimientos de reformulación en textos de Divulgación Científica. Revista de la Sociedad Argentina de Lingüística, 1, 67-79.

Gee, J. (2005). The new literacy studies. From 'socially situated' to the work of the social. En Barton, D., Hamilton, M., e Ivanic, R. (Eds.), Situated literacies. Reading and writing in context (pp. 177-193). Routledge.

Gee, J. (2015). The new literacy studies. En Rowsell, J. y Pahl, K. (Eds.), The Routledge handbook of literacy studies (pp. 35-48). Routledge.

Hamp-Lyons, L. (2011). English for academic purposes. En E. Hinkel (Ed.), Handbook of research in second language teaching and learning (pp. 89-105). Routledge.

Hutchinson, T., y Waters, A. (1987). English for specific purposes. A learning-centered approach. Cambridge University Press.

Hyland, K. (2002). Specificity revisited: how far should we go now? English for Specific Purposes, 21(4), 385-395.

Hyland, K. (2003). Genre-based pedagogies: A social response to process. Journal of Second Language Writing, 12, pp. 17-29.

Hyland, K. (2006). English for academic purposes. An advanced resource book. Routledge.

Hyland, K. (2007). Genre pedagogy: language, literacy and L2 language instruction. Journal of Second Language Writing, 16, pp. 148-164.

Hyland, K. (2018). Sympathy for the devil? A defence of EAP. Language Teaching, 51(3), 383-399.

Hyland, K. (2019). English for specific purposes: some influences and impacts. En X. Gao (Ed.), Second handbook of English language teaching (pp. 337-353). Springer.

Hyland, K. (2022). English for specific purposes: what is it and where is it taking us? ESP Today, 10(2), 202-220.

Hyland, K., y Hamp-Lyons, L. (2002). EAP: issues and directions. Journal of English for Academic Purposes, 1(1), 1-12.

Hyland, K., y Jiang, F. (2021). Delivering relevance: The emergence of ESP as a discipline. English for Specific Purposes, 64, 13-25.

Ivanic, R. (2009). Bringing literacy studies into research on learning across the curriculum. En Baynham, M. y Prinsloo, M. (Eds.), The future of literacy studies (pp. 100-121). Palgrave Macmillan.

Jamaludin, N. F., y Sedek, S. F. (2023). Canva as a digital tool for effective student learning experience. Journal of Advanced Research in Computing and Applications, 33(1), 22-33.
Johns, A. M. (1995). Genre and pedagogical purposes. Journal of Second Language Writing, 4(2), 181-190.

Johns, A. M. (2002). Introduction: genre in the classroom. En A. M. Johns (Ed.), Genres in the classroom. Multiple perspectives (pp. 3-13). Mahwah: Lawrence Erlbaum.

Johns, A. M., y Swales, J. (2002). Literacy and disciplinary practices: opening and closing perspectives. Journal of English for Academic Purposes, 1(1), 13-28.

Kates, F. R., III, Hamadi, H., Ellison, C., Larson, S. A., y Romero, R. (2023). Examining the impact of student-created infographics on understanding, engagement, and creativity. Journal of Education and Learning, 12(1), 54-67. https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1407658.pdf

Kress, G., y van Leeuwen, T. (2021). Reading images: The grammar of visual design (3rd ed.). Routledge.

Kucer, S. (2014). Dimensions of literacy. A conceptual base for teaching reading and writing in school settings (4ta ed.). Routledge.

Martínez, I. (2011). Capitalizing on the advantages of the Latin American EAP situation: using authentic and specific materials in EAP writing instruction. Iberica, 21, 31-48.

Mateos, M. (2009). Aprender a leer textos académicos: más allá de la lectura reproductiva. En Pozo, J. I. y Pérez Echeverría, M. P. (Eds.), Psicología del aprendizaje universitario: la formación en competencias (pp. 106-119). Ediciones Morata.

Miller, C. (1984). Genre as social action. Quarterly Journal of Speech, 70, 151-167.

Moreno, A., Rey-Rocha, J., Burgess, S., López-Navarro I., y Sachdev, I. (2012). Spanish researchers' perceived difficulty writing research articles for English-medium journals: the impact of proficiency in English versus publication experience. Iberica, 24, 157-184.

Muñoz, V. L. (2015). The vocabulary of agriculture semi-popularization articles in English: A corpus-based study. English for Specific Purposes, 39, 26-44.

Paltridge, B., y Starfield, S. (2011). Research in English for specific purposes. En E. Hinkel (Ed.), Handbook of research in second language teaching and learning (Vol. II, pp. 106-121). Routledge.

Paltridge, B., y Starfield, S. (2017). English for Specific Purposes. En E. Hinkel (Ed.), Handbook of research in second language teaching and learning (Vol. III, pp. 56-67). Routledge.

Pérez-Llantada, C., y Swales, J. (2017). English for academic purposes. En E. Hinkel (Ed.), Handbook of research in second language teaching and learning (Vol. III, pp. 42- 55). Routledge.

Rueda, R. (2011). Cultural perspectives in reading. Theory and research. En Kamil, M., Pearson, P., Birr Moje, E., y Afflerbach, P. (Eds.), Handbook of reading research (Vol. IV, pp. 84-103). Routledge.

Swales, J. M. (1990). Genre Analysis. English in academic and research settings. Cambridge University Press.

Yildirim, G., y Dolgunsön, E. (2023). A brief introduction to infographics use in ELT research and practice. En A. Kabadayi, Researches in Education (pp. 1-18). Livre de Lyon.

EXPERIENCIAS DE APLICACIÓN DE ULTRASONIDO EN LA ASIGNATURA CIENCIA DE LOS MATERIALES

Yamile Aon[1], Nicolás Bertoneri[1], Diego M. Ferreyra[2], Vanina A. Guntero[1]

[1]Productos Naturales y Materiales (ProNaM), Facultad Regional San Francisco, Universidad Tecnológica Nacional, Av. de la Universidad 501, X2400, San Francisco, Córdoba, Argentina
[2]Cálculo e Investigación, Desarrollo y Ensayo de Máquinas Eléctricas (CIDEME), Facultad Regional San Francisco, Universidad Tecnológica Nacional, Av. de la Universidad 501, X2400, San Francisco, Córdoba, Argentina
vaniguntero@gmail.com

Resumen

El 5 de marzo de 2020, la Universidad Tecnológica Nacional aprobó en el Consejo Superior la Ordenanza nro. 1753, en la cual se establecieron los Lineamientos Generales para los Nuevos Diseños Curriculares de Ingeniería, con el objetivo de incorporar un nuevo enfoque sobre las actividades reservadas y los alcances del título. En la carrera de Ingeniería Industrial, específicamente en la asignatura Ciencia de los Materiales que corresponde al 2 ° año de cursado, una de las competencias específicas es la de dirigir, gestionar, optimizar, controlar y mantener las operaciones, procesos e instalaciones requeridas para la producción, distribución y comercialización de productos (CE 2.1). De manera que, se plantea trabajar la CE 2.1 mencionada, en el eje temático de Ensayos Destructivos (ED) y No Destructivos (END). Dichos ensayos permiten detectar defectos en materiales, siendo el método de ultrasonido un ensayo END aplicado en líneas de producción industriales. Primeramente, se les explicó a los estudiantes el contenido teórico y se les entregó la rúbrica con la cual serían evaluados. Luego se les propuso la actividad con el equipo de ultrasonido, la cual incluyó realizar mediciones de espesores de diferentes piezas, detectar piezas no viables de medir, interpretar resultados y entregar informes. Se evidenció el desarrollo de las competencias específicas requeridas, visualizando de forma directa y exitosa la calibración del equipo, las mediciones de piezas, los problemas detectados en la práctica que pueden surgir y los resultados obtenidos. El enfoque integrador de este trabajo fortaleció la comprensión teórica del estudiante y, además, le brindó habilidades prácticas. Los resultados mostraron la capacidad de los estudiantes para realizar procesos de control de piezas y el desarrollo de criterios propios, cumpliendo así con el objetivo general del trabajo.

Palabras Clave: Ultrasonido, Ensayos No Destructivos, Competencias Específicas.

Introducción

A principios de 2005, el Consejo Federal de Decanos de Ingeniería (CONFEDI) concluyó que “Hay consenso en cuanto que el ingeniero no sólo debe saber, sino también saber hacer. El saber hacer no surge de la mera adquisición de conocimientos, sino que es el resultado de la puesta en funciones de una compleja estructura de conocimientos, habilidades, destrezas, entre otras cosas, que requiere ser reconocida expresamente en el proceso de aprendizaje para que la propuesta pedagógica incluya las actividades que permitan su desarrollo”(CONFEDI, 2018).

Desde la asignatura Ciencia de los Materiales se implementa el diseño curricular de la carrera Ingeniería Industrial, realizando de forma continua adecuaciones a su estructura para dar cumplimiento a los estándares de segunda generación que rigen la acreditación de carreras de ingeniería en la República Argentina.

Teniendo presente que el diseño curricular se define como “Un proceso de toma de decisiones para la elaboración o ajuste del currículo, previo a su desarrollo, que configure flexiblemente el espacio donde se pondrá en práctica, mediante un proceso de enseñanza y aprendizaje del cual el proyecto curricular es su visión anticipada” (Clara Tovar & Sarmiento, 2011), es que, desde la cátedra surgió la propuesta de elaborar una clase de Ensayos No Destructivos con práctica en el uso del equipo de ultrasonido que tenga como eje alcanzar las competencias específicas de dirigir, gestionar, optimizar, controlar y mantener las operaciones, procesos e instalaciones requeridas para la producción, distribución y comercialización de productos (CE 2.1).

Se sabe que la planificación cuidadosa de los contenidos y la integración de diversas metodologías garantizan una experiencia educativa efectiva en los estudiantes (Morales Londono & Tejada Fernández, 2024). Diferentes generaciones de estudiantes van requiriendo nuevas estrategias didácticas por lo que se busca plantear nuevas estrategias orientadas a impulsar su participación activa. Por ello, se estableció un marco de referencia teórico claro que incluyó objetivos, contenidos y criterios de evaluación, de manera de orientar a los estudiantes durante el proceso de enseñanza y aprendizaje. Ese marco teórico fue subido al entorno virtual de aprendizaje (EVA) que tiene como función mediar la relación entre el contenido, el docente y el estudiante. Dicho entorno corresponde a un espacio web en el que los docentes pueden incluir recursos digitales para los estudiantes presentando especial relevancia en los procesos de educación y formación (Sánchez et al., 2010).

La primera parte de la clase incluyó brindarles el contenido teórico, donde se transmite el conocimiento dando fundamentos, usos y metodologías. La segunda parte de la clase, de carácter práctico, se realizó en el aula, donde se aplicaron los conceptos desarrollados en la clase expositiva. Esta consistió en resolver un trabajo práctico que solicitaba identificar defectos en piezas mediante el uso del equipo de ultrasonido. La tercera parte consistió en la entrega de un informe escrito. Durante todo el proceso, se planteó una evaluación formativa orientada a retroalimentar al estudiante de forma constante para garantizar el aprendizaje, la cual tuvo seguimiento a través de rúbricas con el objeto de que los estudiantes conozcan con anticipación los puntos por evaluar y sepan cómo se valorará su desempeño.

2. Materiales y métodos

En esta sección, se detalla cómo se pensó y diagramó desde la asignatura la propuesta pedagógica, cómo se llevó a cabo en el aula, y la forma en que se recolectó y procesó la información obtenida de los estudiantes.

2.1 Materiales: aula de actividad curricular con proyector y equipo de sonido; 3 grupos de piezas metálicas de variada geometría, con defectos estructurales evidentes; calibres manuales; equipo de medición por ultrasonido SIUI CTS-9005 calibrado previamente por equipo docente (Figura 1) (SIUI, n.d.); sonda SIUI P2.5-20L específica para el uso en equipo de medición; impresiones de los trabajos prácticos por desarrollar que incluyen rúbrica de la actividad y hojas de registro de datos obtenidos, especificando para cada grupo las piezas por ensayar y las cotas por medir (material para los estudiantes); hojas de evaluación para el equipo docente.

Fig. 1: Equipo de medición por ultrasonido SIUI CTS-9005

2.2 Diseño y organización de las clases

Un miembro del equipo docente se capacitó en el uso del equipo de mediciones por ultrasonido en el Centro Atómico Constituyentes (CAC). El CAC es un centro de investigación y desarrollo argentino donde se realizan actividades relacionadas con la tecnología nuclear y está ubicado en la provincia de Buenos Aires, Argentina (https://www.argentina.gob.ar/cnea/cac). De forma sinérgica, los miembros del equipo docente diseñaron la clase teórica, la clase práctica y las rúbricas evaluativas. Para la clase práctica, se les solicitó a los estudiantes que formaran equipos de trabajo de no más de 4 miembros, de manera de asegurar que todos los integrantes realizaran las actividades planteadas.

Así, la clase se organizó en dos secciones presenciales diferenciadas entre sí, culminando con una entrega de informes por grupo a los 15 días de realizada la actividad. Previo a la primera instancia, se les subió al aula virtual todo el material; la presentación teórica, las consignas del trabajo práctico y las rúbricas evaluativas.

La primera sección se basó en una clase expositiva, donde se brindó información general sobre los ensayos por ultrasonido y se detalló su metodología, explicando las particularidades del equipo de medición, las complicaciones y limitaciones que pueden presentarse y los casos prácticos de aplicación (AEND, 2006).

En la segunda sección, cada estudiante, formando parte de un equipo de trabajo, empleó las distintas herramientas presentadas para la actividad, con la consigna de registrar dicha actividad tanto por escrito como mediante imágenes. En esta sección, el equipo docente guio y evaluó el desempeño de los estudiantes durante la jornada.

A modo de cierre para cada grupo de estudiantes, se les solicitó un informe escrito con pautas específicas de formato y entrega, en el cual debían evidenciar las actividades realizadas y las conclusiones propias alcanzadas. Estos informes se tenían que subir al EVA y fueron evaluados por parte del equipo docente, siendo otorgado a cada grupo una devolución de sus resultados. Se analizaron no sólo el formato presentado, sino también, el uso de lenguaje técnico específico de la temática y la calidad de las conclusiones alcanzadas.

2.3 Diseño de la rúbrica y material de evaluación

El diseño de la rúbrica se basó en la selección de tres criterios de evaluación y cuatro niveles de desempeño. En cuanto a los criterios, se determinaron los siguientes: a) aplicación de la metodología de ensayo por ultrasonido, b) capacidad para analizar los resultados, c) claridad en el

trabajo en grupo y delegación de tareas. Los niveles de desempeño fueron: bajo, aceptable, bueno, excelente.

El material de evaluación constó de una planilla con la numeración de los grupos y los tres criterios y niveles por evaluar.

La evaluación se realizó sobre la producción escrita de los estudiantes y la capacidad de respuesta manifestada durante el desarrollo de la actividad áulica. Cada miembro del equipo docente contó con su hoja de evaluación en la cual fue registrando lo observado, que luego sería usado para realizar un análisis en conjunto a posteriori de la actividad realizada.

2.4 Análisis de informes y devolución

En función de lo registrado en las rúbricas previamente establecidas y los informes entregados por los estudiantes, el equipo docente contrastó ambas partes generando retroalimentaciones específicas para cada grupo según su desempeño. Este proceso no se limitó a la evaluación de lo escrito por los estudiantes, sino que también se consideró la capacidad de respuesta evidenciada durante la parte práctica de la primera sección del estudio.

3. Resultados y discusión

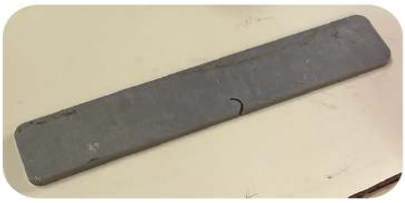
Los estudiantes desarrollaron las tareas propuestas de forma autónoma, requiriendo poca asistencia de los docentes. Cada equipo elaboró y entregó el informe final en el EVA en la fecha establecida. En los informes se analizó la producción escrita en la cual la mayoría de los grupos se han expresado con propiedad, también se analizaron los resultados alcanzados evidenciando comprensión en la metodología de trabajo. Ambos análisis se realizaron según la rúbrica evaluativa.

Entre los hallazgos relevantes obtenidos tras la evaluación de los trabajos prácticos se encuentran los siguientes. En el grupo nro.°1 se observó una excelente capacidad de análisis de resultados y una interpretación correcta de relación entre la superficie a medir y el tamaño del palpador (Figura 2).

Como última pieza medimos un rectángulo largo de poco espesor.

Al igual que con las otras dos piezas, analizamos las medidas que podríamos tomar de esta.

Dada la geometría del objeto, con el equipo de ultrasonido no nos fue posible tomar la medición de ningún lado del elemento porque, tanto como la altura y el ancho tenían un espesor muy chico en comparación del palpador, y no podíamos apoyar completamente el instrumento en la superficie a medir. Esto generaría que quedara aire a los costados y por lo tanto equipo nos arrojaría resultados erróneos.



Rectángulo largo de poco espesor

Fig. 2: Evidencia del grupo nro°1.

Respecto al grupo nro°2, en el momento de la medición requirió de la guía de los docentes. Mientras que, en la presentación del informe se observó una madurez en el análisis de los resultados, alcanzando excelentes resultados. En las figuras 3 y 4 se observan algunas de las evidencias de lo expresado.

ALTURA	En este caso, no se pudo obtener una medición certera de ninguna dimensión debido a que la pieza es más angosta que el palpador en su ancho y cara; también presenta una discontinuidad, lo que interfiere con la medición de su altura
ANCHO	
CARA	

Fig. 3: Evidencia del grupo nro°2.

Además, pudimos observar, que, al momento de medir una pieza, en la cual alguna de sus dimensiones presenta imperfecciones o la medida de la misma sea menor al diámetro del palpador, debemos elegir el que mejor se adapte para evitar que la onda salga de la superficie y se disperse, debido a que esto generaría ruido en la medición y deberíamos descartar ese ensayo.

Fig. 4: Producción escrita extraída del grupo nro°2.

En cuanto al grupo nro°3, si bien en el momento de la medición, este grupo también requirió de la guía de los docentes, en la presentación del informe se observó una madurez en el análisis de los resultados, alcanzando excelentes resultados. Detalles del trabajo presentado pueden verse en la figura 5.

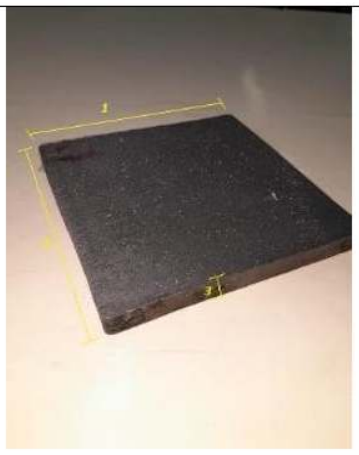
PIEZA	DETALLE DE MEDICIÓN	RESULTADO MEDICIÓN CON ULTRASONIDO	RESULTADO MEDICIÓN CON CALIBRE	OBSERVACIONES
		No se pudo realizar la medición con ultrasonido.	Espesor: 11,6mm. Ancho: 122,3mm. Largo: 120,8mm.	En esta pieza, no es posible obtener mediciones que el equipo de ultrasonido, debido al tipo de palpador que estamos utilizando y a las características del objeto a medir. Para obtener un resultado de ultrasonido en relación a dicha pieza, deberíamos tener un palpador menor al utilizado y a su vez uno de menor frecuencia.

Fig. 5: Evidencia tomada del grupo nro°3.

Del grupo nro°8 puede decirse que trabajó organizado, independiente y aplicando de forma satisfactoria la metodología propuesta. Se observó una capacidad de análisis e interpretación de los resultados obtenidos en el momento y criterio para definir cuando fue posible o no aplicar el ensayo. En la figura 6 puede observarse un extracto de lo presentado por los estudiantes.

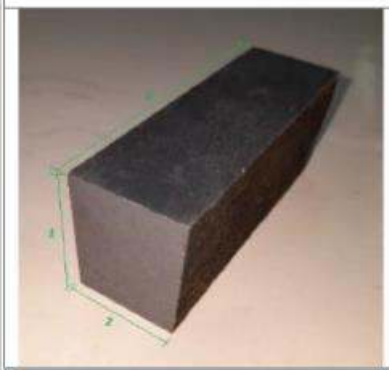
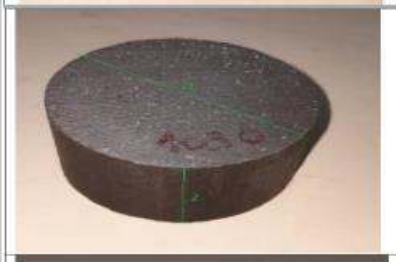
PIEZA	DETALLES DE MEDICIÓN	RESULTADO MEDICIÓN CON ULTRASONIDO	RESULTADO MEDICIÓN CON CALIBRE	OBSERVACIONES
	1 2 3	52,4 mm 37,04 mm 109,95 mm	53,4 mm 37,8 mm 111 mm	La pieza pudo palparse fácilmente sobre las superficies lisas y evitando cierta parte irregular, que habría desviado los resultados al tratarse de otro material y de no ser una superficie plana.
	1 2	---------- 29,2 mm	63,6 mm 29,2 mm	No se pudo medir el diámetro (1) ya que el palpador no cubre bien la superficie doblada. El aire que queda entre el material y el palpador genera ruido en la gráfica, dificultando la obtención de un resultado aceptable.

Fig. 6: Evidencia del grupo de trabajo nro°8.

En cuanto al grupo nro°9, si bien presentaron dificultades en la organización del trabajo desarrollado, los estudiantes demostraron una adecuada apreciación de las limitaciones del método empleado. Esto puede observarse en la tabla tomada de su trabajo entregado la cual se encuentra como figura 7.

	1	64,2 mm	65,2 mm	Para la medición 2 sería de utilidad un palpador angular ya que no es una superficie recta, sino que contiene cierto ángulo. En las mediciones 1 y 3 fue necesario modificar, para cada una, el retardo, rango, ganancia y supresión para una lectura más clara de los ecos.
	2	No es posible	38,1 mm	
	3	25 mm	26,1 mm	

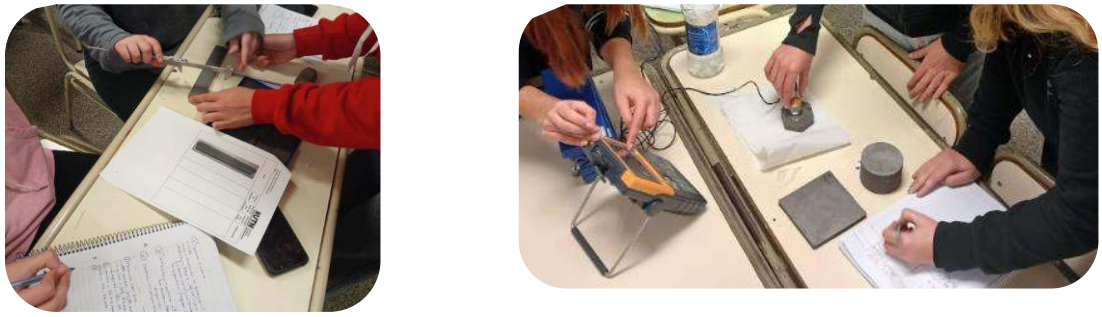
Figura 7: Evidencia tomada del grupo nro°9.

De acuerdo con esto, los resultados obtenidos son altamente motivadores ante la demostración por parte de los estudiantes de la comprensión teórica y de la forma óptima con la que se desempeñaron tanto en el momento de la práctica como en los informes entregados. Si bien existieron grupos en los que el desempeño áulico no alcanzó la excelencia o necesitaron acompañamiento docente con la metodología, todos pudieron desarrollar las actividades propuestas con éxito. En cuanto a los informes presentados, en su mayoría se desarrollaron conceptualmente bien, aunque el lenguaje técnico es un tema sensible que debería mejorarse. En estos escritos se pueden destacar muchos aspectos positivos que denotan el éxito del planteamiento didáctico de la clase ya que demuestran el aprendizaje concreto de los estudiantes en el momento.

Se evidenció también la aplicación del tema mediciones con calibre desarrollado en la asignatura Física I, lo que les permitió tener una base de conocimiento sobre el cual construir la aplicación de la nueva metodología (Figura 8).

Los resultados obtenidos fueron los esperados por el equipo docente en cuanto a las limitaciones del equipo de medición empleado, demostrando que los estudiantes comprendieron los conceptos vertidos durante la clase expositiva pudiendo manipular de forma correcta el equipo de ultrasonido.

Esta dinámica fomentada durante la clase práctica permitió fortalecer el proceso de enseñanza y aprendizaje, ya que no solo se instó a los estudiantes a emplear ellos mismos el equipo en un ámbito seguro, sino que además les permitió interactuar entre ellos tras cada medición realizada, construyendo los conceptos necesarios para comprender si cada una era acertada o no.



(a) (b)

Fig. 8: Estudiantes tomando medición de piezas con a) calibre, b) ultrasonido

4. Conclusiones

Desde la asignatura Ciencia de los Materiales, se propuso una nueva forma de enseñanza del ensayo no destructivo de ultrasonido. El enfoque integrador, combinando la teoría con la práctica y adecuado al nuevo diseño curricular, demostró que las clases planteadas de esta manera permitieron generarle al estudiante curiosidad lo que se evidenció con la atención manifestada y las preguntas realizadas. La clase fue dinámica y los sacó del contexto tradicional, permitiéndoles ser artífices de su propio aprendizaje. Pudo evidenciarse el cumplimiento de las competencias específicas establecidas en el diseño de curricular y en la planificación de clases. Los diferentes grupos mostraron variabilidades en cuanto al desarrollo de las tareas cómo en el uso del lenguaje técnico empleado.

Desde la asignatura se plantea como desafío para el año siguiente afianzar el uso de las herramientas disponibles, así como reforzar el uso del lenguaje técnico específico de la carrera.

Agradecimientos

Se agradece a la Secretaría de Extensión y Cultura, y a la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional San Francisco por el financiamiento otorgado para la capacitación en Ensayos No Destructivos – Ultrasonido.

Referencias

Asociación Española de Ensayos No Destructivos, (2006). Ensayos no destructivos-ultrasonidos. Recuperado de https://www.aend.org/buscador.php

Clara Tovar, M., and Sarmiento, P. (2011). El diseño curricular, una responsabilidad compartida. *Colombia Médica*, Vol. 42 (4), pp 508:17.

Comisión Nacional de Energía Atómica. Centro Atómico Constituyentes (CAC). Gobierno de Argentina. Recuperado de https://www.argentina.gob.ar/cnea/cac.

Consejo Federal de Decanos de Ingeniería CONFEDI. (2018). Propuesta de estándar de segunda generación para la acreditación de carreras de ingeniería “libro rojo de confedi.” Recuperado de www.confedi.org.ar.

Morales Londono, N., and Tejada Fernández, J. (2024). Claves para el diseño de un currículo didáctico gamificado en los estudios de ingeniería. Revista Educación En Ingeniería, volumen 19 (38), pp 1:11. https://doi.org/10.26507/rei.v19n38.1312

Sánchez, A. B. and Salvador, C. C. (2010). Los entornos virtuales como espacios de enseñanza y aprendizaje. Revista Mexicana de Investigación Educativa, Vol. 15 (44), pp 163-184.

Shantou Institute of Ultrasonic Instruments Co. Ltd., SIUI. SIUI-CTS-9005. Recuperado de: https://www.ndt.com.au/product/siui-cts-9005-digital-ultrasonic-flaw-detector/

ARQUITECTURA ADAPTATIVA EN ZONAS RIBEREÑAS: SOLUCIONES PARA LA HABITABILIDAD SOSTENIBLE EN REGIONES FLUVIALES.

Carmen Cassano[1], Magalí S. Londero[2], Arturo M. Cassano[2]
[1]Arquitectura 2B, FAUD, Universidad Nacional de Córdoba, Av. Haya de la Torre s/n, Ciudad Universitaria, Córdoba Capital, Córdoba.
[2]Departamento de Ing. Civil, FRP, Universidad Tecnológica Nacional, Almafuerte 1033, Paraná, Entre Ríos.
E-mail de contacto principal: carmencassanow@gmail.com

Resumen

Los cambios morfológicos de la ribera del Paraná, influenciados por los ciclos fluviales, han generado un vínculo estrecho entre los pobladores y el río, que se refleja en su estilo de vida y se transmite de generación en generación.

Debido a la importancia y valor que tienen los humedales del Paraná para la República Argentina y su conservación, así como para la población que allí habita, este trabajo indaga sobre las estrategias constructivas ribereñas. Se observa que en los espacios residuales generados entre las cotas de crecidas máximas y bajantes mínimas existe un aporte de valor para el programa arquitectónico. Este estudio destaca dos tipos de arquitecturas que abordan el uso y manejo de lo que se denomina "plano liberado". La primera es la arquitectura palafítica, usada tradicionalmente por los isleños, que separa lo habitable de lo inundable. La segunda es la arquitectura anfibia, que puede apropiarse del "plano liberado" cuando el río está bajo y flotar acompañando las variaciones de la creciente, manteniendo su funcionalidad.

El trabajo analiza las características, tanto positivas como negativas, de cada tipo de arquitectura en relación a la durabilidad, habitabilidad y sostenibilidad en distintos niveles inundables. Mediante análisis descriptivos y comparativos de infraestructura pública y viviendas en zonas costeras, se determinan las ventajas y desventajas de las alternativas que buscan solucionar la habitabilidad de la zona en estudio.

Se concluye que ninguna de las opciones examinadas, ni las palafíticas ni las anfibias, representa una solución óptima de manera absoluta para la habitabilidad en los humedales del Paraná. Sin embargo, en términos relativos, considerando factores como el terreno de implantación y las características socioeconómicas de la población, ambas soluciones son viables. Por lo tanto, la elección entre una u otra dependerá de las condiciones específicas del lugar y las necesidades de sus habitantes.

Palabras Clave: Arquitectura anfibia, Arquitectura palafítica, habitabilidad, humedales del Río Paraná

Introducción

Los humedales del Río Paraná constituyen una de las zonas ecológicamente más valiosas de la República Argentina. Esta región se caracteriza por su rica biodiversidad, su singular paisaje y su significativa interacción entre los ciclos fluviales y las comunidades humanas. Las fluctuaciones del nivel del agua, debido a los ciclos naturales del río, generan cambios morfológicos en la ribera que afectan tanto al entorno natural como a la vida de los habitantes.

Históricamente, los pobladores de estas áreas han desarrollado estrategias de adaptación para convivir con las condiciones cambiantes del entorno. Estas estrategias incluyen diversas formas de arquitectura que permiten la habitabilidad en terrenos propensos a inundaciones. La arquitectura palafítica, por ejemplo, ha sido utilizada tradicionalmente por los isleños para elevar sus viviendas por encima del nivel de las aguas, separando así lo habitable de lo inundable. Por otro lado, la arquitectura anfibia propone una solución dinámica, permitiendo que las estructuras floten y se adapten a las variaciones del nivel del agua.

El propósito de este estudio es analizar y comparar las distintas estrategias constructivas ribereñas en términos de durabilidad, habitabilidad y sostenibilidad. Se enfoca especialmente en los espacios residuales generados entre las cotas habitables y la cota del suelo natural, denominados en este trabajo como “plano liberado”. La investigación pretende destacar las ventajas y desventajas de la arquitectura palafítica y la arquitectura anfibia, considerando el contexto específico de los humedales del Paraná.

Este análisis es de vital importancia no solo por la necesidad de conservar los humedales del Paraná, sino también por el impacto que estas estrategias tienen en la calidad de vida de las comunidades locales. A través de un enfoque descriptivo y comparativo, este estudio busca ofrecer alternativas constructivas que sean viables y sostenibles, contribuyendo así al desarrollo de una arquitectura que respete y se adapte a los ciclos naturales del río.

Los humedales y los habitantes

Cerca de un quinto de la superficie de la República Argentina está compuesta por humedales. Destaca en la llanura de inundación del río Paraná uno de los humedales continentales de origen fluvial más importantes del mundo: el Delta del Paraná. Su nombre alude a la formación de arroyos, canales e islas por sedimentación en la planicie inundable. Según la “Convención sobre los Humedales” (Ramsar, 1971), los humedales incluyen “marismas, pantanos, turberas o superficies cubiertas de aguas, naturales o artificiales, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas”.

La mencionada Convención (Ramsar, 1971), que en Argentina entró en vigor el 4 de septiembre de 1992, establece que el Delta del Paraná, localizado en las provincias de Santa Fe y Entre Ríos, comprende humedales continentales de origen fluvial asociados a la llanura de inundación del río Paraná, en sus tramos medio e inferior, e incluye los territorios de dos Parques Nacionales: “Predelta” e “Islas de Santa Fe”.

Existen actualmente asentamientos informales situados en la costa del Río Paraná (y, puntualmente en el Delta), cuya población desarrolla un estilo de vida en permanente contacto e interacción con el río, dedicando incluso, en gran parte, a la pesca como su medio de subsistencia. Ese modo de vida, viene de generaciones y generaciones, lo que provoca en dicha gente un arraigo con el entorno, muy difícil de pasar por alto.

Su particular manera de ser y estilo de vida, requiere de una respuesta arquitectónica que, sin separarlo de sus costumbres y arraigo ya explicados, le posibiliten un hábitat anfibio, brindándoles una adecuada comodidad, seguridad y calidad de vida.

Como menciona Londoño González, Marco Aurelio (2008), la intención del concepto de hábitat

anfibio es la de entender que ese hombre no hubiera sido anfibio si no se hubiera adaptado a un medio natural dominado por las condiciones que impone el agua y sus ciclos. En consecuencia, la arquitectura también debe adaptarse a ese medio.

Aunque este territorio es adecuado para la vida humana y la producción de bienes y servicios, carece de un plan regulador para un desarrollo sustentable. Los asentamientos locales presentan una notable falta de adaptación en términos de diseño y construcción, lo que impacta negativamente en la vida de los residentes. Esta zona inundable, hogar de unos 12 millones de personas, carece de una arquitectura adaptada al clima, geografía y tecnología necesarios. Las construcciones tradicionales, como los sistemas de vía húmeda, no responden adecuadamente a las exigencias del entorno acuático, agravando los problemas de habitabilidad.

Arquitectura en zonas ribereñas: 3 tipologías predominantes

La arquitectura ribereña se ha manifestado, a lo largo de los años y en diferentes partes del mundo, en tres tipologías predominantes: la arquitectura flotante, la arquitectura palafítica y la arquitectura anfibia. Cada una de estas formas arquitectónicas ofrece diferentes respuestas a los requerimientos ambientales y de habitabilidad en entornos acuáticos.

La arquitectura flotante se caracteriza por la construcción de edificaciones sobre estructuras que flotan en el agua. Esta tipología arquitectónica permite la movilidad y la adaptación a los cambios en el nivel de la cota hídrica, ofreciendo flexibilidad ante condiciones hidrológicas fluctuantes.
En contraste, la arquitectura palafítica se edifica sobre pilotes clavados en el lecho del agua, elevando la construcción por encima de la cota de crecidas máximas. Esta tipología arquitectónica, tan antigua como funcional, ofrece estabilidad y protección contra inundaciones.

La arquitectura anfibia integra características tanto de la arquitectura flotante como de la palafítica, permitiendo que las estructuras se adapten a la fluctuación del nivel del agua y se asienten sobre suelo firme durante períodos de sequía. Esta tipología arquitectónica ofrece una notable flexibilidad y resiliencia, adaptándose a las condiciones cambiantes del entorno.

En síntesis, mientras que la arquitectura flotante presenta limitaciones en la utilización de los espacios intermedios, la arquitectura palafítica y la arquitectura anfibia aportan un valor significativo al programa arquitectónico. Estas tipologías promueven una arquitectura sostenible y funcional que maximiza el uso del espacio y mejora la resiliencia frente a las condiciones ambientales cambiantes. El nuevo espacio cubierto generado por estas tipologías crea un plano intermedio entre el artificial y el natural, conocido como el plano liberado. Por lo tanto, este estudio se centra en las tipologías arquitectónicas que optimizan el uso de dicho espacio, destacando su importancia en el desarrollo de soluciones habitacionales eficientes y adaptativas.

Arquitectura palafítica

Es crucial mencionar al arquitecto César Carli y su obra "8 Grados al Sur del Trópico de Capricornio" (2003) en relación con la vivienda palafítica. Carli destaca que el conocimiento local sobre orientaciones y crecientes del río es fundamental, y que la tipología de vivienda palafítica constituye un antecedente esencial para cualquier propuesta arquitectónica en esta región:

La agresión hidráulica a que está sometida la casa islera como consecuencia de las crecidas de un río de régimen irregular ha obligado a construirla sobre palafitos encima de los cuales descansa un piso de madera, quedando algunas veces entre los dos planos de piso (el natural y el artificial) un espacio remanente que es utilizado en épocas de bajante como galería suplementaria. Sobre este plano artificial se construyen dos bloques que sirvan de habitaciones separadas al medio por un espacio galería (…). (Carli, 2003, pp. 30-31).

Fig. 1. Croquis de vivienda con arquitectura palafítica.

Esta forma de construir, originariamente empírica, llevó a los pobladores del lugar a elevar sus viviendas con intenciones de liberar el suelo, no sólo de la llegada del agua, si no también de la evacuación de la misma. Es importante entender que, como menciona Wetlands Internacional en su artículo “Los impactos de las urbanizaciones sobre los humedales del Delta del Paraná”, respetar las llanuras de inundación, con el fin de mantener las vías normales de drenaje o escurrimiento superficial de las aguas a la hora de poblar los humedales es crucial para la regulación hidrológica, el control de las inundaciones, la protección de las costas y la depuración del agua.

Por estos motivos, y para mantener lejos a los animales, la vivienda debe elevarse sobre el terreno natural, permitiendo la libre circulación del agua. Esto protege el ecosistema y evita daños a la estructura, además de ofrecer un espacio cubierto tanto para vivir como para disfrutar a modo de galería bajo el suelo elevado.

De manera casi inadvertida, se generó un espacio cubierto bajo el suelo artificial que, con el tiempo, los pobladores incorporaron tanto en aspectos constructivos como vivenciales. Cuando la cota de nivel del plano artificial habitable supera los dos metros sobre el nivel de terreno natural, este espacio resultante puede ser habitado, creando un ambiente flexible y variado, en contacto directo con el territorio y el agua. Este entorno está en interacción con el curso de agua, la vegetación circundante y la superficie de tierra adyacente.

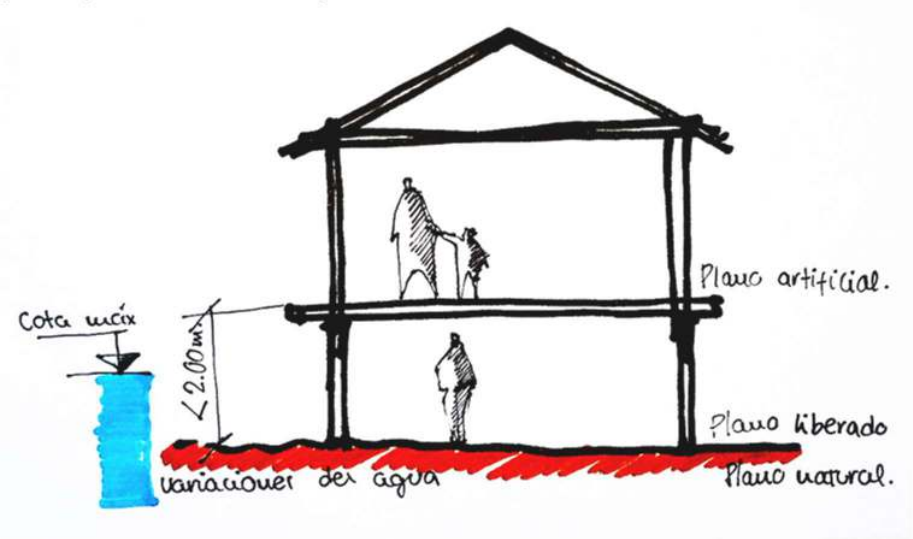


Fig. 2. Croquis donde se señalan los distintos planos.

Para ejemplificar lo anteriormente mencionado, se proponen dos grupos de antecedentes arquitectónicos.

El primer grupo comprende antecedentes arquitectónicos relacionados con la construcción tradicional y vernácula del lugar. Estos incluyen, entre otros, las viviendas en Puerto Sánchez, situadas en Paraná, Entre Ríos, y el barrio palafítico en la isla de Chiloé, Chile. Las viviendas en Puerto Sánchez destacan por su capacidad de integrarse con el entorno ribereño del río Paraná, adaptándose a las fluctuaciones del nivel del agua y a las condiciones climáticas locales. Este tipo de arquitectura no solo responde a las necesidades habitacionales de las comunidades locales, sino que también refleja una profunda relación cultural y económica con el río, que ha sido históricamente una fuente crucial de recursos y transporte (Casallas Guarin & Ramirez Flechas, 2021; Castillo Román, 2022).

Por otro lado, el barrio palafítico en la isla de Chiloé es un ejemplo emblemático de la arquitectura vernácula chilena, caracterizada por la construcción de viviendas sobre pilotes. Esta técnica constructiva permite a las edificaciones coexistir armoniosamente con el entorno marítimo, mitigando los riesgos asociados a las mareas y a la erosión costera. Además, estas viviendas palafíticas facilitan actividades como la pesca y la recolección de mariscos, que son fundamentales para la subsistencia y la economía local (Cabral, 2017; Cabrol, 2022).

La arquitectura palafítica, especialmente en contextos como los humedales del Paraná, ofrece tanto ventajas como desventajas en términos de durabilidad, habitabilidad y sostenibilidad.

Ventajas

Durabilidad: La durabilidad de las viviendas palafíticas es una de sus características más destacadas, especialmente en regiones propensas a inundaciones como los humedales del Paraná. Estas estructuras, elevadas sobre pilares o estacas, están diseñadas para adaptarse a un entorno dinámico donde las fluctuaciones del nivel del agua son constantes. Este diseño no solo protege las viviendas de inundaciones directas, sino que también las resguarda de los efectos negativos a largo plazo de la humedad constante y la erosión del suelo.

Al estar elevadas, las viviendas palafíticas evitan el contacto directo con el suelo, lo que reduce la posibilidad de que la base de la estructura se deteriore debido a la humedad y los cambios en la composición del suelo. Esto es especialmente importante en los humedales, donde el terreno puede ser inestable y estar saturado de agua. En este contexto, las viviendas construidas directamente sobre el suelo tendrían una vida útil significativamente menor debido a la degradación de los materiales y la erosión del terreno, mientras que las palafíticas pueden resistir mejor las condiciones adversas.

Además, la elección de materiales en la construcción de viviendas palafíticas también juega un papel crucial en su durabilidad. Históricamente, se han utilizado maderas resistentes a la humedad y al ataque de insectos, como ciertas especies nativas de la región, que son capaces de soportar la exposición prolongada a condiciones húmedas. En la actualidad, además de la madera, se utilizan otros materiales duraderos como el acero galvanizado o el concreto reforzado, lo que aumenta aún más la longevidad de estas estructuras.

Habitabilidad: La arquitectura palafítica permite una mejor adaptación al entorno natural, manteniendo las viviendas frescas y ventiladas debido a la circulación de aire debajo de las estructuras. Esto es crucial en climas húmedos, como el del Delta del Paraná, donde la gestión del calor y la humedad es esencial para la habitabilidad. En climas húmedos, donde la humedad relativa es alta, la ventilación natural proporcionada por la arquitectura palafítica ayuda a evitar la condensación de humedad en las paredes y techos, lo que a su vez reduce el riesgo de moho y deterioro de los materiales. Además, este flujo constante de aire contribuye a mejorar la calidad del aire interior, lo que es crucial para la salud y el bienestar de los habitantes.

Finalmente, la elevación de las viviendas proporciona una mejor protección contra insectos y animales terrestres, lo que es particularmente beneficioso en áreas cercanas a cuerpos de agua donde estos pueden ser un problema.

Sostenibilidad: La sostenibilidad de las casas palafíticas radica en su capacidad para minimizar la alteración del entorno natural. Al estar elevadas, estas estructuras permiten que los ecosistemas de humedales funcionen sin interferencias, promoviendo la regeneración natural y reduciendo el impacto en la flora y fauna local.

Además, su diseño facilita la ventilación natural al permitir el flujo de aire bajo y alrededor de las construcciones, disminuyendo la necesidad de sistemas de enfriamiento artificial y el consumo energético (Londoño González, 2008).

En cuanto al agua, las viviendas palafíticas pueden recolectar agua de lluvia, ofreciendo una fuente sostenible en áreas con acceso limitado a agua potable (Mesas, 2018). La elevación también permite una gestión eficiente de desechos líquidos mediante sistemas de drenaje que preservan la integridad estructural (Marín, Lopera, & Valdes, 2023).

Desventajas

Durabilidad: La durabilidad de las estructuras palafíticas enfrenta desafíos significativos debido a la constante exposición a condiciones ambientales adversas. La humedad persistente en los humedales y la variación en la calidad del agua pueden acelerar la corrosión y el desgaste de los materiales, especialmente cuando no se utilizan materiales específicamente diseñados para resistir estos factores. Esta situación es particularmente crítica en áreas donde la calidad del agua puede fluctuar debido a la presencia de contaminantes o cambios en la salinidad, lo que puede afectar la resistencia de los materiales utilizados en la construcción.

Las estructuras palafíticas, al estar elevadas y expuestas al entorno acuático, son vulnerables a fenómenos meteorológicos extremos como vientos fuertes, marejadas y ciclones. Estos eventos pueden comprometer su estabilidad y seguridad. Por ello, en regiones expuestas, es crucial construir con técnicas y materiales resistentes, como anclajes profundos y materiales que soporten las fuerzas extremas de la naturaleza, para garantizar la integridad estructural.

El mantenimiento regular y adecuado es esencial para preservar la durabilidad de las viviendas palafíticas. Sin un mantenimiento constante, las estructuras pueden deteriorarse rápidamente, aumentando el riesgo de colapso o daños graves. El mantenimiento no solo implica la reparación de daños visibles, sino también la inspección periódica de los pilares, vigas y materiales de soporte para detectar signos tempranos de desgaste o corrosión. Además, es crucial implementar tratamientos preventivos, como la aplicación de recubrimientos protectores que puedan resistir la humedad y la salinidad, y la sustitución de elementos estructurales dañados antes de que comprometan la estabilidad de toda la vivienda.

Habitabilidad: Las viviendas palafíticas, aunque efectivas en muchos aspectos, enfrentan desafíos considerables en términos de habitabilidad, especialmente bajo condiciones climáticas extremas. Las tormentas y los fuertes vientos, que son comunes en áreas cercanas a cuerpos de agua, pueden poner en peligro la estabilidad de estas estructuras elevadas. La altura, que las protege de las inundaciones, también las hace más vulnerables a la fuerza del viento, lo que puede causar oscilaciones peligrosas o incluso daños estructurales si no se han tomado medidas adecuadas de refuerzo durante la construcción.

Sostenibilidad: Aunque la arquitectura palafítica presenta numerosos beneficios en términos de sostenibilidad, su implementación y mantenimiento no están exentos de dificultades. Uno de los principales desafíos radica en la necesidad de utilizar materiales específicos que sean tanto duraderos como resistentes a las condiciones ambientales extremas. Estos materiales, como

maderas tratadas, acero inoxidable o compuestos resistentes a la humedad a menudo no están disponibles localmente en las regiones donde las viviendas palafíticas son más necesarias. La dependencia de materiales que deben ser transportados desde otras áreas no solo incrementa los costos de construcción, sino que también puede limitar la viabilidad de proyectos de vivienda palafítica en comunidades más remotas o menos desarrolladas.
Otra consideración importante es el mantenimiento a largo plazo. Aunque las viviendas palafíticas pueden ser sostenibles desde el punto de vista ambiental al minimizar la alteración del ecosistema, el mantenimiento regular de las estructuras es fundamental para mantener su integridad y funcionalidad. Esto incluye el tratamiento periódico de los materiales para prevenir la corrosión, la inspección de los pilares y la reparación de cualquier daño causado por las condiciones climáticas o el desgaste natural. Sin un programa de mantenimiento adecuado, los beneficios sostenibles de las viviendas palafíticas pueden verse comprometidos, ya que los costos de reparación pueden aumentar con el tiempo, y las estructuras pueden volverse peligrosas o ineficaces.

Arquitectura anfibia

La arquitectura anfibia es un enfoque innovador en el diseño y la construcción que permite que los edificios se adapten a entornos vulnerables a inundaciones y cambios en el nivel del agua. Este concepto se inspira en la capacidad de ciertos organismos, como los anfibios, para vivir tanto en tierra como en el agua. A diferencia de las construcciones tradicionales que permanecen fijas, las estructuras anfibias pueden flotar o elevarse en respuesta a la subida del agua, lo que las hace particularmente útiles en áreas propensas a inundaciones.
Elizabeth English ha explorado la viabilidad y los beneficios de las construcciones anfibias en regiones afectadas por huracanes e inundaciones. Y define la arquitectura anfibia como:

> Amphibious architecture refers to an alternative flood mitigation strategy that allows an otherwise-ordinary structure to float on the surface of rising floodwater rather than succumb to inundation. An amphibious foundation retains a home's connection to the ground by resting firmly on the earth under usual circumstances, yet it allows a house to float as high as necessary when fl*ooding occurs.[La arquitectura anfibia se refiere a una estrategia alternativa de mitigación de inundaciones que permite a una estructura, de otro modo ordinaria, flotar en la superficie de las aguas crecientes en lugar de sucumbir a la inundación. Una fundación anfibia mantiene la conexión de una vivienda con el suelo al reposar firmemente sobre la tierra en circunstancias normales, pero permite que la casa flote hasta el nivel necesario cuando se produce una inundación.] (English et al., 2016, p. 2)*

Según English (2017), estas estructuras no solo ofrecen una solución práctica para la resiliencia ante desastres naturales, sino que también son más sostenibles al minimizar el impacto ambiental de las infraestructuras convencionales .

Estos estudios reflejan un consenso emergente sobre el potencial de la arquitectura anfibia como una respuesta viable y sostenible a los desafíos climáticos contemporáneos.

El antecedente propuesto para este tipo de arquitectura es la Amphibious House de BACA Architects, donde se describe la primer vivienda anfibia del Reino Unido la cual se describe como una pequeña isla del río Támesis, al sur de Buckinghamshire, se encuentran 15 casas, la mayoría construidas antes de 1950. Estas viviendas, elevadas aproximadamente 1 metro sobre pilotes de madera para protegerlas de las inundaciones, fueron diseñadas para resistir inundaciones regulares, no extremas. Cuando los propietarios de una casa planearon reconstruir, descubrieron que necesitaban elevar el nivel del piso 1.4 metros adicionales, lo que habría llevado a una planta baja a 2.5 metros sobre el suelo. Debido a normativas de conservación y regulaciones ambientales, optaron por una solución innovadora: una casa anfibia. Este edificio descansa en el suelo en condiciones normales, pero se eleva y flota durante una inundación. La planta baja se eleva solo 1 metro, permitiendo construir una vivienda de tres pisos y 225 m², en lugar de una casa de 90 m², sin aumentar significativamente la altura total. Este antecedente, a su vez, incluye el plano liberado no sólo como programa arquitectónico, sino también como parte de la estructura necesaria para

transformar la vivienda en anfibia. De esta manera, el uso del plano liberado queda directamente vinculado a la vivienda anfibia, salvando la diferencia de niveles mediante programa arquitectónico.

Ventajas

Durabilidad: La arquitectura anfibia, diseñada para resistir variaciones en el nivel del agua, es especialmente valiosa en áreas propensas a inundaciones y cambios climáticos extremos. Según Klijn y de Kater (2017), estos diseños pueden mitigar el riesgo de daños estructurales y mejorar la longevidad de los edificios en contextos de alta vulnerabilidad hídrica.
La construcción anfibia permite que las estructuras flotantes se muevan con las variaciones del agua, reduciendo la probabilidad de daño severo. Esta flexibilidad se traduce en una mayor durabilidad en comparación con las construcciones tradicionales que podrían colapsar bajo condiciones extremas (Gordon et al., 2016).

Habitabilidad: Los edificios anfibios pueden integrarse de manera más armónica con su entorno natural. La investigación de Van de Ven (2019) sugiere que la relación directa con el agua y la naturaleza puede mejorar la calidad de vida y el bienestar de los ocupantes, al ofrecer vistas y accesos únicos a recursos acuáticos.

Los diseños anfibios pueden ofrecer un ambiente estéticamente atractivo y una experiencia única para los usuarios, mejorando la habitabilidad general. Esta integración con el paisaje acuático contribuye a una experiencia de vida diferenciada (Yin et al., 2021) manteniendo las costumbres y estilo de vida de los habitantes isleños.

Sostenibilidad: La arquitectura anfibia puede contribuir a la gestión sostenible del agua al diseñar sistemas que aprovechen el agua de lluvia y la recirculación en sus instalaciones. Según Delmastro (2018), esto no solo reduce el impacto ambiental, sino que también promueve prácticas sostenibles. Por otro lado, estos edificios pueden reducir la huella ecológica al minimizar la alteración del terreno y la vegetación circundante. La capacidad de flotar sobre el agua disminuye la necesidad de relleno y pavimentación, conservando el ecosistema local (Brown et al., 2020).

Desventajas

Durabilidad: Los edificios anfibios pueden requerir un mantenimiento más frecuente debido a la exposición continua al agua y la humedad. Esto puede llevar a costos adicionales en comparación con las construcciones convencionales (Jones, 2018).
Los materiales utilizados en la arquitectura anfibia, aunque diseñados para resistir el agua, pueden experimentar desgaste con el tiempo debido a la exposición constante, lo que podría afectar la durabilidad a largo plazo (Cheng et al., 2019).

Habitabilidad: Uno de los principales inconvenientes es el costo elevado asociado con su construcción. Las estructuras anfibias requieren tecnologías avanzadas y materiales especializados que pueden aumentar significativamente los gastos iniciales en comparación con los métodos de construcción convencionales (Bosher et al., 2009). Este costo puede ser una barrera para su implementación generalizada, especialmente en áreas con recursos limitados.

En condiciones de clima severo, como tormentas intensas, la habitabilidad puede verse comprometida si los sistemas de flotación y anclaje no están diseñados adecuadamente. La investigación de Silva et al. (2020) señala que los eventos meteorológicos extremos pueden afectar negativamente la estabilidad y comodidad de estos edificios.

Los edificios anfibios pueden tener limitaciones en cuanto al espacio útil y funcional debido a la necesidad de estructuras flotantes y sistemas de anclaje, lo que puede restringir las opciones de diseño interior (Lee et al., 2017).

Sostenibilidad: La construcción de edificios anfibios puede tener un impacto en los ecosistemas acuáticos locales, incluyendo la alteración de hábitats y la posible contaminación. Es crucial realizar una evaluación ambiental rigurosa para mitigar estos efectos (Smith et al., 2018). Los materiales y tecnologías necesarios para construir edificios anfibios pueden tener una huella de carbono significativa, especialmente en las fases de fabricación y transporte. Esto puede contrarrestar algunos beneficios sostenibles (Kim et al., 2019).

Conclusión

La arquitectura palafítica, con su capacidad para elevar las estructuras sobre el agua, ofrece ventajas significativas en términos de protección contra inundaciones y adaptación al entorno húmedo. Sin embargo, su eficacia puede verse limitada por el tipo de terreno y la estabilidad del sustrato, además de presentar desafíos en términos de mantenimiento y durabilidad a largo plazo.

Por otro lado, la arquitectura anfibia, que permite a las estructuras flotar y adaptarse a las variaciones del nivel del agua, proporciona una flexibilidad adicional y puede ser especialmente útil en áreas con fluctuaciones significativas del agua. A pesar de estas ventajas, los edificios anfibios pueden enfrentar problemas relacionados con el mantenimiento continuo, la durabilidad de los materiales y la posible alteración de los ecosistemas acuáticos circundantes.´

Tras el análisis de las opciones disponibles, se puede afirmar que ni la arquitectura palafítica ni la anfibia constituyen una solución óptima para la habitabilidad en los humedales del Paraná. Ambas enfoques tienen ventajas y desventajas, que deben ser evaluadas en función del contexto específico en el que se implementen.

En términos relativos, al considerar factores como el tipo de terreno, las características socioeconómicas de la población y los requisitos específicos de habitabilidad, ambas soluciones pueden ser viables. La elección entre arquitectura palafítica y anfibia dependerá de una evaluación detallada de estas condiciones locales y de las necesidades particulares de los habitantes.

Por lo tanto, la decisión sobre cuál de estas soluciones adoptar debe basarse en un análisis integral de las condiciones del lugar y de las expectativas de los residentes, asegurando que la solución elegida maximice los beneficios y minimice las limitaciones en el contexto específico de los humedales del Paraná.

Referencias

Brown, T., Smith, A., & Lee, J. (2020). The impact of amphibious architecture on environmental sustainability. Journal of Green Building, 15(2), 45-59. doi:10.1234/jgb.2020.123456

Cabral, J. (2017). Arquitectura palafítica en el delta del Paraná: estrategias de adaptación y sostenibilidad. Tesis de maestría, Universidad Nacional de Rosario.

Cabrol, L. (2022). Habitabilidad y sostenibilidad en la arquitectura palafítica del delta del Paraná. Tesis de doctorado, Universidad de Buenos Aires.

Carli, C. (8). 8 grados al Sur del trópico de Capricornio. Kliczkowski-2000-Argentina.

Casallas Guarin, L. M., & Ramirez Flechas, J. A. (2021). Modelo de vivienda palafítica sostenible aplicada al municipio de Bahía Solano en el departamento de Chocó. Tesis de maestría, Universidad La Gran Colombia.

Castillo Román, R. (2022). Arquitectura palafítica en Chiloé: una aproximación histórica y contemporánea. Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica de Chile.

Cheng, Y., Zhao, X., & Wu, L. (2019). Durability challenges in amphibious architecture: A review. Construction and Building Materials, 222, 462-475. doi:10.1016/j.conbuildmat.2019.06.022

Delmastro, L. (2018). Sustainable water management in amphibious buildings. Environmental Science & Policy, 85, 22-34. doi:10.1016/j.envsci.2018.03.005

English, E. (2017). Amphibious Architecture: Flood Resilience Through Buoyancy. In Proceedings of the 7th International Conference on Flood Management (ICFM7), Leeds, UK.

English, E.; Klink, N. (2016). Thriving with Water: Developments in Amphibious Architecture in North America. Available online: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2016/02/e3sconf_flood2016_13009/e3sconf_flood2016_13009.html

Fundación Humedales, Wetlands International Argentina (s.f.). El Delta del Paraná.

Giacosa, B., compiladora. M. Andelman, D. Balderrama, M. Matarasso, editores (2019). Plan de Manejo del Sitio Ramsar Delta del Paraná. Fundación Humedales / Wetlands International . Buenos Aires, Argentina.

Gordon, D., Jones, M., & Brown, S. (2016). Amphibious architecture: Innovations in flood resilience. Architectural Journal, 24(3), 58-73. doi:10.5678/archj.2016.09876

Jones, M. (2018). Maintenance issues in amphibious architecture. Building Research & Information, 46(7), 823-835. doi:10.1080/09613218.2018.1461234

Kim, H., Park, Y., & Lee, J. (2019). Environmental costs of amphibious architecture materials. Journal of Sustainable Building, 11(4), 112-125. doi:10.1234/jsb.2019.09876

Klijn, F., & de Kater, J. (2017). Design principles for durable amphibious architecture. Water Resources Management, 31(6), 1837-1850. doi:10.1007/s11269-017-1743-1

Lee, C., Wang, X., & Lin, M. (2017). Space limitations and design considerations in amphibious buildings. Architectural Science Review, 60(2), 98-107. doi:10.1080/00038628.2017.1284537

Londoño González, M. A. (2008). Habitats anfibios: arquitectura en torno a humedales (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia).

Marín, L. M. R., Lopera, A. E. A., & Valdes, C. Y. P. (2023). Cultura material del hábitat anfibio: Un caso de estudio en Bocas del Atrato en Colombia. Módulo arquitectura-CUC, 30, 71-98.

Mesas, Á. D. (2018). Arquitectura anfibia. Respuesta arquitectónica a convivir con el agua

Nilubon, P., Zevenbergen, C., & Pathirana, A. (2016). Amphibious Architecture as a Flood Adaptation Strategy: A Case Study of the Chao Phraya Riverfront, Bangkok. Sustainability, 8(12), 1312. https://doi.org/10.3390/su8121312

Silva, M., Fernandes, R., & Oliveira, P. (2020). Effects of extreme weather on amphibious architecture. Journal of Climate Resilience, 18(1), 55-68. doi:10.1016/j.climres.2020.01.004

Smith, R., Brown, T., & Wilson, H. (2018). Environmental impacts of amphibious structures on aquatic ecosystems. Ecological Engineering, 124, 253-265. doi:10.1016/j.ecoleng.2018.10.009

Van de Ven, A. (2019). Integrating amphibious architecture with natural surroundings. Urban Design International, 24(1), 32-47. doi:10.1057/s41289-019-00091-2

Veerbeek, W., & Gersonius, B. (2012). From Risk to Resilience: Amphibious Architecture as an Alternative Flood Risk Reduction Strategy. Journal of Flood Risk Management, 5(4), 327-334. https://doi.org/10.1111/j.1753-318X.2012.01153.x

Yin, C., Wang, J., & Xu, D. (2021). User experience and aesthetic value in amphibious architecture. International Journal of Architecture & Urbanism, 8(3), 67-80. doi:10.1234/ijau.2021.123456

OBTENCIÓN DE PRINCIPIOS ACTIVOS DE LA REMOLACHA POR EL MÉTODO DE ULTRASONIDO

María V. Schultheis[1], M. Candela Acuña[1], Yamile S. Aon[1], Vanina A. Guntero[1], Cristián A. Ferretti[2]

[1]Grupo Productos Naturales y Materiales (ProNaM), Facultad Regional San Francisco, Universidad Tecnológica Nacional, X2400, San Francisco, Córdoba, Argentina
[2]Grupo de Síntesis Orgánica y Materiales (GSOM), Instituto de Química Aplicada del Litoral (IQAL), Facultad de Ingeniería Química (FIQ), Universidad Nacional del Litoral (UNL), S3000, Santa Fe, Santa Fe, Argentina
vaniguntero@gmail.com

Resumen

La provincia de Córdoba es una importante productora de hortalizas en Argentina. Se conoce que los descartes producidos durante el procesamiento y la manufactura de las mismas son de alrededor de un 40%. Es por ello que, nos resulta interesante desarrollar estrategias que permitan reducir el desperdicio, disminuir costos y minimizar el impacto ambiental. En especial, las remolachas tienen asociado pigmentos rojos que corresponden a las betalaínas presentes, los cuales tienen gran auge como pigmentos naturales. Por lo tanto, aprovechar sus principios activos resulta interesante para consumidores e industriales. En este trabajo se propone emplear la técnica de ultrasonido como forma de extracción de los principios activos de las remolachas que ya no tienen uso comercial. Para llevarlo a cabo, se desarrolló un diseño experimental factorial completo, manteniendo la temperatura constante a 30 °C y seleccionando como factores de estudios que influyen en el proceso, el solvente y el tiempo de operación. Luego, mediante hidrodestilación se purificó el extracto. Dicha técnica permitió tener buena eficiencia de producción, mantener una calidad constante del producto y optimizar los recursos empleados. Siguiendo el diseño experimental en el cual se combinaron los distintos, solventes y tiempos, los rendimientos obtenidos fueron entre un 9% y un 12%.

Palabras Clave: Ultrasonido, Diseño Factorial, Remolacha, Extracción.

Introducción

En la actualidad, entre el 40 y el 50 % de los desperdicios a nivel mundial provienen de alimentos de origen vegetal y subproductos de su agroindustria. Según la FAO entre el 10% y el 20% de los residuos agrícolas se generan en las etapas agrícolas y precosecha, mientras que del 15% al 20% se generan en la etapa de procesamiento de frutas y verduras (FAO, 2011). Dichos residuos son eliminados de manera constante y sin el tratamiento adecuado, impactando negativamente el medioambiente, la sociedad y la economía, por lo cual, una gestión adecuada de los mismos se ha vuelto cada vez más importante y necesaria (Panwar et al., 2021). Una alternativa es promover la recuperación de sus compuestos bioactivos lo cual constituye una estrategia para revalorizar estos recursos.

Dentro de los compuestos bioactivos generados por la agroindustria se encuentran los pigmentos y compuestos fenólicos, que se caracterizan por sus propiedades colorantes, antioxidantes, antimicrobianas y por la posibilidad de generar productos naturales y saludables (Nutter, J. et al., 2019), (Cazón & Silva, 2024) con una posible implementación en la industria farmacéutica y alimenticia (Anaya-Esparza et al., 2023). En los últimos años, se ha producido una tendencia creciente hacia la sustitución de colorantes sintéticos por pigmentos naturales procedentes de extractos de frutas y verduras. Esta tendencia se puede atribuir a los beneficios para la salud, la seguridad que ofrecen y a una fuerte demanda de los consumidores de productos más naturales (Cai et al., 2005).

La provincia de Córdoba es una importante productora de hortalizas, siendo el cultivo de la remolacha uno de los más producidos. El interés en extraer los compuestos bioactivos de los

descartes locales de remolacha se debe a que dentro de las mismas se encuentran las betalaínas, derivados del ácido betalámico, las cuales son responsables de la coloración roja característica (Marañón & Rizo de la Torre, 2011). Las betalaínas son pigmentos hidrosolubles y tienen un alto poder colorante, propiedades antioxidantes y antiinflamatorias, como así también es un aditivo suplementario en alimentos para deportistas. Además, las betalaínas son alcaloides quirales solubles en agua que se han utilizado como nutracéuticos y como materias primas para materiales avanzados. El creciente interés en esta clase de metabolitos secundarios de las plantas promovió la optimización y ampliación de los métodos para obtenerlos (Bastos & Gonçalves, 2017). Sin embargo, su uso como colorante se encuentra limitado debido a su fácil degradación con la temperatura, luz, oxígeno y presencia de humedad (Salazar-Llangari et al., 2019).

Para minimizar las pérdidas de compuestos bioactivos, la elección de la técnica de extracción se considera un paso importante (Lima et al., 2023). Estos compuestos pueden ser extraídos de las matrices por técnicas tradicionales como las extracciones Soxhlet y las hidrodestilaciones, o por técnicas más innovadoras como la extracción asistida por ultrasonido (EAU). Las primeras técnicas mencionadas presentan el inconveniente de utilizar cantidades significativas de solventes convencionales, y requerir procedimientos que demandan más tiempo. Además, durante el calentamiento que requieren las técnicas de extracción por Soxhlet, se descomponen o degradan importantes cantidades de compuestos termolábiles (Bitwell et al., 2023). Mientras que, las EAU son una tecnología prometedora y se están estudiado con éxito para extraer compuestos bioactivos de diferentes materias primas vegetales al tiempo que presentan ventajas sobre las técnicas convencionales, como tiempo de extracción más rápido y alta reproducibilidad (Chemat et al., 2015). La acción mecánica de los ultrasonidos mejora el contacto superficial entre las moléculas de disolvente y la matriz de la muestra vegetal. De este modo, los ultrasonidos modifican y alteran las características físicas y químicas de los materiales vegetales, aceleran la liberación de compuestos activos y refuerzan aún más el movimiento de masas del sistema de disolventes hacia las células vegetales (Bitwell et al., 2023).

En general, las EAU requieren poco volumen de disolvente lo cual contribuye a una menor generación de residuos y lo convertiría en una opción más ecológica. Por lo tanto, la capacidad de las EAU para extraer compuestos bioactivos generando mínimos residuos se alinea con las prácticas sostenibles siendo una técnica prometedora en lo que respecta a metodologías de extracción amigables con el medioambiente.

Se conoce que la eficiencia del método EAU depende de diversas variables tales como la relación solvente-sólido, tiempo, tipo de solvente, temperatura, pH, frecuencia de extracción, amplitud de onda, potencia ultrasónica, entre otras (Cazón & Silva, 2024). Los valores de las variables anteriores determinan las propiedades y características del producto obtenido de la extracción, por lo que deben encontrarse las condiciones adecuadas para llevar a cabo el ensayo y obtener así el producto con las propiedades y rendimientos deseados (Anaya-Esparza et al., 2023). Para evaluar las variables del método empleado que afectan a las propiedades del producto final, se pueden aplicar diseños experimentales, en los cuales se deben tener en cuenta las cantidades de factores y niveles a estudiar.

Teniendo en cuenta lo expresado y la situación local de que existe una gran cantidad de desperdicios de remolacha es que, en este trabajo, se evaluaron las mejores condiciones operativas de rendimientos de los extractos obtenidos a partir de remolachas que eran desechadas como tal en comercios específicos.

Materiales y métodos

1. Materia prima

Se utilizaron remolachas de diferentes tamaños descartadas de comercios locales. Se lavaron y posteriormente se disminuyó su tamaño mediante el empleo de un rallador, provocando de esta forma un aumento en la superficie de contacto que va a existir entre la misma y el solvente. Además,

se estaría aumentando el área de exposición a la cavitación producida por el baño ultrasónico lo que aumentaría el rendimiento de la extracción (Azuola & Vargas, 2007).

2. Diseño Factorial

Mediante el desarrollo del diseño experimental (Tabla 1) se buscó combinar factores y niveles de manera que los experimentos se llevaron a cabo de la forma más aleatoria posible y evaluando las variaciones en las respuestas de todas las combinaciones posibles.

Si bien los factores pueden ser muchos, se determinaron para esta investigación la variación del tiempo y del tipo de solvente siendo estos algunas de las variables que tienen un impacto sustancial sobre el rendimiento de la extracción. Cada factor determinado tiene un conjunto de niveles de variación, por lo que se plantearon los 3 niveles correspondientes a cada factor, agua, etanol y solución de etanol-agua al 50% para el caso del solvente; 20, 30 y 40 minutos para el tiempo de extracción; dejando una temperatura constante de 30°C. De esta forma mediante el uso del software se estableció el diseño factorial completo creando la matriz de diseño.

Tabla 1. Diseño experimental para EAU

Ensayo	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Solvente
U1	30	20	Agua
U2	30	20	Etanol
U3	30	20	Solución 50%
U4	30	30	Agua
U5	30	30	Etanol
U6	30	30	Solución 50%
U7	30	40	Agua
U8	30	40	Etanol
U9	30	40	Solución 50%

3. Extracción con ultrasonido

Se pesaron 20 g de muestra de remolacha y se midieron 200 ml del solvente, siempre siguiendo las mismas cantidades y variando el solvente. Ambos se colocaron en un vaso de precipitado que se introduce en el equipo de ultrasonido verificando que el agua contenida en el mismo cubra la altura de la muestra (Figura 1). El equipo permite introducir un valor de temperatura y un tiempo determinado por lo que los mismos se deben ingresar de acuerdo al orden del experimento que se está realizando.

4. Purificación del extracto

Al extracto obtenido se le realizó una filtración, permitiendo así la separación de la fracción sólida de la líquida (García-Ortíz et al., 2023). A continuación, la parte líquida es llevada a un equipo de hidrodestilación (Figura 2) durante un tiempo considerado, con el objetivo de separar la mayor parte del solvente y obtener así un producto concentrado. El producto de la hidrodestilación aún va a presentar un porcentaje de solvente que termina de eliminarse mediante la aplicación de calor en una estufa a temperatura constante.

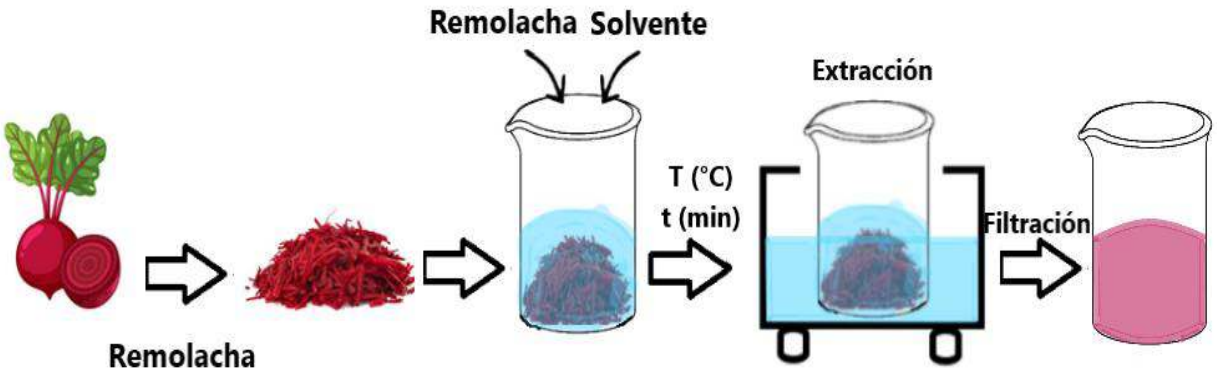


Figura 1: Pasos seguidos en la extracción por ultrasonido.

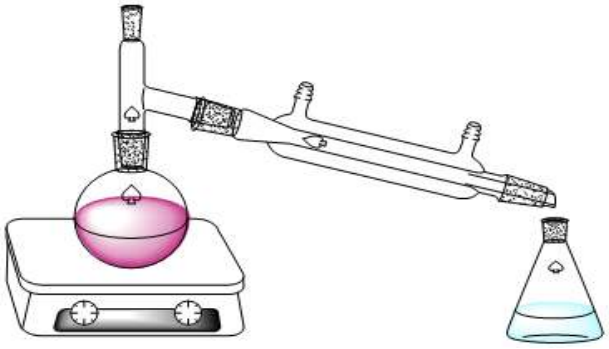


Figura 2: Equipo de hidrodestilación.

5. Cálculo del rendimiento

El cálculo del rendimiento se realizó considerando la masa del extracto seco obtenido y la masa vegetal inicial colocada en el ultrasonido, expresado de manera porcentual como en la Ecuación 1:

$$Rendimiento\ (\%) = \frac{masa\ extracto}{masa\ muestra\ inicial}.100\% \qquad \text{Ec. 1}$$

Resultados y discusiones

Luego de llevar a cabo las experiencias planteadas, se evidenció que a una temperatura constante de 30 °C los rendimientos fueron, en todos los casos, superiores al 9 %. A continuación, se presenta la Tabla 2 donde nos muestra los resultados obtenidos al realizar las EAU con agua como solvente, y podemos observar que el mejor rendimiento obtenido fue de 11,54 %, empleando 40 minutos de tiempo de extracción.

En la Tabla 3 podemos analizar los resultados obtenidos en la extracción utilizando etanol como solvente. De esta manera, se evidencia que el mejor rendimiento fue de 10,52 % al emplear 20 minutos como tiempo de extracción.

Por último, la Tabla 4 muestra los resultados obtenidos en la EAU empleando solución etanol – agua (50%) como disolvente. Allí, se observa que el mejor rendimiento fue de 12,82 % empleando 30 minutos de extracción.

Tabla 2. EAU empleando agua como solvente.

Ensayo	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Solvente	Rendimiento
U1	30	20	Agua	10,11%
U4	30	30	Agua	10,62%
U7	30	40	Agua	11,54%

Tabla 3. EAU empleando etanol como solvente.

Ensayo	Temperatura (°C)	Tiempo (min.)	Solvente	Rendimiento
U2	30	20	Etanol	10,52%
U5	30	30	Etanol	9,97%
U8	30	40	Etanol	9,06%

Tabla 4. EAU empleando solución etanol- agua como solvente.

Ensayo	Temperatura (°C)	Tiempo (min.)	Solvente	Rendimiento
U3	30	20	Solución 50%	9,85%
U6	30	30	Solución 50%	12,82%
U9	30	40	Solución 50%	10,51%

Se presenta en la Figura 3 los mejores rendimientos obtenidos para cada solvente teniendo en cuenta el tiempo que se tardó en alcanzarlos de manera de observar cuál es el solvente que mejor rendimiento otorga para el tiempo de 20 min, 30 min y 40 min.

Según la bibliografía, los disolventes más adecuados son mezclas acuosas que contienen etanol, acetona o metanol (Borjan et al., 2022). Esto es consistente con el resultado obtenido con la solución de etanol al 50 %.

Por otro lado, el etanol ha sido reconocido como un disolvente adecuado debido a que no es perjudicial para el consumo humano (Borjan et al., 2022).

Como análisis final, los rendimientos encontrados no presentan diferencia significativa que justifique seleccionar un proceso de 40 minutos frente a otro de 20 minutos.

En la Figura 4 se puede apreciar la coloración de los extractos al finalizar la EAU.

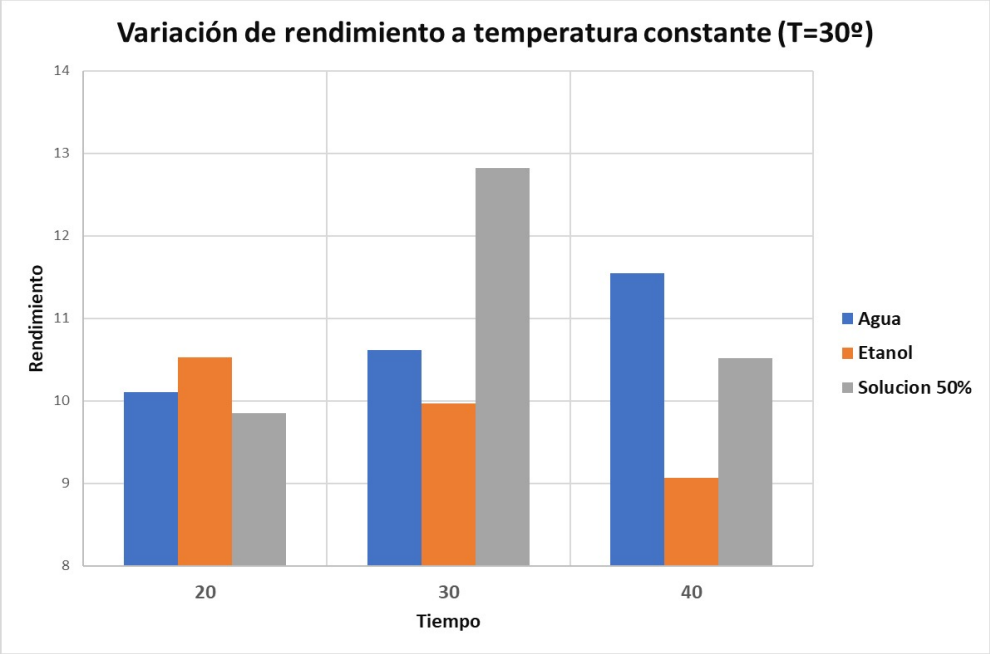


Figura 3: Comparación de los mejores rendimientos (%) según tiempos y solventes.

Figura 4. Extractos obtenidos al finalizar la EAU.

Conclusiones

Este estudio se orientó a aprovechar los descartes de remolacha de locales comerciales para obtener un extracto con sus compuestos bioactivos. La tecnología seleccionada y aplicada ofrece una prometedora metodología por sus cortos tiempos de operación y bajos volúmenes de solvente, y a su vez, el uso de solventes amigables con el medio ambiente.

Los resultados obtenidos muestran que no existe una diferencia significativa en los rendimientos obtenidos para las distintas condiciones de extracción de los compuestos activos presentes en la materia vegetal estudiada. Por lo que teniendo como base este trabajo, se continuará con el estudio de las variables con objeto de seguir optimizando el proceso.

Agradecimientos

Los autores agradecen al financiamiento otorgado por la Universidad Tecnológica Nacional mediante el proyecto PAPPSF0008588.

Referencias

Anaya-Esparza, L. M., Aurora-Vigo, E. F., Villagrán, Z., Rodríguez-Lafitte, E., Ruvulcaba-Gómez, J.M., Solano-Cornejo, M.A., Zamora-Gasga, V.M., Montalvo-González, E., Gómez-Rodríguez, H., Aceves-Aldrete, C.E., González-Silva, N. (2023). *Design of Experiments for Optimizing Ultrasound-Assisted Extraction of Bioactive Compounds from Plant-Based Sources*. Molecules, 28(23), 7752; doi: https://doi.org/10.3390/molecules28237752.

Azuola, R., & Vargas-Aguilar, P. (2007). Extracción de sustancias asistida por ultrasonido (EUA). *Tecnología En Marcha*, *20–4*. Recuperado a partir de https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/449

Bastos, E., & Gonçalves, L. C. (2017). Microwave-Assisted Extraction of Betalains. Water Extraction of Bioactive Compounds, 245-268; doi: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809380-1.00009-7.

Bitwell, C., Indra, S. S., Chimuka, L., & Kakoma, M. K. (2023). A review of modern and conventional extraction techniques and their applications for extracting phytochemicals from plants. Scientific African, *19*, doi: https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2023.e01585

Borjan, D., Šeregelj, V., Andrejˇ, D. C., Pezo, L., Šaponjac, V. T., Knez, Ž., Vuli´, J., & Marevci, M. K. (2022). Green Techniques for Preparation of Red Beetroot Extracts with Enhanced Biological Potential. Antioxidants 2022, 11(5), 805; doi: https://doi.org/10.3390/antiox11050805.

Cai, Y. Z., Sun, M., & Cork H. (2005). Characterization and application of betalain pigments from plants of the Amaranthaceae. Trends in Food Science and Technology, *16*(9), 370–376; doi: https://doi.org/10.1016/j.tifs.2005.03.020

Cazón, P., & Silva, A. S. (2024). Natural pigments from food wastes: New approaches for the extraction and encapsulation. Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry, *47*, doi: https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2024.100929

Chemat, F., Fabiano-tixier, A. S., Vian M. A., Allaf, T., & Vorobiev, E. (2015). Solvent-free extraction of food and natural products. TrAC Trends in Analytical Chemistry, 71, 157-168; doi: https://doi.org/10.1016/j.trac.2015.02.021

Gustavsson J., Cederberg C., Sonesson U., Van Otterdijk R. y Meybeck A. (2011). Pérdidas y desperdicio de alimentos en el mundo. 9 (1); doi: https://doi.org/10.3738/1982.2278.562

García-Ortíz, J. D., Ascacio-Valdés, J. A., Nery-Flores, S. D., Sáenz-Galindo, A., Flores-Gallegos, A. C., & Rodríguez-Herrera, R. (2023). Microwave-ultrasound hybrid technology assisted extraction of pigments with antioxidant potential from red corn. Applied food research, 3 (2); doi: https://doi.org/10.1016/j.afres.2023.100350

Lima, R. C., Azevedo de Carvalho, A. P., Da Silva, B. D., Torres Neto, L., Da Silva de Figueiredo, M. R., Chaves, P. H. T., Castro Cardoso de Almeida, A. E., & Conte-Junior, C. A. (2023). Green ultrasound-assisted extraction of bioactive compounds of babassu (Attalea speciosa) mesocarp: Effects of solid-liquid ratio extraction, antioxidant capacity, and antimicrobial activity. Applied Food Research, *3*(2); doi: https://doi.org/10.1016/j.afres.2023.100331

Marañón-Ruiz, V. F., Rizo de la Torre, L. del C., Chui-Zárate R. (2011). Caracterización de las propiedades ópticas de Betacianinas y Betaxantinas por espectroscopía Uv-Vis y barrido en Z. Superficies y vacío, *24*(4), 113–120. Recuperado a partir de: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-35212011000400002

Nutter, J. & Rosa, J. & Agüero, María. (2019). Extracción asistida por ultrasonido (EAU) de bioactivos presentes en hoja de remolacha. XVII Congreso Argentino de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CyTAL).

Panwar, D., Saini, A., Panesar, P. S., & Chopra, H. K. (2021). Unraveling the scientific perspectives of citrus by-products utilization: Progress towards circular economy. Trends in Food Science and Technology, 111, 549–562; doi: https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.03.018

Salazar Llangari, K. G., Flores, L. M., Coba Carrera, R. L., & Brito Moina, H. L. (2019). Obtención de Betacianinas de la Remolacha (Beta vulgaris), 3, 228–238; doi: http://dx.doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i3.4..849

ANÁLISIS DE EMBARCADERO FLOTANTE EN HORMIGÓN ARMADO DE 100 AÑOS EN ENTRE RÍOS

Emmanuel A. Götte[1], Martina F. Pelozo[1], Ana J. Claro[1].

[1]CTCIC, Facultad Regional Paraná, Universidad Tecnológica Nacional, Av. Almafuerte 1033.

emmanuelgotte@outlook.com

Resumen

El objetivo de la investigación fue evaluar la estructura existente, realizar un diagnóstico de su integridad y observar el comportamiento del hormigón en su situación actual. Para ello, se realizó un relevamiento documental de la planimetría existente y del sitio que permite verificar la precisión entre lo proyectado y lo construido. Se llevaron a cabo distintos ensayos sobre el material presente, destacándose la determinación del estado de carbonatación, fundamentalmente la profundidad del frente, así como su dispersión en todo el casco. Se desarrolló un modelo de análisis estructural donde se verificaron tensiones en un estado no fisurado del hormigón, obteniendo datos teóricos de la condición actual de la estructura. Finalmente, toda la información, se reúne en un modelo BIM que permite verificar los datos obtenidos con la documentación obtenida y realizar modificaciones en etapas futuras.

Todos los estudios realizados permitieron obtener datos fundamentales para diagnosticar el estado de conservación del embarcadero. Por último, de parte de la investigación se quiere destacar la validez del hormigón como material resistente y durable en estructuras flotantes con un bajo nivel de mantenimiento.

Palabras Clave: Flotante, Hormigón, Estructura, BIM, Muelle.

Introducción

El muelle flotante, una infraestructura emblemática, encuentra su enclave en Villa Hernandarias, una localidad de la provincia de Entre Ríos en Argentina. Su ubicación a orillas del río Paraná, a una distancia de 90 km de la capital provincial (Figura 1) le otorga un papel estratégico en la historia y desarrollo de la región. Este sitio, elegido hace más de cuatro siglos por Hernando Arias de Saavedra (Hernandarias), marcó el primer desembarco de colonizadores españoles en la Mesopotamia Argentina, estableciendo las bases para la fundación de "Villa Hernandarias" en 1872, posteriormente ascendida a municipio en 1937 y finalmente a la categoría de ciudad en 2007.

Figura 1. Ubicación de Villa Hernandarias y vista en altura del Muelle Flotante

El embarcadero en cuestión, también conocido como pontón, es un ejemplo excepcional de una serie de estructuras flotantes de hormigón diseñadas y construidas por el Ministerio de Obras Públicas de la Nación desde 1919. Con más de un siglo de existencia, su construcción robusta y su estado de funcionamiento aceptable lo han convertido en un punto de actividad y servicio a lo largo de los años. Su origen se remonta a los astilleros del Río Santiago en La Plata, donde se le dio forma siguiendo un diseño de inspiración holandesa (Figura 2). En sus primeros días, sirvió como punto de atraque para barcos de pasajeros, vapores de carga, aduanas y almacén de mercancías, incluso con áreas de alojamiento dentro de su estructura flotante.

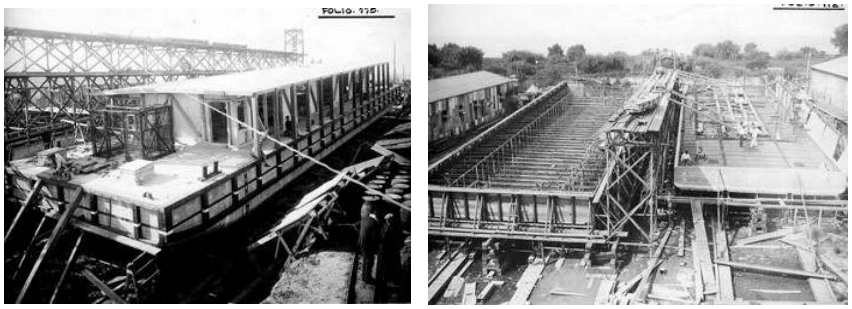


Figura 2. Encofrado y botadura del Muelle Flotante en astillero.

Un punto crucial en la historia de este tipo de infraestructuras ocurrió el 30 de septiembre de 1919, cuando el Congreso Nacional promulgó la Ley 10.927 de Embarcaderos Flotantes, autorizando su construcción para el servicio de cabotaje nacional en los ríos interiores, incluyendo el puerto de Villa Hernandarias a lo largo de las orillas del Río Paraná. Estructuras similares de la misma serie se pueden encontrar en puntos como Helvecia (Santa Fe) y Goya (Corrientes), aunque con destinos dispares en términos de conservación y funcionamiento. Mientras el pontón de Helvecia sufrió daños y hundimientos debido a crecientes y falta de mantenimiento, el de Goya, que actualmente está en evaluación, está en muy buenas condiciones.

Históricamente, el muelle desempeñó un papel vital como punto de conexión comercial entre Asunción (Paraguay) y Buenos Aires, aprovechando el flujo del río como principal arteria. Sin embargo, la incorporación del circuito ferroviario alteró este escenario y marcó el declive de su relevancia como centro comercial, transformándolo en un espacio versátil para diversas actividades (Figura 3).

Figura 3. Operación de desembarque en la instalación aduanera del Muelle Flotante

Desde la década de 1970, la planta baja del muelle ha albergado un restaurante e incluso ha funcionado como local recreativo de entretenimiento. Aunque cerró en 2010, actualmente el nivel de planta baja sirve como restaurante y el nivel de planta alta aloja oficinas municipales.

La singularidad del muelle radica en su construcción íntegra en hormigón armado, un enfoque poco convencional para estructuras flotantes. Aunque el hormigón armado es común en edificaciones terrestres, su aplicación en construcciones flotantes como muelles y barcos es inusual y plantea desafíos únicos. Esta elección desafía las normas establecidas y exige un análisis minucioso de las propiedades y el comportamiento del material en un entorno acuático, aspectos que esta investigación aborda.
En términos de ensayos materiales, se ha realizado un estudio de la carbonatación en el casco del muelle, utilizando perforaciones para evaluar su estado a lo largo del espesor. Esto ha sido acompañado por una inspección visual detallada de la estructura y un relevamiento geométrico completo, en conjunto con su arquitectura inherente. En este contexto, el presente trabajo busca registrar y documentar las características físicas actuales del muelle, permitiendo diagnosticar su estado de conservación, proyectar su vida útil y diseñar intervenciones que optimicen las instalaciones y las condiciones generales del edificio. Este enfoque no sólo pretende revitalizar un símbolo cultural y turístico para la ciudad, sino también contribuir al conocimiento y difusión de la utilización del hormigón armado en estructuras flotantes.

Relevamiento

1.1 Documentaciones antecedentes

Como parte del proceso de relevamiento del proyecto del flotante, se accedió a los planos originales en el archivo del muelle de Hernandarias (Figura 4). Estos documentos históricos fueron fundamentales para comprender la concepción inicial del diseño y las especificaciones estructurales del flotante. Los planos proporcionaron una base sólida sobre la cual se planifico y ejecuto el relevamiento detallado del sitio.
Estos planos sirvieron como punto de partida para el relevamiento posterior, permitiendo que el equipo de trabajo comparara las condiciones actuales del flotante con las especificaciones originales. La comparación facilito la identificación de modificaciones, desgastes y ajustes realizados a lo largo del tiempo, así como la planificación precisa del modelado BIM que se llevó a cabo posteriormente.

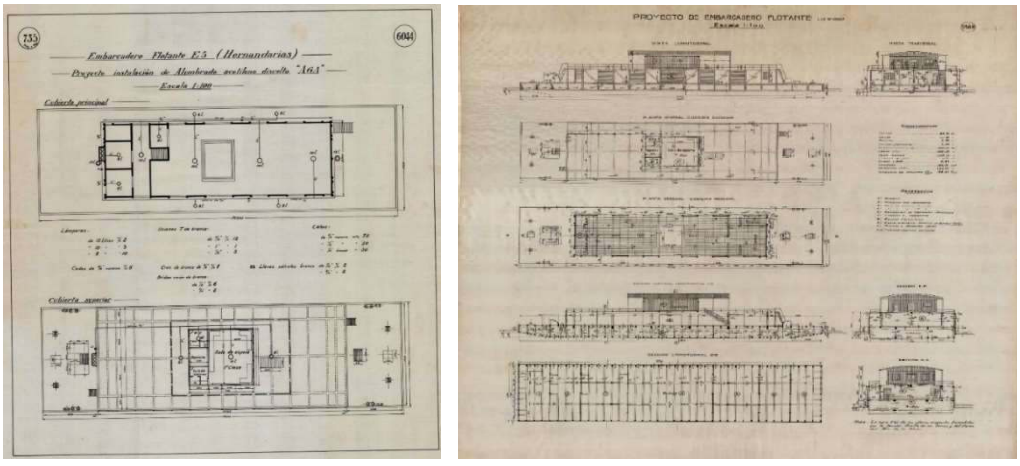


Figura 4. Encofrado y botadura del Muelle Flotante en astillero.

1.2 Relevamiento geométrico

El grupo de investigación visitó el sitio para realizar un relevamiento del flotante (Figura 5) de la situación actual, para poder elaborar la documentación actualizada necesaria.

Figura 5. Muelle flotante, situacion actual.

El relevamiento comenzó con una planificación detallada, donde se identificaron los puntos clave a medir en el flotante. El proceso de medición se realizó de manera sistemática, ingresando en los distintos niveles del flotante para documentar minuciosamente la ubicación de la estructura principal, así como la localización de las instalaciones. Cada medición tomada y cada detalle capturado a través de los recursos disponibles (Figura 6), contribuyeron a la construcción de un panorama más completo de la geometría del flotante. Esta información no sólo fue valiosa desde una perspectiva técnica, sino que también tuvo un impacto profundo en la documentación y preservación del legado cultural y arquitectónico de la estructura.

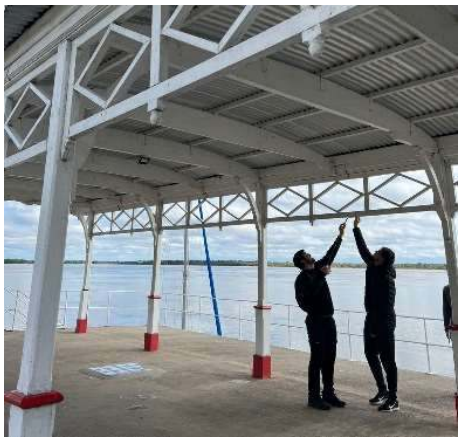


Figura 6. Equipo de investigacion relevando arquitectura en planta alta.

Al comprender la geometría y la arquitectura de la estructura de manera más profunda, se permite planificar estrategias que respetaran la integridad histórica del flotante mientras se abordaban los desafíos técnicos. Los resultados del relevamiento geométrico se convirtieron en un recurso esencial para futuros proyectos de puesta en valor de este símbolo para Villa Hernandarias. Además, la documentación detallada resultante no sólo sirvió como referencia para futuros trabajos, sino que también contribuyó a la educación y la sensibilización sobre la importancia del patrimonio arquitectónico.

1.3 Relevamiento estructural

Para comenzar con la inspección y análisis del estado estructural del flotante, el grupo de investigación recorrió la embarcación con el objetivo de identificar falencias, patologías y posible deterioro. Como ya se dijo, la estructura del pontón esta realizado casi íntegramente de hormigón armado, solamente la cubierta del segundo nivel está construida con madera como material estructural principal. El flotante se divide en tres niveles, nivel de sótano o bóvedas, que son los compartimentos vacíos que le permiten flotar a la embarcación. El nivel de planta baja, por el cual

se accede a la embarcación. Por último, el nivel de planta alta que cuenta con una oficina y una terraza.
Este trabajo enfoca la inspección estructural de las bóvedas que permiten flotar al muelle, para eso el equipo ingreso dentro de estas para realizar una inspección visual del mismo. Dentro de la inspección se distinguió una clara diferencia en el estado del hormigón localizado en las bóvedas de los extremos y el de las cámaras centrales.
Se menciona que el hormigón observado, presenta un buen estado de conservación, con pocas fisuras y grietas, y fundamentalmente sin infiltración de agua del rio. Sin embargo, al ingresar a las distintas bóvedas, se pudieron identificar otro tipo de patologías.
En las cuatro bóvedas localizadas a los extremos del flotante, se observa que el hormigón se encuentra en buen estado y seco. No obstante, se observó perdida en el recubrimiento de la estructura de la losa superior, así como eflorescencias en los muros (Figura 7).

Figura 7. Perdida del recubrimiento de la losa y eflorescencias en los muros

Por otra parte, en las ocho cámaras centrales del flotante, el aspecto del hormigón era completamente distinto. En primera instancia se notó la presencia de agua, procedente de las tareas de limpieza del primer nivel. Y así mismo, se observó una mayor pérdida del recubrimiento en las distintas partes de la estructura, eflorescencias en gran parte de los elementos estructurales, así como un deterioro en la madera localizada en la parte superior (Fig. 8).

Figura 8. Agua en el interior de las bovedas.- Perdida de recubrimiento, eflorescencias y deterioro de la madera.

Dado el valor histórico que representa el flotante, la inspección visual no sólo se centró en documentar las falencias en el mantenimiento del interior de las bóvedas, sino también en destacar sino también en destacar la importancia histórica, cultural y turística que este tiene para la comunidad de Hernandarias. Los resultados obtenidos de la inspección visual son fundamentales para desarrollar proyectos de preservación que permitan proteger y continuar con este atractivo turístico que el flotante representa para Villa Hernandarias.

1.4 Modelo BIM

A partir del relevamiento realizado sobre el flotante, todos los datos obtenidos se volcaron en un modelo de información de construcción (BIM: Building Information Modeling). Este modelo representa fielmente cada uno de los elementos relevados del flotante, incluyendo su estructura principal, arquitectura y componentes menores. El proceso de modelado fue meticuloso, comenzando con la interpretación y organización de los datos obtenidos, seguido por la creación de las geometrías básicas y, finalmente, la incorporación de detalles estructurales y de materiales.

Se realizaron ajustes específicos en los elementos de modelado para abordar problemas relacionados con las intersecciones de elementos y la representación precisa de las curvaturas y uniones características del diseño del flotante. Además, se optimizaron los recursos del software para manejar eficientemente el nivel de detalle requerido.

Figura 9. Modelo BIM del flotante

El resultado final es un modelo BIM de alta precisión, (Fig. 9) que no solo documenta de manera detallada el estado actual del flotante, sino que también facilita su análisis y evaluación para futuras intervenciones. Este modelo servirá como base para la planificación y ejecución de tareas de mantenimiento, así como para la toma de decisiones en futuras fases del proyecto, demostrando el valor del uso de BIM en la gestión eficiente y sostenible de infraestructuras complejas como el flotante de Villa Hernandarias.

Modelo estructural

Para comprender su comportamiento estructural, se realizó un análisis utilizando un modelo tridimensional de elementos finitos tipo Shell con el software RFEM5, destacando la complejidad de la estructura debido a su interacción con el agua. Se consideraron diversas condiciones de carga, como el impacto del oleaje del río Paraná y la presión del agua sobre la estructura sumergida con

un análisis de grandes deformaciones (Figura. 10). El estudio incluye una evaluación detallada de los estados tensionales en el hormigón en un estado no fisurado. Esto nos permitió una mayor comprensión del comportamiento estructural y la posibilidad de prevenir posibles fisuras a lo largo del tiempo.

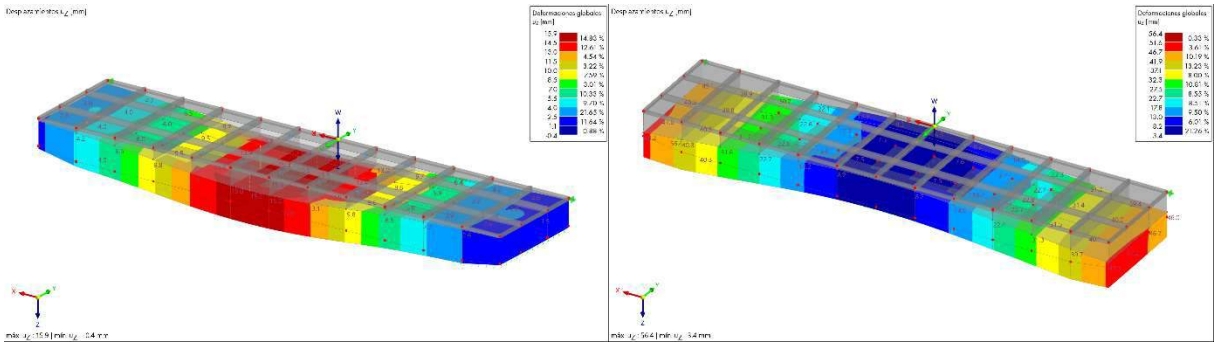


Figura 10. Modelo estructural embarcación

Carbonatación

El objetivo de esta sección es determinar la posición del frente de carbonatación, dado que el fenómeno condiciona a las barras de acero de refuerzo embutidos en la masa, vulnerando la protección que el hormigón ofrece ante agentes externos. Se propone, realizar una estimación teórica del tiempo restante para que el frente de carbonatación alcance la posición de las armaduras.

1.5 Definición de carbonatación

La carbonatación es la difusión del dióxido de carbono (CO_2) del aire a la masa del hormigón, y se define como un agente de deterioro químico que afecta prácticamente a la totalidad de las estructuras de hormigón. Este proceso avanza del exterior al interior de la masa de hormigón, a través de los poros hasta alcanzar el acero de la armadura teniendo importancia el tiempo y la profundidad de afectación. La velocidad de afectación depende fundamentalmente del contenido de humedad relativa del ambiente, la cantidad de álcalis libres en la pasta de cemento para reaccionar y la porosidad del material.

Para que la carbonatación ocurra, el CO_2 debe entrar en contacto con el agua y los componentes alcalinos presentes en los poros del hormigón. El ambiente en que se encuentre el hormigón también es fundamental para el avance del frente de carbonatación, es por esto, que en ambientes con una humedad relativa que varie entre el 50% y el 70%, el avance de este frente se dará con mayor rapidez; por el contrario, la carbonatación prácticamente no ocurre en ambientes completamente secos o saturados. En cuanto a la porosidad del material, esta se ve influenciada por la relación agua/cemento, el proceso de curado y/o compactación.

El hormigón brinda un ambiente alcalino (rango de pH de 12 a 13) que protege al acero contra la corrosión, brindando una capa de oxido sobre la superficie del acero que es estable en un ambiente alcalino. El ingreso del CO_2 produce una reducción en el pH hormigón, llevándolo a niveles por debajo de 8, favoreciéndose la reacción química del hierro con los agentes corrosivos.

El sector carbonatado del hormigón se determina experimentalmente mediante la técnica colorimétrica de teñido con fenolftaleína con un rango de viraje comprendido entre pH 8.2 y 9.8, donde el hormigón no carbonatado adopta un color morado, (Figura 11)

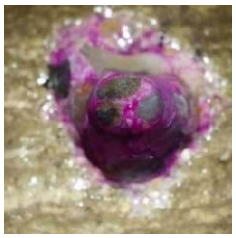


Figura 11. Color adoptdo por el hormigon no carbonatado.Imagen obtenida de los ensayos en el sitio

En el caso de estudio, se ingresó al interior del flotante para evaluar la carbonatación en columnas, vigas y paredes. Para estos trabajos, se procedió a la realización de 6 (seis) perforaciones, luego se limpiaron los orificios realizados para posteriormente introducir la fenolftaleína.

1.6 Modelo teórico para estimación de vida útil

El modelo teórico es un mecanismo de movimiento de la carbonatación dentro del hormigón, explicado por la teoría de la difusión, y se describe por la primera ley de Fick. Esta es la modelación de progresión más utilizada hasta el momento, y responde a la Ecuación (1) (durar, 1992). Cabe destacar que esta brindará una estimación teórica, y deberá ser aceptada con cautela a la hora de tomar decisiones con respecto al estado estructural.

$$x = K_{CO2}\sqrt{t} \qquad (1)$$

Siendo:
X=Profundidad de carbonatación, mm
K_{CO2} = Constante de carbonatación, mm año-0.5
t= tiempo en años

Resultados

1.7 Análisis de resultados

El grupo ingreso al interior de las bóvedas para realizar 6 perforaciones (Figura.12), con sus respectivos ensayos de carbonatación, de los cuales cinco de ellos no presentaron ningún signo de deterioro y en el que se detecto fue del orden del medio centímetro.

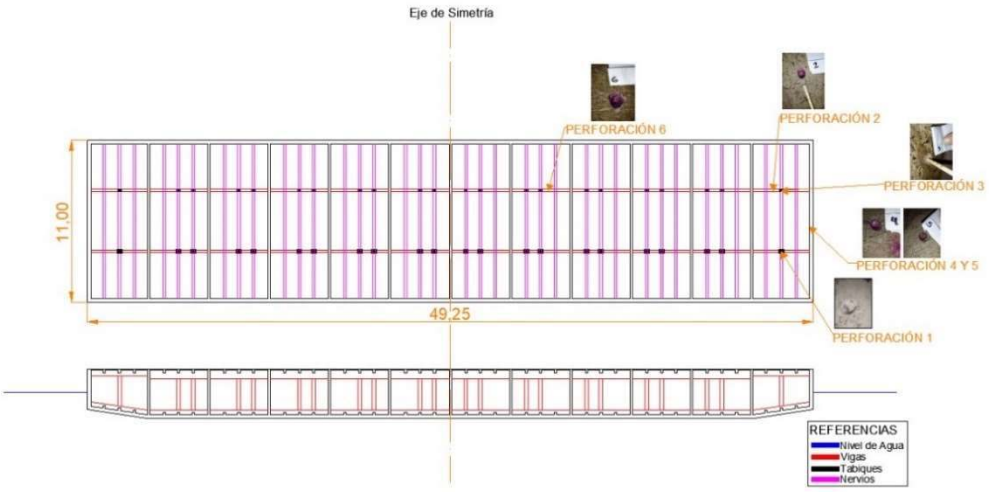


Figura 12. Localzacion de las perforaciones dentro del flotante

La mayor profundidad de carbonatación fue de 6 mm, la cual es casi nula para una estructura centenaria. Como parte de la investigación, se continuo el análisis con este frente de carbonatación para permanecer del lado de la seguridad. En la figura 13 se observa la perforación N°1 realizada en una columna, la cual presenta una carbonatación de 6 mm.

Figura 13. Penetracion de 6 mm con muestras de carbonatacion.

1.8 Estimación de alcance de frente de posición de armaduras

El agotamiento de durabilidad (considerando solo carbonatación), responde a la pérdida de protección que ofrece el hormigón hacia el acero presente en la armadura de este. La estimación es meramente teórica y debe ser considerada con suma cautela, ya que el alcance del frente de carbonatación a la posición de las armaduras es la culminación de una etapa, a la que le sigue el inicio de la corrosión. Por tal motivo, no habrá un posible colapso de la estructura, sino que, desde el punto de vista de la durabilidad, estamos al comienzo de un avance del deterioro general de esta. Para un correcto control de las estructuras, se deberán realizar controles periódicos, ya que dicha estimación puede sufrir alteraciones.
Para estimar el tiempo de avance se utilizó el modelo de Fick, ya descripto. Se consideró el escenario más desfavorable (tabla 1), es decir, que se tomó para el cálculo el recubrimiento mínimo de barras de acero estimado, el espesor máximo de carbonatación y se le aplicó un coeficiente de seguridad, hechos que no necesariamente ocurren el mismo lugar.

Tabla 1 - Estimación de agotamiento de protección.

Espesor de recubrimiento mínimo (mm)	20,00
Coeficiente de reducción	0,70
Espesor reducido (mm)	19,00
Espesor carbonatado adoptado actual (mm)	1,00
Espesor carbonatado máximo actual (mm)	1,00
Años transcurridos	100
Coeficiente KCO2	0,6
Tiempo estimado restante (años)	+100

El resultado obtenido de la estimación para el estado actual de la estructura es que no presentaría inconvenientes en los próximos 100 años, que está sujeta a ciertos condicionantes, como que se modifiquen algunas de las variables, que aceleren la carbonatación. Los resultados se graficaron en la figura 14.

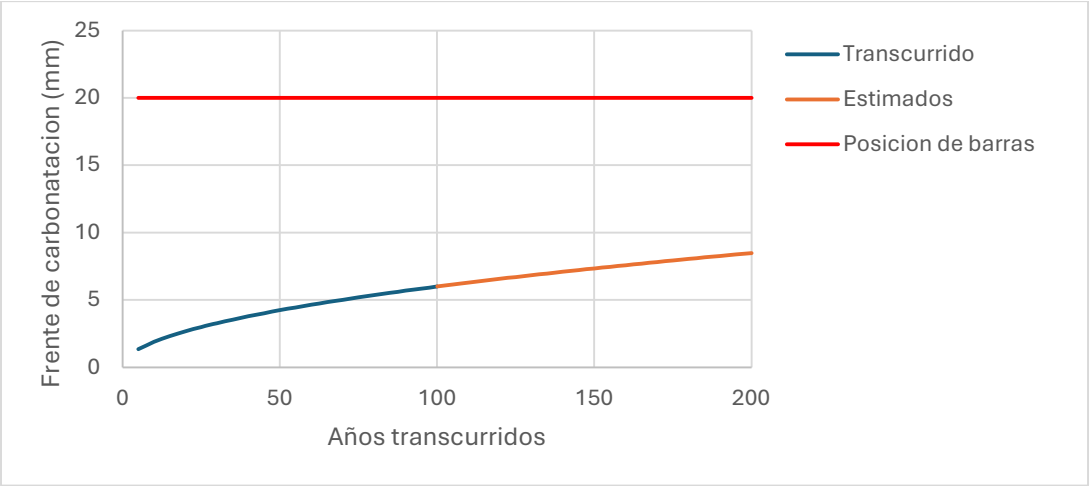


Figura 14. Frente de carbonatacion a traves de los años.

Conclusiones

A partir del relevamiento y de los análisis realizados, es posible concluir que el estado general del flotante es bueno, teniendo en cuenta el uso actual de la embarcación, el cual no recibe cargas portuarias. Estructuralmente no presenta patologías de gravedad visibles y el ensayo de carbonatación dio resultados de muy bajo frente de carbonatación por lo que se puede presumir que se mantendrá así. Del estado general, aunque sin urgencia especifica, se determina que se debe proceder con la resolución de las patologías observadas.
Estos resultados permiten ampliar las perspectivas de uso futuro para el pontón y habilitan la proyección de múltiples opciones para su re-funcionalización, con el fin de poner a la vista su valor cultural e histórico para Villa Hernandarias (Figura 15).

Figura 15. Muelle Flotante en la actualidad.

Por último, de parte de la investigación se quiere destacar la capacidad del hormigón como material flotante y durable, que le permitió a este flotante alcanzar los 100 años con un bajo nivel de mantenimiento. Además de proyectar otra gran cantidad de años sin grandes patologías. Esta indagación se suma al aval de la tecnología del hormigón en construcciones flotantes. Además, abre un camino de reflexión sobre las posibilidades que los materiales y procedimientos contemporáneos, mejorados con relación a los usados un siglo atrás, pueden promover actualmente o en un futuro cercano en este tipo de construcciones.

Referencias

Agencia de Noticias del Interior. (25 de agosto de 2023). HERNANDARIAS: pesca deportiva y apacibles paisajes. R24N NOTICIAS. https://r24n.com/contenido/242824/hernandarias-pesca-deportiva-y-apacibles-paisajes

Balzamo, H. et al. (Octubre de 2012). Capítulo 10: Hormigon Endurecido. En N. G. Maldonado & M. F. Carrasco (Eds.), Ese material llamado HORMIGÓN. Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón.

El Muelle Flotante, Hernandarias. (s/f). argentinaturismo.com.ar Portal Turístico Nacional. https://www.argentinaturismo.com.ar/hernandarias/el-muelle-flotante.html

Koekoek, M. (2010). Connecting modular floating structures. Gemeente Rotterdam: Netherlands.

APLICACIÓN DE MORTEROS SUSTENTABLES CON ADICIÓN DE FIBRAS PARA SER USADOS EN PRESTACIONES ESPECIALES, REPARACIONES, REFUERZO ESTRUCTURAL Y/O AMBIENTES SEVEROS.

Carina R. Andrada[1], Fiamma J. Bossio[1], Luz Ceballos[1], Bruno Fulginiti[1], Simón F. Beltrame[1]

[1]CINTEMAC, Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Córdoba, Maestro M. Lopez esq. Cruz Roja Argentina S/N, Córdoba 5016
fiammabossio@gmail.com

Resumen

En el presente proyecto se apuntó a obtener morteros sustentables para ser aplicados en mayores prestaciones, como ser reparación de estructuras, refuerzos estructurales, entre otros. Por lo anterior, y tratando de lograr un material de alta resistencia a la tracción que permita cumplir con tales exigencias, se planteó la inclusión de fibras. Las fibras pueden proporcionar una adecuada resistencia mecánica a los esfuerzos internos de la mezcla. Al encontrarse homogéneamente distribuidas dentro de un mortero, constituyen una micro-armadura que, por un lado, se muestra extremadamente eficaz para contrastar el ya conocido fenómeno de fisuración por retracción y, por otro, confiere a la mezcla una ductilidad que puede llegar a ser considerable en la medida en que sea elevada la resistencia misma de las fibras. Las reparaciones de morteros cuyas grietas no superan el centímetro de ancho actualmente se resuelven mediante la utilización de llaves o trabas. Las trabas quedan expuestas y la continuidad estructural sigue siendo un problema debido a la concentración de tensiones donde se incluye la armadura. Una solución técnica y estética es desarrollar morteros con la incorporación de fibras de acero, provenientes de virutas que hoy constituyen un scrap o un residuo de herrerías, con distintos porcentajes, del 5% al 20%. Se los comparó mecánicamente a compresión y flexión a 7 y 28 días con un mortero referencia y morteros con 10% y 20% de fibras comerciales de hierro. Los resultados mostraron que los morteros con fibras de viruta alcanzaron mejores resistencias mecánicas pero una dificultosa trabajabilidad. Por esto, posteriormente se procedió a estudiar la incorporación de fibras plásticas resultantes de residuos domésticos en búsqueda de una mayor prestación obteniendo una mejora notable en las propiedades, dando como resultado su compatibilidad para ser utilizado como refuerzo de contrapisos y pavimentos de mediano y bajo tránsito.

Palabras claves: Morteros, Fibras, Adición, Sustentabilidad.

Introducción

La presencia de fisuras en morteros de mampostería es una patología recurrente a nivel habitacional. Estas fisuras se presentan por asentamientos diferenciales de los muros y/o debido a que existen variaciones dimensionales causadas fundamentalmente por efectos térmicos y/o de contracción por secado que generan tensiones en los mismos. Esto provoca la separación de la masa de mortero generando fisuras de aperturas variables, algunas de ellas considerables.

Luego de solucionar la problemática de base (por ejemplo, con el recalce del muro) es importante brindar una solución técnica y estética a la apertura del aparejo. La solución constructiva en la actualidad, para este tipo de patologías es la utilización de llaves o trabas que consiste en retirar parte del mortero de revestimiento en la zona fisurada, llegando hasta la mampostería y luego perforar y colocar hierros en forma de “u” para “coser” la grieta y consecuentemente reparar el revoque. Luego del curado, la llave de acero se visualiza en la superficie resultando una terminación poco estética.

Este trabajo forma parte de la continuación de un proyecto de investigación (Andrada, 2022) en el que se trabajó con la incorporación de fibras recicladas obtenidas de scrap de acero, resultantes del producto de descarte de talleres de tornería y herrería, donde este residuo para ser reutilizado en la industria siderúrgica debe sufrir una transformación física y química. Por esto, lo que se

planteó fue la utilización del mismo tal y cómo se encontraba, sin la incorporación de aporte energético para su transformación. Se probaron diferentes dosificaciones con adición del 5% al 20% en peso respecto del cemento en fibras. Logrando mejorar las propiedades del mortero, pero complicando su trabajabilidad. En vista de esta problemática se continuó la investigación probando con fibras recicladas plásticas, provenientes de escobillones y escobas en desuso. Manteniendo la premisa de no incluir grandes consumos energéticos para la transformación del residuo.

Atentos a que mundialmente la tendencia tanto industrial como de la construcción, está enfocada en la medida de lo posible en la economía circular y en concordancia con los objetivos de desarrollo sostenible es que se plantea la reutilización de materiales que hoy en día constituyen un residuo y de esta manera se extiende su vida útil (Andrada, 2009) (Andrada, 2022). La extensión de vida útil de un residuo permite menor consumo de recursos no renovables y a su vez un ahorro energético. Acorde a este concepto, se pensó este material como un mortero capaz de albergar fibras recicladas. Como se mencionó anteriormente, en una primera etapa de la investigación, se trabajó con fibras resultantes del scrap de la industria de la tornería como fibras recicladas, comparando su comportamiento con un mortero patrón y fibras comerciales (Andrada, 2022). En esta etapa se avanzó con el estudio, utilizando fibras plásticas provenientes de escobas y escobillones en desuso.

De esta manera, se pretende dar aplicabilidad a un material que hoy constituye un residuo y que puede ser utilizado como fibra sin sufrir transformaciones químicas ni físicas. El procesamiento consiste únicamente en extraer las cerdas del plástico contenedor, sin transformarlas, logrando un mortero con fibras que permita absorber las tensiones en la grieta y reemplazar la colocación de trabas. También, hacer extensivo el uso de este mortero con fibras para la reparación de contrapisos y pavimentos de cargas ligeras.

Objetivos

- Verificar la factibilidad de incorporación de fibras plásticas recicladas en morteros.
- Verificar que las propiedades físicas y mecánicas encuadren dentro las normativas de morteros en la República Argentina.
- Verificar la trabajabilidad de la mezcla con esta incorporación.
- Analizar las propiedades que le confiere la fibra y la compatibilidad con el cemento y estabilidad química.
- Verificar la mejora en la resistencia a compresión y flexión de la mezcla con fibras recicladas respecto del mortero patrón y de fibras comerciales.
- Verificar que la mezcla obtenida sea apta para reparaciones de contrapisos y pavimentos de bajo tránsito / tránsito liviano.

Plan experimental

Se diseñó una mezcla patrón de mortero de cemento portland y agregados de peso normal (arenas naturales) como comparador de las mezclas modificadas. Se lo designó con las siglas MP.

Por otro lado, se diseñó un mortero con adición de fibras plásticas. Estas fibras recicladas fueron obtenidas de escobillones y escobas en desuso, cortando las mismas del plástico contenedor y utilizándose tal cual se obtienen del residuo. El porcentaje de incorporación se basó en la recomendación que existe de fibras comerciales plásticas con características similares. Utilizando en este caso 3,275 kg/m³ (kg.fibra/m³). Según datos de fibra comercial se recomienda de 0,9 a 4,5 kg/m³, de modo que la dosis elegida está dentro de ese rango. Esta mezcla se denominó ME10.

Para cada una de las muestras se evaluó, en estado fresco la trabajabilidad, mediante el escurrimiento en la mesa del flow table. Y en estado endurecido, las propiedades mecánicas:

resistencia a compresión y flexión a 7 días y a 28 días del mortero y peso unitario. Todos estos ensayos se realizaron tanto para el mortero patrón como para el mortero con fibras recicladas.

Para evaluar el comportamiento como reparación en contrapisos y pavimento de bajas cargas se evaluó solamente el mortero con adición de fibras. Se realizó el ensayo a compresión de probetas cilíndricas, ensayo a tracción por compresión diametral, ensayo de viga a Flexión y ensayo de choque en baldosas. Este último para estudiar el comportamiento ante un impacto.

Todos los ensayos se realizaron en tres probetas como mínimo, por lo que se obtuvo un resultado promedio de todas aquellas muestras consideradas válidas de acuerdo a lo que dicta la Norma IRAM de cada uno de los ensayos realizados.

Materiales y métodos

A continuación, se presentan las características físicas de los materiales utilizados: cemento, arena mezcla, fibras recicladas plásticas.

Cemento

Se utilizó un cemento portland con filler calcáreo de denominación CPF 40, de procedencia de la provincia de Córdoba. Con una resistencia a la compresión de 40 MPa a los 28 días.

Agregados

Se utilizaron dos arenas, una fina y una gruesa, de origen natural de cauces de ríos de la provincia de Córdoba, cuyas partículas son de forma redondeada. Las muestras analizadas no contienen impurezas, sales ni tierra.

La arena utilizada para esta investigación es una arena mezcla, con 40% de contenido de arena fina y 60% de arena gruesa para obtener una mejor distribución granulométrica y módulo de finura. En la Fig. 1 se observan las curvas granulométricas obtenidas. Los agregados se caracterizaron con densidad relativa, módulo de finura y porcentaje de absorción (Tabla 1) (IRAM 1505, 2003) (IRAM 1520, 2003).

Tabla 1: Caracterización del agregado natural

Muestra	Densidad relativa [g/cm^3]	Absorción [%]	Módulo Finura
Arena mezcla	2,63	1,2	2,62
Arena Fina	2,63	1,2	1,98
Arena Gruesa	2,63	1,0	3,05

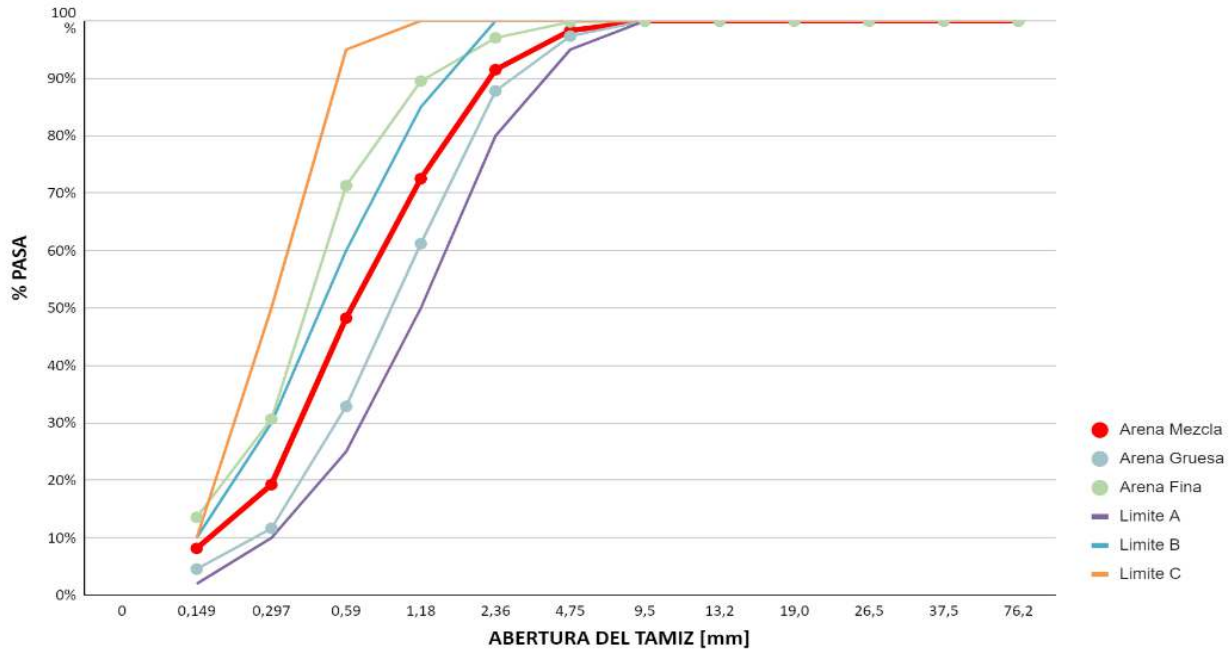


Fig.1: Granulometría de los agregados.

Fibras recicladas

Las fibras utilizadas fueron obtenidas de escobas y escobillones en desuso de origen domiciliario (Fig. 2). Se retiraron del plástico contenedor que conforma el escobillón y se utilizaron las cerdas del mismo como fibra dentro del mortero (Fig. 3).

Fig. 2: Escobillones en desuso.

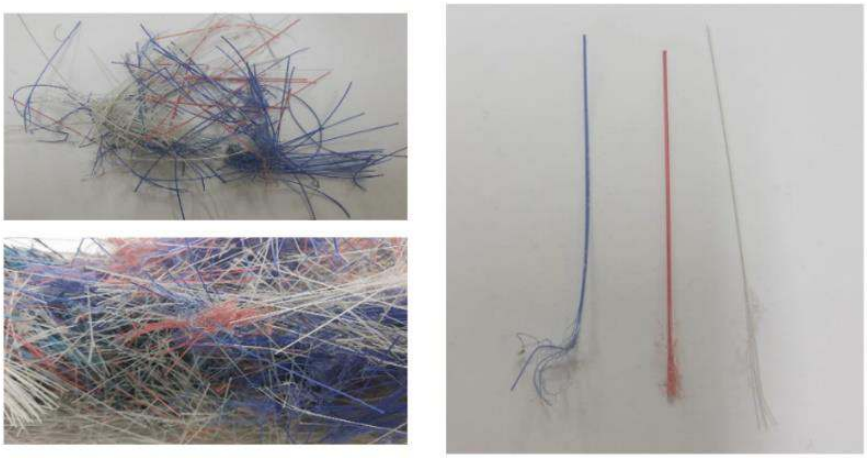


Fig. 3: Fibras seleccionadas.

La longitud y el diámetro de las cerdas plásticas pueden variar dependiendo del tipo de escoba y su uso específico, oscilando su longitud entre 5 y 10cm y en cuanto al diámetro, varían entre los 0,2 y 0,5mm. Su composición suele ser de polipropileno o nylon y por tratarse de un material reciclado, como visualizamos en las Figuras 2 y 3 cuentan con un desgaste generado por su uso que provoca la separación de la fibra.

Para la selección de las fibras se consideró que estas tuvieran una longitud uniforme, teniendo presente que esto ayuda a mantener una distribución homogénea del refuerzo en el mortero, mejora su resistencia a la fisuración y asegura propiedades mecánicas más consistentes y predecibles.

Ensayos de laboratorio

A continuación, se presentan los métodos utilizados tanto para la determinación de la dosificación a emplear como los ensayos en estado fresco y endurecido utilizados.

Dosificación

Para el diseño de las mezclas se consideraron las especificaciones de la Norma IRAM 1676. El mortero patrón se compone en masa por una parte de cemento, 3 partes de arena y cantidad necesaria de agua para alcanzar una consistencia +/- 110 %.

Los morteros con fibras conservan la misma dosificación de cemento, agua y agregados del mortero patrón, sólo que se adicionan 3,275 kg/m³(kg.fibra/m³). Respetando la recomendación del fabricante para fibras plásticas de similares características, de 0,9 a 4,5 kg.fibras/m³. En la Tabla 2 se presentan las dosificaciones utilizadas para 1m³.

Tabla 2: Identificación tipos de morteros y dosificación

Designación	Cemento [kg/m3]	Agregado [kg/m3]	Fibras [kg/m3]	Relación a/c
MP	450	1350	0	0,55
ME10			3,275	

Ensayos en estado fresco

Ensayo de consistencia

Fue el parámetro utilizado para dosificar el mortero patrón, de acuerdo a lo establecido en la Norma IRAM 1570. La determinación se realizó utilizando el método del escurrimiento en la mesa Flow Table. Manteniendo fijas las cantidades de agregados y cemento, la variable es el agua necesaria para obtener escurrimiento de 210 cm que equivale a una consistencia de 110 %. Este mismo ensayo se realizó al mortero con fibras, ya que la dosificación sólo varió en la adición de fibras, el objetivo fue verificar cambios en la trabajabilidad.

Ensayos en estado endurecido

Resistencia a la flexión y a la compresión.

Los valores de resistencia a flexión se determinaron a 7 y 28 días en probetas prismáticas de 4x4x16 cm³ (IRAM 1622, 2006).

Masa real seca del mortero en estado endurecido.

Se determina la masa real seca, medidas sobre un volumen constante, utilizando probetas de 4x4x16 cm³.

Resistencia a Compresión de probeta cilíndricas

Ensayo a compresión de probetas cilíndricas de 10x20 según Norma IRAM para hormigón de cemento portland a compresión a 28 días (IRAM 1546, 1992).

Resistencia a tracción por compresión diametral

Tracción por compresión diametral según norma IRAM de hormigón para la determinación de la resistencia a la tracción por compresión diametral a 28 días en probetas cilíndricas de 15x30 (IRAM 1658, 1995).

Resistencia a flexión de vigas

Viga a Flexión según norma IRAM de hormigón de cemento portland para ensayo a tracción por flexión a 28 días en probetas prismáticas de 15x15x60 (IRAM 1547, 2011).

Resistencia al impacto

Ensayo de Choque en baldosas según norma IRAM para baldosas aglomeradas en cemento con cara vista plana (IRAM 1522,1971). Para el cual se confeccionar dos baldosas de 5x20x20cm.

Resultados y discusiones

En la Tabla 3 se presentan los resultados obtenidos de los ensayos mencionados anteriormente:

Tabla 3: Resultados obtenidos

Ensayos	Unidad	MP	ME10
Consistencia – IRAM 1570	%	110	110
Resistencia a flexión – 7 días IRAM 1622	MPa	4,7	3,7
Resistencia a flexión – 28 días IRAM 1622	MPa	6,5	6,5
Resistencia a compresión – 7 días IRAM 1622	MPa	18,3	22,3
Resistencia a compresión – 28 días IRAM 1622	MPa	26,3	35,5
Masa real seca del mortero en estado endurecido	gr	578	580
Resistencia a compresión de probetas cilíndricas – IRAM 1546	MPa	-	32
Resistencia a tracción por compresión diametral – IRAM 1658	MPa	-	11
Resistencia a flexión de vigas – IRAM 1547	MPa	-	2,9
Resistencia al impacto – IRAM 1522	-	-	Se percibieron roturas a 90 y 60 cm de altura.

En la Fig. 4, mediante un gráfico de barras, en color gris se representan los valores de resistencia obtenidos para el mortero patrón y en color verde los valores de las resistencias para cada uno de los ensayos para el mortero con agregado de fibras recicladas. Como así también, la comparativa de los resultados de los ensayos de consistencia para ambas muestras.

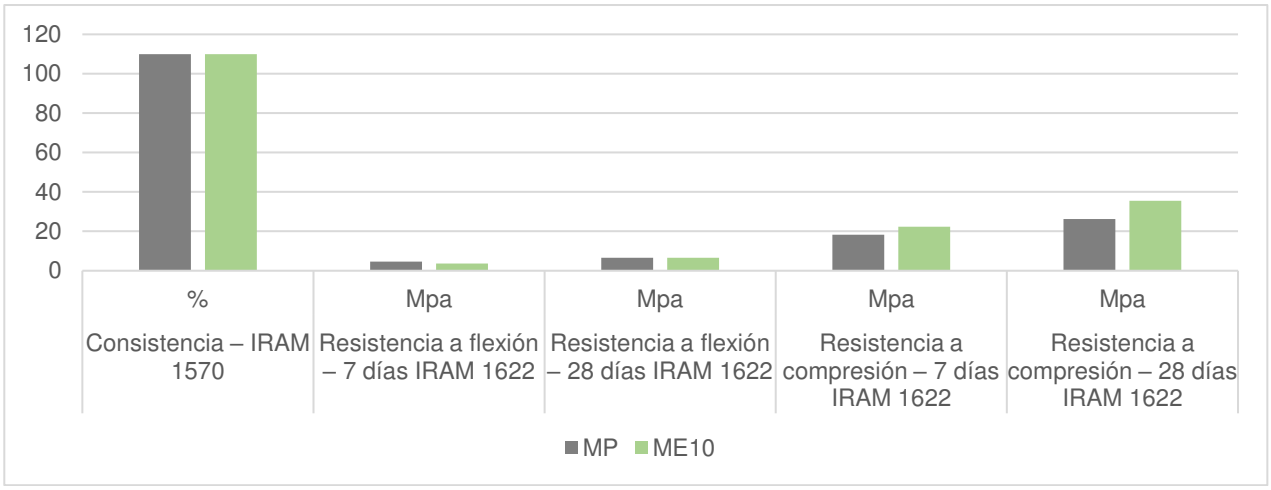


Fig. 4: tabla comparativa de resultados entre el mortero patrón y el mortero con fibras recicladas.

Los resultados de resistencia obtenidos muestran que los morteros con adición de fibras recicladas presentan propiedades mecánicas acorde a lo especificado en las normativas de morteros en el país.
La incorporación de fibras plásticas recicladas no modifica la trabajabilidad como así tampoco la masa del mortero, esto se visualiza en la Tabla 3 donde se expresan los resultados de los ensayos de consistencia y masa respectivamente. Analizando estos resultados, respecto a la investigación anterior de mortero con incorporación de virutas de acero producto de residuos de herrería, es un punto positivo ya que se logra insertar una fibra reciclada al mortero sin afectar negativamente a la trabajabilidad del mortero.

A continuación, se presentan imágenes de las muestras ensayadas (Fig. 5) (Fig. 6) (Fig. 7) (Fig. 8), en las que se puede visualizar la composición de la masa de mortero y la distribución homogénea de las fibras recicladas de longitud uniforme en toda en la matriz cementicia, donde no se observan aglomeraciones de fibras ni flotación de las mismas.

En la Fig. 5 se observa la rotura de la probeta ensayada a flexión y en la Fig. 6, una de las muestras ensayadas a tracción por compresión diametral.

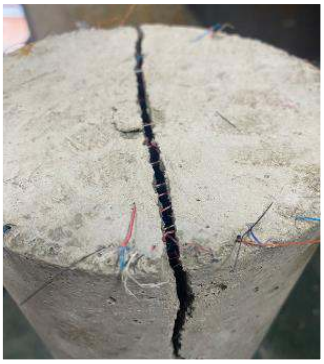


Fig. 5: Rotura a flexión - Fig. 6: Rotura a tracción

En la Fig. 7, encontramos una pieza ensayada a flexión en formato viga y en la Fig. 8 la rotura de una baldosa a impacto.

Fig. 7: Rotura a flexión – Fig. 8: impacto

Mecánicamente, encontramos analizando los resultados expresados en la Tabla 3, que la incorporación de fibras resulta en una mejora en el comportamiento de los morteros a flexión a partir de los 28 días, ya que se observa que a los 7 días la resistencia es menor que la del mortero de referencia.

A compresión, la mejora resulta notable en ambas edades de ensayo. Se observa en las Figuras 5 y 6 que la adherencia de las fibras al mortero es buena, logrando mantenerse unido a la matriz cementicia inclusive luego de la rotura y encontrando que el desgaste de las cerdas favorece a la misma, no obstante, requiere de un estudio más detallado en el futuro.

Se observa en los resultados a flexión en vigas y tracción por compresión diametral que el mortero cumple con la resistencia mínima para formar parte de un contrapiso. Por lo tanto, se cumple la premisa de que podría ser utilizado para reparaciones de los mismos.

Según la normativa de ensayo de impacto (IRAM 1522, 1971), la cual establece que una baldosa no debe romperse por la caída de una pesa de determinadas características desde alturas inferiores a 70 cm, encontramos que los valores obtenidos, presentados en la Tabla 3, no fueron uniformes y al no haber detectado las razones aparentes que desencadenaron esta situación, es que no se pudieron obtener resultados a través de su análisis, requiriendo un estudio más detallado en el futuro.

Conclusiones

Del análisis de los resultados obtenidos se puede concluir en primer lugar que es viable la incorporación de las fibras plásticas recicladas de escobillones en desuso de origen domiciliario.

Respecto de la característica sustentable del material se concluye que la utilización de este tipo de morteros generaría una contribución positiva al medio ambiente, ya que se utiliza un residuo tal cual se encuentra sin transformación química, con una pequeña transformación física que consiste en sacar las cerdas de su plástico contenedor.

Como conclusión de la labor realizada se puede decir que se ha logrado un material de buena trabajabilidad en estado fresco y con mejores condiciones de resistencia frente al mortero patrón. Los resultados obtenidos permiten asumir de que el mortero diseñado con fibras plásticas recicladas entrega resultados alentadores para su aplicación, dando lugar a continuar esta línea de investigación para analizar la factibilidad de su aplicación en reparaciones de fisuras y contrapisos de bajo tránsito

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por la Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Córdoba mediante el programa PID UTN. Los autores e integrantes desean expresar su mas sincero agradecimiento al CINTEMAC de esta casa de estudio por brindar la oportunidad de llevar a cabo este proyecto, su colaboración y recursos brindados han sido esenciales para su desarrollo y éxito.

Referencias

Andrada, R.; Baronetto, C.; Positieri, M.; Oshiro, A.. (2009). “Estudio de morteros elaborados con agregado de reciclado de residuos de la construcción”. 51º Congresso Brasileiro do Concreto, Brasil – ISBN 978-987-21660-3-8. Edición 17. Pp 53-60,.

Andrada, R.; Mugetti, V.; Bossio, F.. (2022). “Morteros sustentables con adición de fibras para ser usados en reparaciones”, X Congreso Internacional y 24a Reunión Técnica de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón, “Ing. Eugenia Valiente”.

IRAM 1570. (1994). Morteros para mampostería. Determinación de la consistencia. Método de escurrimiento.

IRAM 1622. (2006). Cemento portland: método de determinación de las resistencias a la comprensión y a la flexión.

IRAM 1676. (2007). Morteros para mampostería. Clasifica y requisitos.

IRAM 1546. (1992). Hormigón de cemento portland. Método de ensayo a compresión.

IRAM 1658. (1995). Hormigón. Determinación de la resistencia a la compresión simple por compresión diametral.

IRAM 1547. (2011). Hormigón de cemento portland. Ensayo de tracción por flexión.

IRAM 1522. (1971). Baldosas aglomeradas con cemento con cara vista plana.

INSERCIÓN DE USUARIOS RESIDENCIALES ELECTROINTENSIVOS EN EL SADI: ANÁLISIS ECONÓMICO DE PROPUESTA DE OBRAS EN 500 KV PARA ELIMINAR RESTRICCIONES (PARTE 3)

Ulises Manassero[1], Pablo Marelli[1], Javier Acosta[1], Diego López[1], Juan P. Fernández[1]

[1] Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe, Centro de Investigación y Desarrollo en Ingeniería Eléctrica y Sistemas Energéticos (CIESE), Lavaise 610, CP 3000
ulisesmanassero@hotmail.com

Resumen

Con el propósito de establecer un uso más eficiente de los hidrocarburos de Argentina, en trabajos anteriores, los autores analizaron el impacto técnico en el sistema de transporte de energía eléctrica de una nueva matriz energética primaria caracterizada por una menor participación del gas natural a partir de la reducción gradual de su consumo a nivel residencial dado por el reemplazo de equipos gasodomésticos por electrodomésticos. Se analizaron metas de conversión del 10, 20 y 30% de los usuarios, adoptando un período de estudio de cinco años. Se proyectó la demanda adicional y se evaluó el impacto de la potencia adicional sobre el sistema de 500 kV, identificando restricciones en perfiles de tensión y saturación de transformadores. Para lograr un suministro de energía confiable, se propuso un conjunto de obras a ingresar en los diferentes años. En este trabajo se realiza el estudio de rentabilidad económica de las obras propuestas, a partir de una metodología de análisis de costos que incluye las pérdidas técnicas, la energía no suministrada, el ingreso adicional por facturación de energía eléctrica y el excedente de gas natural disponible con posibilidad de exportar. Se adoptan como índices de rentabilidad el Valor Actual Neto y la relación Beneficio-costo. Los resultados, en términos generales, presentan niveles de rentabilidad nula de las obras, con el fin de abastecer la demanda adicional, lo cual implica o bien reducir los márgenes de conversión o impulsar políticas de generación distribuida renovable, de modo de aliviar el sistema de transporte y favorecer el cambio de la matriz energética primaria de Argentina hacia otra más sustentable.

Palabras Clave: usuario electrointensivo, sistema de transporte, obras de transporte de energía, índices de rentabilidad.

Introducción

En un mundo donde la lucha contra el cambio climático se vuelve cada vez más urgente, América Latina y el Caribe se encuentra comprometida en la transición hacia una economía baja en carbono. En este contexto, el papel del gas natural (GN) destaca como un componente importante en este proceso, pues hoy representa el 26% de la energía primaria de la región (Givovich et al, 2021).
El GN tiene un rol estratégico en la generación de electricidad, pues ofrece las siguientes ventajas: i) mitiga los riesgos asociados con la volatilidad de los precios del petróleo, ii) proporciona capacidades de respuesta rápida para mantener la estabilidad de los sistemas de potencia, y iii) sirve de capacidad instalada de respaldo para las hidroeléctricas que enfrentan riesgos al cambio climático.
A nivel mundial, las proyecciones de la Energy Information Administration (EIA) anticipan un aumento del 50% en el uso de la energía para 2050, con un incremento en el consumo de energías fósiles convencionales y, en consecuencia, de las emisiones de CO_2 (EIA, 2022). En este contexto, la agenda de transición hacia una matriz energética descarbonizada apunta a un modelo más electrificado, eficiente, interconectado y limpio, basado en el uso masivo de recursos renovables y, especialmente, en la incorporación del Uso Racional y Eficiente de la Energía como componente esencial en la provisión de servicios energéticos (Stoner, 2021). Para alcanzar esta matriz descarbonizada, el GN se proyecta como el recurso energético clave para el proceso de transición (Behabtu, 2020).
En Argentina, el GN constituye la principal fuente de energía primaria. Las centrales termoeléctricas son el sector de mayor consumo de GN, representando el 55% de la matriz de energía eléctrica del

país (CAMMESA, 2023). Por otro lado, el sector residencial es el tercer mayor consumidor de GN, obteniendo más del 60% de sus requerimientos energéticos de este combustible.
El país necesita importar GN, especialmente en invierno, debido a los picos de consumo para calefacción en los sectores residencial y comercial. El porcentaje de importación de GN oscila entre el 17% y el 20%, con una reducción en el suministro proveniente de Bolivia, lo que implica una mayor dependencia del gas natural licuado (GNL) en un contexto internacional de precios récord (Gil et al., 2022).
Con el objetivo de establecer un uso más eficiente de los hidrocarburos en Argentina, en estudios previos, los autores analizaron el impacto técnico en el sistema de transporte de energía eléctrica de una nueva matriz energética primaria caracterizada por una menor participación del GN, a partir de la reducción gradual de su consumo a nivel residencial mediante el reemplazo de equipos a gas por electrodomésticos (Manassero et al., 2023). En principio, se analizaron metas de conversión del 10%, 20% y 30% de los usuarios, adoptando un período de estudio de cuatro años y considerando las proyecciones de demanda adicional y las obras de transporte y generación planificadas en el sistema de transporte argentino. Los resultados indican que solo es viable una conversión del 10%, condicionada por las restricciones en las variables operativas de la red de transporte. Esta demanda adicional implica también una reducción en la eficiencia del sistema de transporte, al aumentar las pérdidas de energía eléctrica, así como también en la confiabilidad del servicio, que refleja volúmenes de energía no suministrada (ENS) que totalizan el 1,7% de la energía total operada en el período de análisis.
Luego, en un segundo trabajo (Manassero et al., 2023) los autores analizaron y propusieron un conjunto de obras por un monto de inversión del orden a los 540 millones de USD y refieren principalmente a equipamiento para compensación de reactivo y ampliación de la capacidad de potencia de transformación en Estaciones Transformadoras (ETs) puntuales del Sistema Argentino de Interconexión (SADI). Su ingreso en servicio aumenta notablemente la performance del sistema de transporte, mejorando su flexibilidad operativa, reduciendo en alrededor de 6% las pérdidas globales de energía y eliminando totalmente la ENS dada en condiciones de red normal.
A los fines de evaluar la viabilidad económica del conjunto de obras propuestas, en este trabajo se realiza su estudio de rentabilidad, a partir de una metodología de análisis de costos que incluye las pérdidas técnicas, la ENS, el ingreso adicional por facturación de energía eléctrica y el excedente de GN disponible con posibilidad de exportar. Se adoptan como índices de rentabilidad el Valor Actual Neto (VAN) y la relación Beneficio-costo.

Materiales y métodos

Metodología propuesta

En la Fig. 1 se presenta el flujograma de actividades que conforman la metodología propuesta para el análisis de factibilidad económica de las obras de transporte propuestas por los autores en trabajos anteriores, con motivo de mejorar las condiciones operativas del SADI, a los fines de admitir la conversión de 10% de los usuarios residenciales convencionales en usuarios residenciales electrointensivos (URE) durante un período de 4 años proyectados.

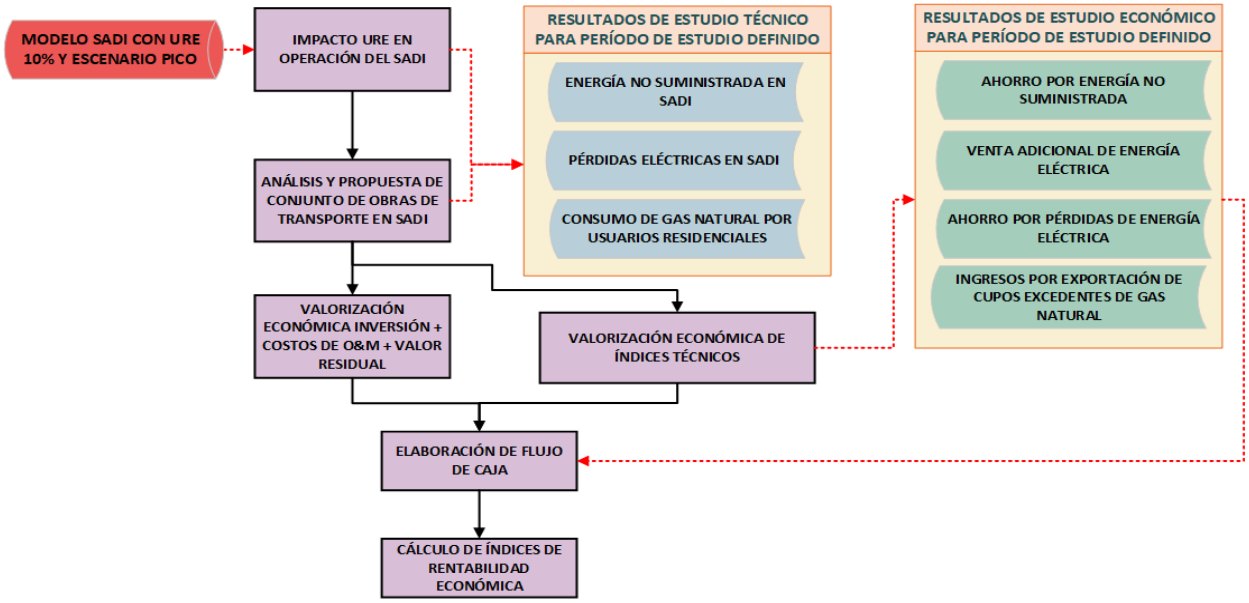


Fig. 1: Flujograma de actividades para estudio de factibilidad económica de obras de transporte propuestas para el SADI, con el propósito de viabilizar la conversión de 10% de usuarios convencionales a URE

Descripción del caso de estudio y resumen de las obras propuestas

Para los estudios, en trabajos anteriores, los autores definieron como Caso BASE el modelo eléctrico del SADI ajustado con la incorporación de demanda adicional de 10% de URE para el escenario de pico de verano (escenario más exigente) durante el período de 2021 a 2024. En función a los resultados de las principales variables operativas obtenidas para el Caso BASE, los autores analizaron y propusieron obras adicionales a incluir en el SADI durante el período de estudio. En la Tabla 1 se resumen el conjunto de obras propuestas para el período de estudio con su costo de inversión aproximado.
Luego, para cada año de análisis se cuantificaron los niveles de pérdidas eléctricas y ENS, necesarios para identificar los potenciales ahorros que surgen de la diferencia de estas variables entre el caso BASE y el caso CON OBRAS.

Tabla 1. Obras propuestas para el SADI. Periodo 2021-2024 con demanda adicional por URE

Año	ET / Línea	Región	Obra	Costo [USD]
2022	Chocón Oeste	COM	Repotenciación Transformador 3 a 300 [MVA]	6.000.000
2022	Nueva San Juan	CUY	1 Bloque Capacitor 80 [MVA]	909.350
2023	Rodeo	CUY	2 Bloques Capacitor 80 [MVA]	1.818.700
2023	EZE – Gen Eze	GBA	2° línea 500 [kV]	500.000.000
2023	Santo Tomé	LIT	4° Transformador 300 [MVA]	6.000.000
2023	Santiago	NOA	Repotenciación Transformador 1 a 600 [MVA]	10.000.000
2023	Santiago	NOA	1 Bloque Capacitor 80 [MVA]	909.350
2024	Plomer	GBA	3 Bloques Capacitor 80 [MVA]	2.728.050
2024	Rodríguez	GBA	3 Bloques Capacitor 80 [MVA]	2.728.050
2024	Abasto	GBA	3 Bloques Capacitor 80 [MVA]	2.728.050
2024	Ezeiza	GBA	3 Bloques Capacitor 80 [MVA]	2.728.050
2024	Gran Formosa	NEA	1 Bloque Capacitor 80 [MVA]	909.350
2024	Puerto Madryn	PAT	1 Bloque Reactor 160 [MVA]	2.728.050

Consideraciones generales adoptadas en los estudios

Para el modelado y las condiciones de operación admisibles de la red, se adoptaron los siguientes supuestos:

- El valor estimado de la tarifa promedio del usuario residencial es de 68,9 USD/MWh
- Las pérdidas de energía eléctrica se valorizan en función a un precio monómico estacional de la energía de 31,8 USD/MWh, obtenido del informe anual de CAMMESA (CAMMESA, 2021), en el momento de efectuado el estudio.
- Los costos de penalización por ENS se establecen en función al tipo de usuario perjudicado, contemplando el cuadro de valores presentado en la Tabla 2.
- Se asumen un costo anual en operación y mantenimiento de la nueva infraestructura eléctrica del 3% del valor de la inversión de la misma.
- Se asume una tasa de descuento (interés) del 12% para el cálculo de los índices de rentabilidad económica del conjunto de obras propuestas.

Tabla 2. Penalizaciones económicas por ENS, categorizadas por tipo de usuario

TIPO DE ENS	VALOR [USD/MWh]
Residencial	1400
Comercial	2300
Industrial	2700

Resultados y discusión

A continuación, se detallan los resultados de la valorización económica de los indicadores técnicos obtenidos en trabajos anteriores, y el valor residual de la nueva infraestructura, con motivo de confeccionar el flujo de caja necesario para obtener los diversos índices de rentabilidad económica de las obras propuestas.

Valorización económica y ahorro de pérdidas de energía eléctrica.

De acuerdo a los resultados del análisis técnico de las obras propuestas, presentado por los autores en un trabajo anterior (Manassero, et al, 2023), para el período de estudio, las pérdidas globales por energía eléctrica se reducen alrededor de un 6%.
Las obras propuestas ingresan en servicio, principalmente en los dos últimos años del período de estudio, lo cual se refleja en un ahorro económico del 1,5% para el año 2023 y del 4,5% en el año 2024, según se observa en la Fig. 2. En términos absolutos, para el período de estudio los ahorros ascienden a los 10,5 millones de dólares (MMUSD).

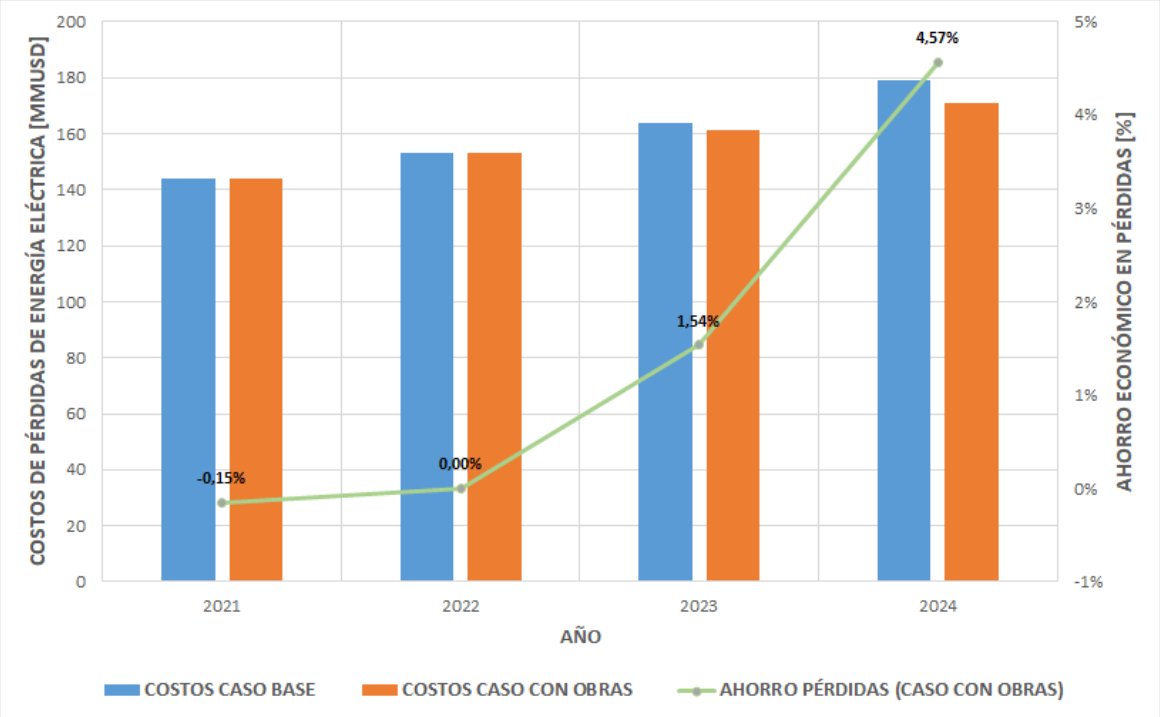


Fig. 2. Costos por pérdidas de energía eléctrica en SADI, comparación casos BASE y CON OBRAS

Valorización económica y ahorro de ENS.

La ENS se define como la cantidad de energía eléctrica que no se puede proporcionar a los consumidores debido a interrupciones o fallas en el sistema de suministro eléctrico en un período específico. Constituye una métrica crítica en la gestión y operación de sistemas eléctricos, proporcionando información vital para mejorar la calidad y la fiabilidad del suministro de energía. Tiene un impacto económico amplio y significativo, afectando a múltiples sectores y actores de la economía. Es crucial para las empresas proveedoras de energía gestionar y minimizar estas interrupciones para mantener la fiabilidad del suministro y mitigar sus consecuencias económicas.
Los costos totales por ENS se calculan a partir de la ecuación **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**:

$$COSTO_{ENS} = ENS\ x\ (Part_{Res}\ x\ Pen_{Res} + Part_{Com}\ x\ Pen_{Com} + Par_{Ind}\ x\ Pen_{Ind}) \quad (1)$$

Donde:

- ENS: Energía no suministrada [MWh]
- Part: Porcentaje de participación del tipo de usuario
- Pen: Costo de la penalización por tipo de usuario [U$S/MWh] (ver Tabla 2)

Para el período de estudio, y con referencia al caso BASE, la ENS resulta creciente debido a que no se ejecutan obras de ampliación. Según los resultados del estudio técnico, aumenta en un rango de 2 a 8 veces interanual, y con referencia a la energía anual operada en el SADI, la ENS representa inicialmente solo el 0,01% en el año 2021, alcanzando un valor de 0,97% para el año 2024. En términos globales, la ENS acumulada representa alrededor de 1,7% de la energía total operada en el SADI.
Con el ingreso en servicio del conjunto de obras propuestas se elimina de forma total la ENS originada en condiciones de red normal, lo cual indica un abastecimiento completo de la demanda adicional por conversión del 10% de usuarios residenciales convencionales a URE.
Para el cálculo de la ENS proyectada se tuvo en cuenta que la demanda residencial mantuvo niveles de crecimiento interanual sostenido a valor de 1% interanual, a la cual se adiciona el porcentaje acumulado de conversión electrointensiva para así obtener el valor de porcentaje de participación total de la categoría residencial ($Part_{Res}$). En Fig. 3 se reflejan los costos totales anuales por ENS para el caso SIN OBRAS, destacando un incremento muy importante del orden a 72 veces entre los años 2021 al 2024, con un valor total de penalizaciones que alcanzan los 14 MMUSD para el período de análisis.

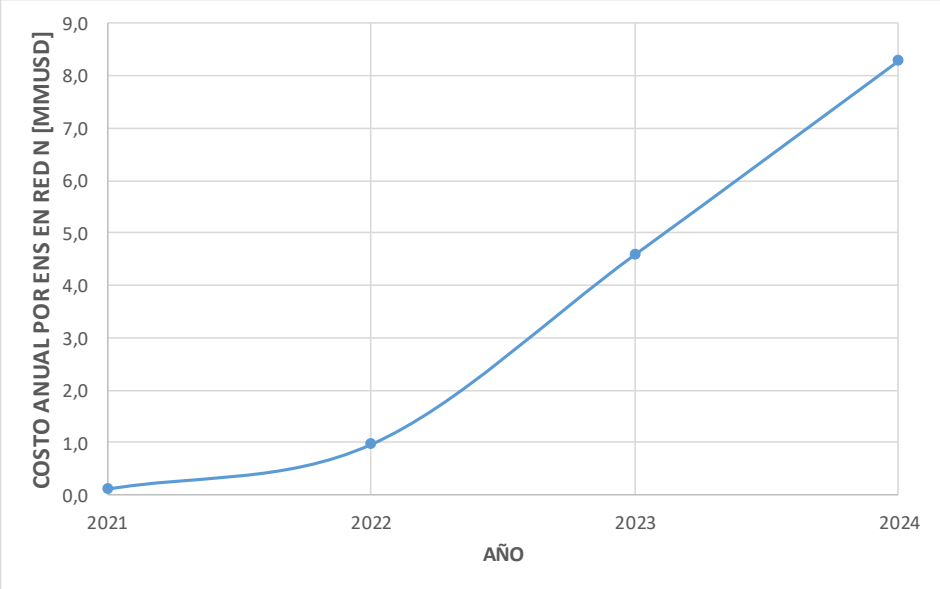


Fig. 3. Costos anuales por ENS en red normal para caso SIN OBRAS

En particular, el URE implica un mayor porcentaje de participación de la categoría residencial en la energía total consumida en el SADI. Y con referencia a la ENS, para el CASO CON OBRAS se traduce en ahorros de ENS que van desde un 27 % para 2021 y culmina en un 33% hacia 2024 (ver Fig. 4).

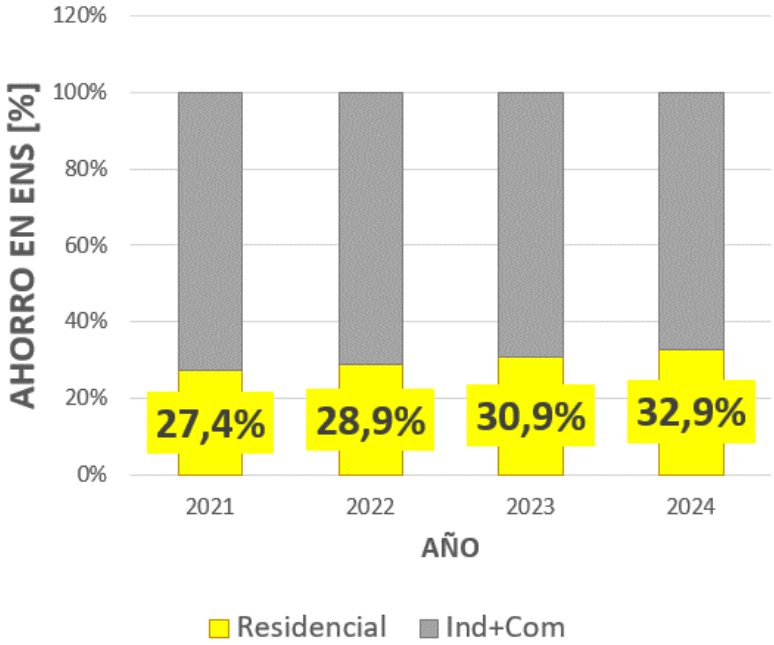


Fig. 4. Detalle de porcentaje de ahorro por ENS en categorías de usuarios para caso CON OBRAS.

Ingresos adicionales por facturación de venta de energía.

La ENS no solo deriva en penalizaciones para la compañía transportista, sino que también refleja aquella energía en MWh que no puede ser comercializada. En caso de ejecutarse las obras propuestas no solo se consigue un ahorro efectivo de este tipo de penalizaciones económicas, sino también un ingreso adicional de facturación de energía, por la venta de dicha ENS evitada. Para el período de análisis, los ingresos adicionales totalizan 0,5 MMUSD (ver Fig. 5).

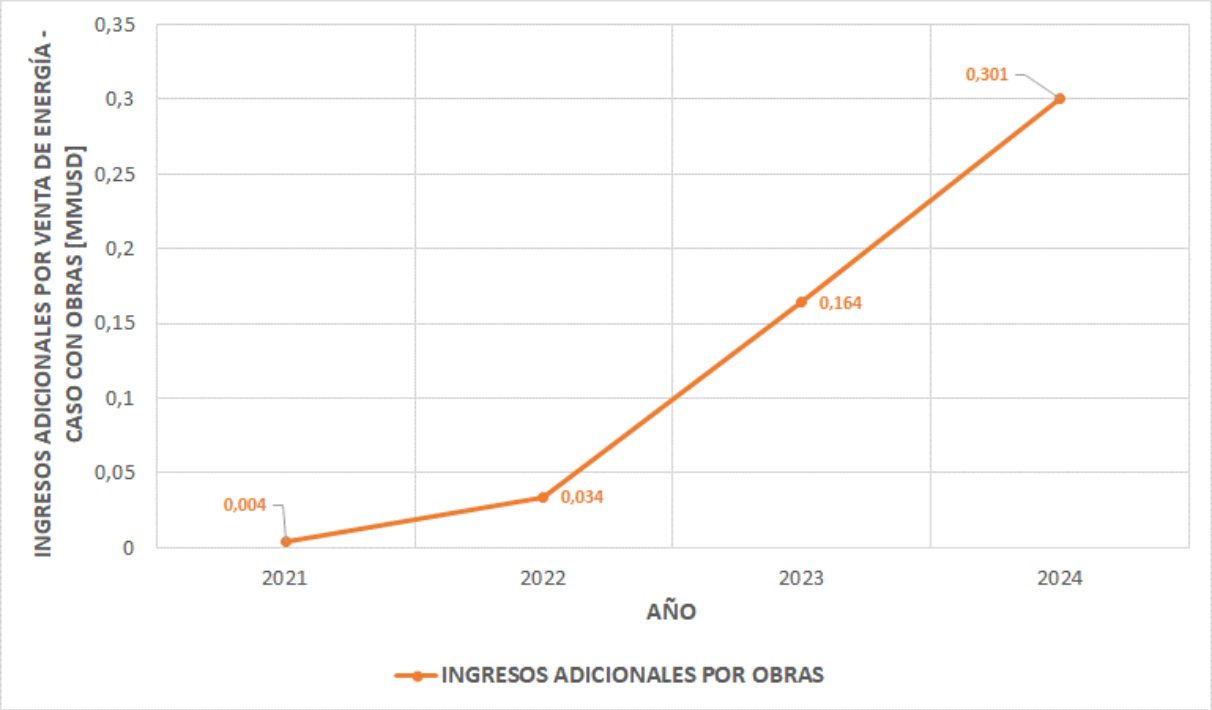


Fig. 5. Ingresos adicionales por facturación de energía derivada de la ENS evitada en caso CON OBRAS

Valorización económica y ahorro de GN.

En función a la base de datos del consumo de GN residencial en los años 2019 y 2020 (ENARGAS, 2020), que oscila en un rango de 280 a 1800 millones de m^3 (ver Fig. 6), con referencia al número de usuarios en 2020, el consumo anual aproximado per cápita es de 37,68 m^3/usuario. Según se observa en la Fig. 6, el consumo residencial de GN posee un comportamiento que depende exclusivamente de la temperatura ambiente, destacándose los mayores consumos en la época invernal, que resultan entre 5 a 6 veces superiores con respecto a los meses de verano.

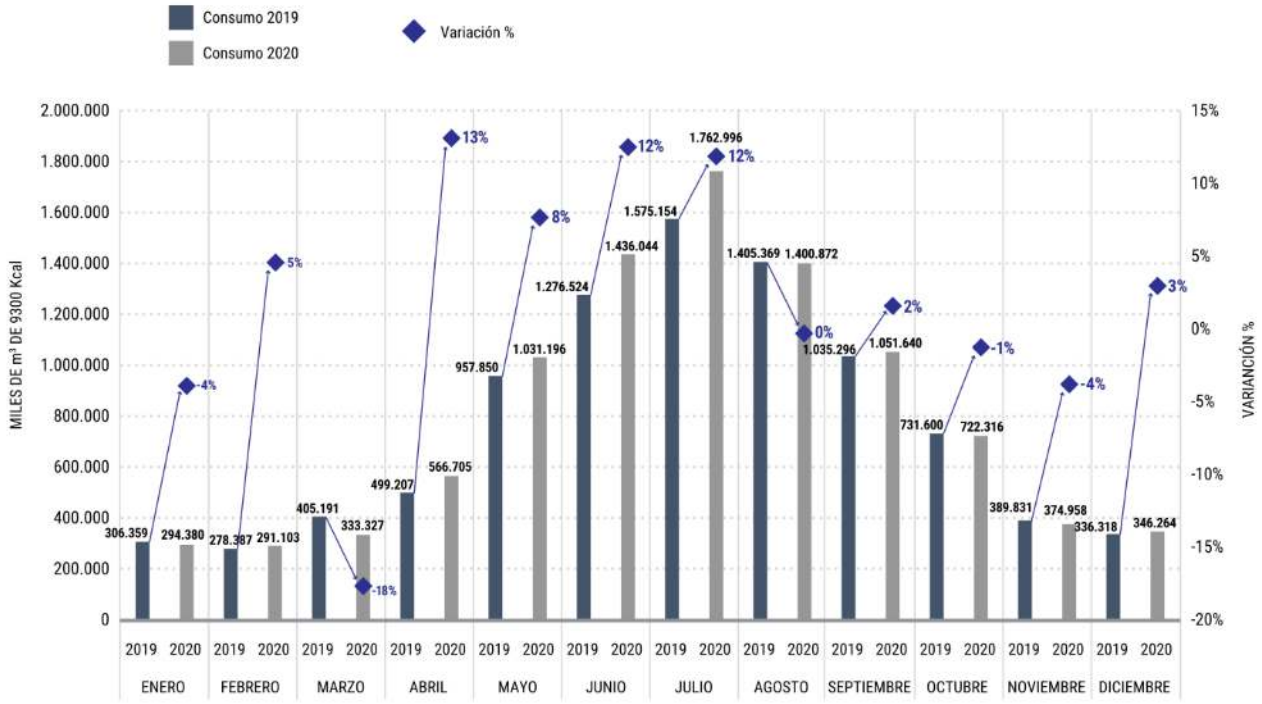


Fig.6. Consumo residencial de GN durante período 2019-2020.

Luego, en base al número de usuarios convencionales de GN a convertirse en URE para el período de estudio (totalizan 712.000 usuarios), se obtienen los saldos de GN que oscilan entre 2 y 10 millones de m^3. Estos excedentes de hidrocarburo, se consideran disponibles para exportar a países limítrofes como Brasil o Chile, a un precio promedio de exportación del GN de 0,38 USD/m^3, obteniendo así un ingreso extra por divisas, que totaliza alrededor de 10 MMUSD para el período de análisis.

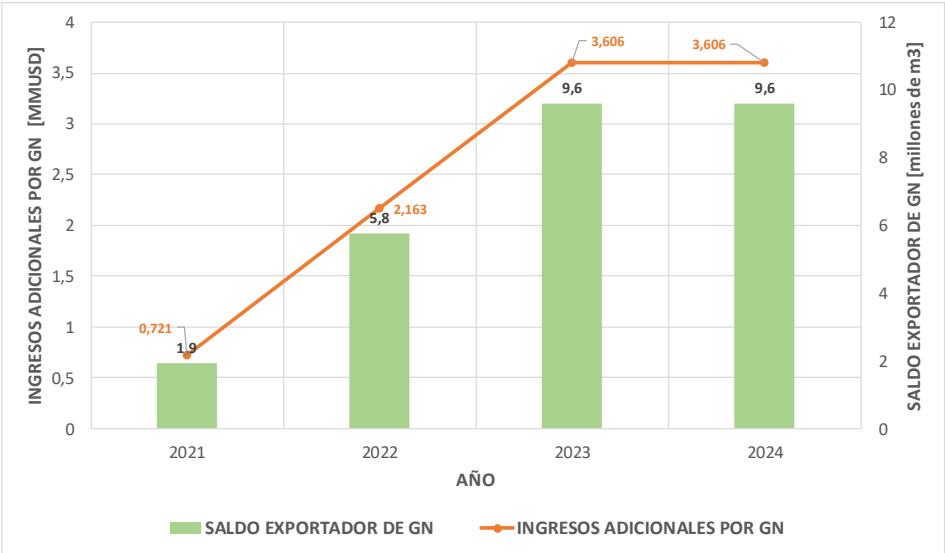


Fig. 7. Excedentes de GN e ingresos adicionales por exportación con escenario de URE.

Valor residual de la nueva infraestructura eléctrica.

El valor residual (VR) de los componentes que conforman el SADI se refiere al valor contable restante de la infraestructura de la red después de haber sido depreciada contablemente. Con el objetivo de establecer un análisis económico financiero comparativo con la red actual, el concepto de VR se aplica al conjunto de obras propuestas, la cual sufre una depreciación a raíz de su uso en la red, obteniendo su VR con referencia al costo de inversión de una instalación de características similares a la red a desmantelar.
Para determinar el VR de las nuevas obras, debido a que el período de análisis de viabilidad económica del proyecto (TA) resulta inferior a la vida útil (VU) de la infraestructura (entre 20 y 40 años), su VR se obtiene a partir de la diferencia entre el valor total a amortizar de la instalación y el valor total amortizado durante el período de estudio. Considerando que para cualquier tipo de infraestructura eléctrica se asume un VR igual a un 10 % de su costo inversión, una vez finalizada su vida útil. Por lo tanto, el VR se calcula a partir de la ecuación **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**.

$$VR_{obras}[U\$S] = I[U\$S] \cdot 0{,}9 - \left(\frac{I[U\$S] \cdot 0{,}9}{VU[años]}\right) \cdot TA\ [años] \quad (2)$$

De acuerdo con lo expuesto, en función al plan de inversiones propuesto para el período de estudio, se requiere una inversión total de 538,7 MMUSD, depreciando un 18,9%.

Elaboración del flujo de caja

El flujo de caja se elabora a partir de una primera clasificación entre los ingresos y egresos del proyecto. Los egresos incluyen la inversión y los costos de operación y mantenimiento de la nueva infraestructura eléctrica propuesta. Por otra parte, los ingresos se conforman por el VR, la exportación de los excedentes de GN, los ahorros en pérdidas de energía eléctrica y penalizaciones de ENS y los ingresos por facturación de venta adicional de energía eléctrica.
El mayor monto por flujo de caja anual negativo se presenta en 2023 debido a las inversiones necesarias para afrontar las nuevas obras propuestas (ver Fig. 8), y para finales del período analizado, el flujo de caja acumulado culmina con un déficit del orden a los 88 MMUSD.

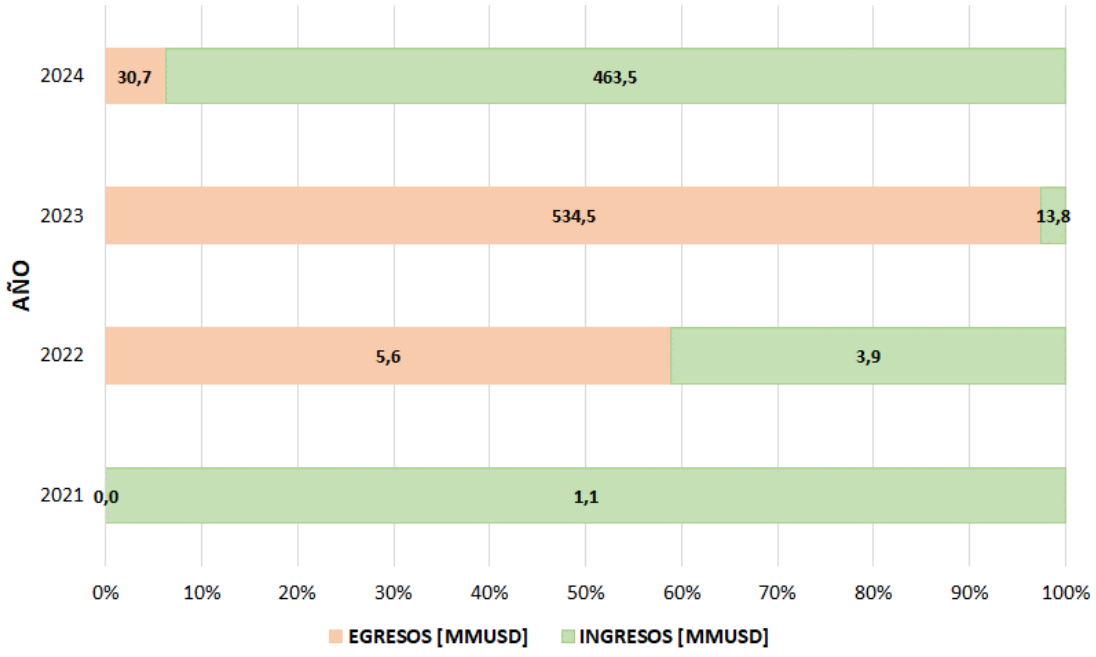


Fig. 8. Balance neto de flujo de dinero anual.

Indicadores de rentabilidad de las obras propuestas

El análisis de rentabilidad para la reconfiguración del sistema en 500 kV propuesto se lleva adelante por medio de la evaluación de la relación beneficio/inversión que resulta de la ejecución de todas las obras ya descriptas, de acuerdo con la relación entre el VAN y la inversión a valor presente (I_{VP}). Este indicador expresa la rentabilidad neta obtenida en el período de análisis, comparando los ingresos netos presentes y los costos netos presentes con el monto de la inversión requerida. Si el resultado es mayor que 1, entonces el proyecto es rentable.
El VAN se obtiene a partir de la ecuación (3).

$$VAN = -I_0 + \sum_{j=1}^{n} \frac{FF_j}{(1+i)^j} \quad (3)$$

Donde:

- I_0: inversión en el período 0
- FF_j: flujo de fondos neto en el período "j"
- i: tasa de descuento
- n: período de evaluación

Un VAN positivo indica que el proyecto de inversión generará más ingresos de lo que se invirtió inicialmente en el proyecto, lo que significa que el proyecto es rentable.
Por otra parte, la I_{VP} es el valor que tiene en el momento actual la inversión realizada, implica calcular el valor presente de los flujos de efectivo futuros esperados generados por el proyecto y compararlo con el costo inicial de la inversión. y se obtiene por medio de la ecuación **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**:

$$I_{VP} = I_0 + \sum_{j=1}^{n} \frac{I_j}{(1+i)^j} \quad (4)$$

Donde I_j es la inversión en el período "j".
Finalmente, a partir de la ecuación (5) se obtiene la relación VAN/I_{VP}, arrojando un valor negativo, que implica una condición de inviabilidad económica del conjunto de obras propuestas para el período de análisis proyectado.

$$\frac{VAN}{I_{VP}} = \frac{96{,}35\ MMUSD}{538{,}70\ MMUSD} = -0{,}179 \quad (5)$$

El resulta negativo de este índice se debe a que los costos netos presentes superan los ingresos haciendo que el proyecto no sea rentable, pues el período de análisis resulta escaso, con lo cual no logra generarse el suficiente flujo de efectivo para recuperar la inversión inicial.
Para el período analizado, dado que las obras ingresan en los últimos años, no resulta posible proyectar la evolución de los índices económicos que integran principalmente los ingresos (ENS, pérdidas, ingresos adicionales por exportación de GN y venta de energía) a partir de la obtención, por extrapolación, de sus funciones matemáticas. Para ello, resulta necesario la construcción de modelos eléctricos a simular de los siguientes años, tal que permitan calcular los valores de ENS y pérdidas de energía eléctrica, para su posterior valorización económica.

Conclusiones

La construcción de nuevas líneas de transmisión, estaciones transformadoras y la adquisición de equipamiento pueden mejorar la fiabilidad del suministro eléctrico, reducir los costos de operación y mantenimiento y aumentar la capacidad de generación y transporte de energía.
Este trabajo realiza un primer estudio de la rentabilidad económica de las obras propuestas a partir de una metodología de análisis de costos que incluye las pérdidas técnicas, la ENS, el ingreso

adicional por facturación de energía eléctrica y el excedente de GN disponible con posibilidad de exportar. Se adoptan como índices de rentabilidad la relación Beneficio-Costo dado por VAN/I_{VP}.
Los resultados, en términos generales, presentan niveles de rentabilidad nula de las obras con el fin de abastecer la demanda adicional durante el período analizado. En parte, debido a que las obras se incorporan en los últimos años, por lo cual no es posible proyectar la evolución de los índices económicos, que seguramente logren incrementar el flujo de ingresos.
Con el objetivo de obtener resultados más generalizados y concluyentes, con referencia a la conversión de usuarios residenciales en URE, en trabajos posteriores, los autores incrementarán el período de análisis a por lo menos 15 años, a partir de la construcción de modelos eléctricos que incluyan la proyección de la demanda, el ingreso de las obras planificadas para el SADI y los cálculos correspondientes de ENS y pérdidas para cada año.
Por otra parte, se incluirá un estudio de desempeño de la red frente a un conjunto de contingencias simples testigo, a los fines de contrastar los niveles de ENS para casos con y sin el conjunto de obras propuestas, con su valorización económica y posible ahorro adicional.
Además, se elaborarán escenarios alternativos que incluyan una reducción en los márgenes de conversión o la instalación de generación distribuida renovable para aliviar el sistema de transporte y favorecer el cambio de la matriz energética primaria de Argentina hacia una más sustentable.

Referencias

Behabtu, H. A. (2020). A Review of Energy Storage Technologies. Application Potentials in Renewable Energy Sources Grid Integration. Sustainability, 12, p. 10511.
CAMMESA. (2021). Informe Anual 2021. Mercado Eléctrico Mayorista.
CAMMESA. (2023). Informe Anual 2023. Mercado Eléctrico Mayorista.
Energy Information Agency (EIA). (2021). International Energy Outlook 2021 with projections to 2050. U.S. Department of Energy.
Ente Nacional Regulador del Gas (ENARGAS). (2020). Informe anual 2020
Gil, S.; Prieto, R.; Codeseira, L. (2022). El gas natural, una herramienta útil para una transición justa y sostenible, Petrotecnia
Givovich, F.; Schmidt-Hebbel, K.; Quiroz, J. (2021). El rol del gas natural en la transición energética: 2020-2050, El Libero.
Manassero, U.; Torres, J. L.; Loyarte, A.; Furlani, R.; Banegas, J. M.; Rossi, L. (2023). Análisis de Inserción de Usuarios Residenciales Electrointensivos y su Impacto en el Sistema de Transporte Argentino: Determinación del Nivel de Acceso y Restricciones Asociadas (Parte 1). Jornadas de Ciencia y Tecnología de la UTN, Facultad Regional San Francisco.
Manassero, U.; Nahs, A.; Banegas, J. M.; Gaspoz, P.; Steinmann, I. (2023). Análisis de Inserción de Usuarios Residenciales Electrointensivos y su Impacto en el Sistema de Transporte Argentino: Propuesta de Obras para Abastecimiento de la Demanda Adicional (Parte 2). XII Encuentro de Investigadores y Docentes de Ingeniería (EnIDI 2023), San Rafael, Mendoza, Argentina
Stoner, O. (2021). Household cooking fuel estimates at global and country level for 1990 to 2030. Nature Communications, 12, p. 5793.

LADRILLOS CERÁMICOS CON AGREGADO DE CÁSCARAS DE NUEZ DE DIFERENTES GRANULOMETRÍAS

Miguel A. Unsen[1], Gisela G. Pelozo[1,2], Hugo A. López[1], Nancy E. Quaranta[1,3]

[1]Grupo de Estudios Ambientales, Universidad Tecnológica Nacional. Colón 332 (2900), San Nicolás, Argentina.
[2]Departamento Ingeniería Industrial, Facultad Regional San Nicolás, Universidad Tecnológica Nacional. Colón 332 (2900), San Nicolás, Argentina.
[3]Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC). Calle 526 entre 10 y 11, La Plata, 1900, Buenos Aires, Argentina.
munsen@frsn.utn.edu.ar

Resumen

La mayor parte de la población depende de la economía basada en la agricultura, donde cada año se genera una gran cantidad de desechos agrícolas. La gestión ineficiente de estas enormes cantidades de residuos provoca en última instancia una amenaza para el medio ambiente. Una alternativa a esta problemática es la incorporación de estos residuos a materiales de construcción, específicamente a ladrillos a base de arcilla. Estos residuos orgánicos crean poros dentro de la estructura del ladrillo después del proceso de combustión, que varían en tamaño y forma según sus dimensiones. En este trabajo se estudia la influencia del tamaño de partículas del residuo cáscara de nuez en las propiedades de ladrillos cerámicos arcillosos.

En una primera instancia se molió y tamizó el residuo cáscaras de nuez, seleccionando tres rangos de tamaño de partículas: 1000-2000 micrones, 250-500 micrones y <44 micrones. Se prepararon ladrillos mediante presión uniaxial a 25 MPa de mezclas arcilla comercial-cáscaras de nuez, con residuo adicionado en 10% en volumen y 8% en peso de agua. Luego del secado a temperatura ambiente y en estufa, las muestras fueron tratadas térmicamente a 1000°C durante 3 horas.

Una vez obtenidas las piezas cerámicas se caracterizaron a través de diferentes técnicas: variación volumétrica permanente, pérdida de peso por calcinación, porosidad y resistencia a la compresión. Se ha determinado que, a mayor tamaño de partícula de biomasa agregado, mayor resulta la porosidad de las muestras y la pérdida de peso por calcinación. Las muestras con granulometría más fina presentan los valores más altos de resistencia a la compresión. Todas las muestras cumplen con los requerimientos de mercado para este tipo de materiales.

Palabras Clave: Cerámicos, Cáscaras de Nuez, Porosidad.

Introducción

Los desafíos ambientales globales están llevando al desarrollo de diferentes estrategias políticas, económicas y sociales para reducir el impacto ambiental negativo asociado a la generación de residuos. El desarrollo sostenible en el sector de la construcción se ha convertido hoy en día en un desafío importante tanto en los países desarrollados como en aquellos en desarrollo.

Las industrias agrícolas producen una gran cantidad de desechos cada año, lo que genera preocupaciones medioambientales, ya que la mayoría de estos residuos se queman o se eliminan en vertederos. Sin embargo, varios estudios actuales han presentado la posible aplicación de los desechos agrícolas en la producción de materiales de construcción debido a sus buenas propiedades físicas y mecánicas (Serrano, 2016; Janat, 2020). Además, la utilización de dichos materiales de desecho puede contribuir a reducir el impacto ambiental al demostrar estrategias alternativas de gestión de residuos.

La industria de los frutos secos genera una gran cantidad de residuos y subproductos, principalmente en forma de cáscaras. Aunque estos desechos no son peligrosos, los grandes volúmenes en los que se generan pueden hacer que sean interesantes como materia prima en diferentes procesos industriales.

La producción mundial de nueces de nogal con cáscara se encuentra alrededor de los 3,5 millones de toneladas, siendo los principales países productores China y Estados Unidos. En Argentina se estima una producción anual de 20.000 toneladas de nueces (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca Argentina, s.f.). Si se considera que alrededor del 65% del peso de las mismas se atribuye a las cáscaras, en la actualidad se está generando una importante cantidad de residuos que necesitan una utilización. Estas cáscaras se pueden triturar o moler en diferentes tamaños de partículas que van desde los granos gruesos hasta polvos finos. Debido a su elevada dureza, una fracción de las cáscaras generadas se utiliza como abrasivo para limpieza de diversas superficies.

Entre los diferentes desechos agrícolas disponibles, las cáscaras de nuez presentan un gran potencial como precursores de carbón activado. Tienen estabilidad química, gran área superficial y bajo contenido de cenizas. Los adsorbentes a base de cáscaras de nueces se han explorado para la eliminación de contaminantes emergentes, compuestos que se han descubierto recientemente, incluidos medicamentos farmacéuticos, productos de cuidado personal, productos veterinarios, herbicidas, aditivos alimentarios, nanomateriales diseñados y compuestos industriales (Albatrni, 2022). Un ejemplo de esto es el estudio de Shi y otros (2023) que elaboraron un adsorbente de biochar derivado de cáscara de nuez a través de un pretratamiento con pirólisis activada con KOH. El estudio investigó la influencia de las temperaturas de pirólisis, el pH inicial de la solución y los iones coexistentes en la eliminación de tetraciclina (antibiótico de alto consumo que no puede metabolizarse completamente ni eliminarse del medio ambiente) por el adsorbente de biochar de cáscara de nuez. Algunos estudios se centraron en la adsorción de gases por carbón activado basados en cáscaras de nuez. Un ejemplo de estos es el realizado por Lionetti y otros (2024) donde evaluaron la capacidad de adsorción de hidrógeno de un carbón activado producido a partir de este residuo triturado sin un tratamiento previo. Las cáscaras de nueces también se han empleado en su estado natural sin activación ni modificación adicional. Zaheer y otros (2023) las estudiaron como medio filtrante en un sistema de tratamiento de aguas residuales y lo compararon con la grava utilizada habitualmente.

Jannat y otros (2021) han realizado una revisión de la potencial utilización de varias cáscaras de frutos secos (maní, avellana, pistacho, castaña, nuez, entre otras) en la producción de ladrillos, morteros y hormigón. Uno de los principales usos de este tipo de residuo en la fabricación de ladrillos cerámicos es como agente formador de poros orgánico que se quema durante el proceso de cocción, aumentando la porosidad y reduciendo la conductividad térmica del producto final (Moumni et al., 2023). De acuerdo a la revisión de Jannat y otros (2021) las cáscaras de diversos frutos secos se agregaron en porcentajes que variaron entre 2,5 y 60%, dependiendo del residuo, y fueron cocidos a diferentes temperaturas (750-1000ºC). Los resultados de estos estudios demostraron que al aumentar el contenido de residuo biomásico se incrementa la porosidad y absorción de agua mientras que la densidad y resistencia a la compresión disminuyen. Estas últimas propiedades se ven incrementadas con el aumento de temperatura, según lo reportado en los estudios donde se analizó esta variable.

En general, el residuo se agrega con una granulometría similar a la de la arcilla utilizada, no teniendo en cuenta el tamaño de las partículas del residuo biomásico agregado. Dependiendo del tamaño de partícula, el residuo agroindustrial desarrollará en la matriz arcillosa, durante el proceso de cocción, una red de diferentes tipos de poros que, en consecuencia, afectarán otras propiedades del material obtenido.

Por esta razón, en este trabajo se estudia la incorporación del residuo cáscaras de nuez en matrices cerámicas arcillosas y se analiza la influencia del tamaño de partículas de dicho residuo en la porosidad y otras propiedades de los materiales obtenidos.

Materiales y métodos

La arcilla comercial utilizada para la obtención de los ladrillos cerámicos proviene de una industria cerámica de la zona. Las cáscaras de nuez fueron obtenidas como material residual del propio proceso productivo. Ambas materias primas fueron secadas, molidas y tamizadas, utilizando para este estudio aquellas partículas de arcilla con granulometría inferior a 1 mm. En el caso de las cáscaras de nuez se seleccionaron tres rangos de tamaño de partículas: 1000-2000 micrones, 250-500 micrones y <44 micrones. La arcilla comercial se caracterizó mediante microscopía electrónica de barrido (SEM), análisis dispersivo de energía de rayos X (EDS), distribución granulométrica y difracción de rayos X (XRD); mientras que las cáscaras de nuez fueron caracterizadas utilizando análisis térmico diferencial y termogravimétrico (DTA-TGA) y difracción de rayos X (XRD).

Los análisis SEM y EDS se efectuaron con un microscopio electrónico de barrido FEI Inspect S50, con analizador dispersivo de energía (EDAX-Phoenix).

Los diagramas de difracción de rayos X (XRD) de las muestras en polvo se registraron con un equipo PANalytical X´Pert PRO, con radiación CuKα (α= 1.5406 nm), en condiciones de operación de 40 kV y 40 mA. Los ensayos de comportamiento térmico de las biomasas (DTA-TGA) fueron llevados a cabo con un equipo Shimadzu modelo DTG-60H, con velocidades de calentamiento de 5°C/min, en atmósfera de aire, en el rango de temperaturas ambiente-1000°C.

Los materiales cerámicos se obtuvieron a partir de mezclas arcilla-cáscaras de nuez, a las que se le adicionó un 8% en peso de agua. El porcentaje de material residual agregado se estableció en 10% en volumen, ya que, por estudios previos, se conoce que este porcentaje asegura la obtención de ladrillos de buena calidad y con propiedades similares a las requeridas por el mercado. Para el análisis de la influencia del tamaño de partícula en la porosidad y otras propiedades de las piezas cerámicas obtenidas, se utilizaron los rangos de tamaños mencionados anteriormente.

Una vez preparadas las mezclas, se procedió al conformado de los cuerpos en verde. Se colocaron en un molde rectangular y se aplicó una presión de compactación de 25 MPa, obteniendo piezas de 70 mm x 40 mm, y un espesor de 15 mm aproximadamente. Las muestras conformadas en verde fueron secadas al ambiente y en estufa a 100°C; luego de esta etapa de secado fueron tratadas térmicamente a 1000°C, siguiendo curvas de cocción similares a las utilizadas por la industria cerámica de este tipo de materiales.

Las muestras fueron identificadas como N1, N2 y N3, correspondientes a los rangos de tamaño de partículas 1000-2000 micrones, 250-500 micrones y <44 micrones, respectivamente. A modo comparativo se realizó una muestra sin residuo adicionado, identificada como N0.

Los productos cocidos se caracterizaron con diversas técnicas que permiten determinar sus aptitudes en servicio. Entre dichas técnicas pueden mencionarse: porosidad, pérdida de peso por calcinación (PPC), variación volumétrica permanente (VVP) y resistencia a la compresión. La porosidad de los productos obtenidos fue determinada de acuerdo a la Norma ASTM C20–00. Los valores de VVP y PPC fueron obtenidos midiendo las dimensiones (largo, ancho y espesor) y el peso de cada muestra, antes y después de cada tratamiento térmico. La resistencia a la compresión se realizó de acuerdo a norma IRAM 12586.

Resultados y discusión

La composición química semicuantitativa de la arcilla se determinó mediante EDS, y se presenta en la Tabla 1 donde se halla expresada como porcentaje en peso de sus elementos. Se observa una composición típica de arcillas donde los elementos mayoritarios, además del C y O son Si, Al, Fe y Ca. El aspecto microscópico de la arcilla se presenta en la figura 1 donde se puede apreciar

una estructura homogénea de partículas de tamaño fino y partículas de mayor tamaño formadas por aglomerados de las más pequeñas.

Tabla 1. Análisis químico semicuantitativo de la arcilla

	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Arcilla	15.6	40.7	1.1	1.3	8.7	23.8	2.0	1.3	5.5

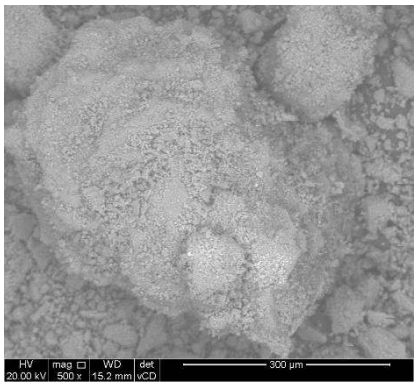


Figura 1. Imagen SEM de la arcilla

El análisis de difracción de rayos X (XRD) de las cáscaras de nuez se presenta en la figura 2, donde se observan los picos característicos correspondientes a la celulosa (14.8, 21.9, 34.5 y 44.9), en concordancia con lo obtenido por otros autores que estudiaron cáscaras frutos secos como almendras, pistachos y nueces (Ahmed, 2021; Quaranta, 2023; Shi 2023). El patrón de rayos X de la arcilla muestra la presencia de óxido de hierro en la estructura de hematita, óxido de silicio en la estructura de cuarzo, feldespato potásico, hierro y óxido de aluminio. El difractograma se ha analizado teniendo en cuenta la base de datos PCPDFWIN - International Centre for Diffraction Data - 2000.

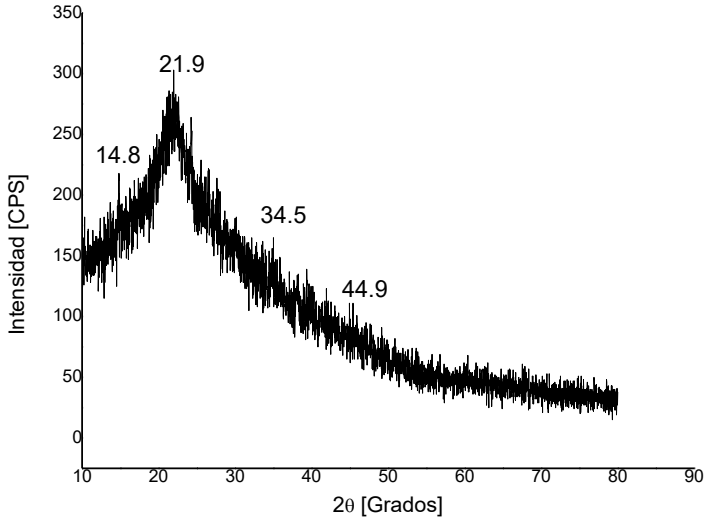


Figura 2. XRD de las cáscaras de nuez

La descomposición de las cáscaras de nuez pasa por varias etapas como lo muestra el DTA-TGA de la figura 3. La primera pérdida de peso de aproximadamente el 10% se puede atribuir a la evaporación del agua asociada con las partículas, entre 20 y 100ºC. Se observa una segunda pérdida de alrededor del 60% del peso entre 200 y 350ºC y una última disminución de aproximadamente el 28% entre 350 y 500ºC. De acuerdo a lo reportado por otros autores (Lionetti, 2024; Moumni, 2023), la biomasa cáscaras de nuez está compuesta principalmente por hemicelulosa, celulosa, y lignina que se descomponen en ese orden. Por lo tanto, los dos picos

exotérmicos observados a 301 y 436ºC se pueden asociar a la descomposición de estos biopolímeros. El primero, más ancho, se puede atribuir a la degradación de hemicelulosa y celulosa mientras que el segundo, más agudo, se lo atribuye a la descomposición de la lignina.

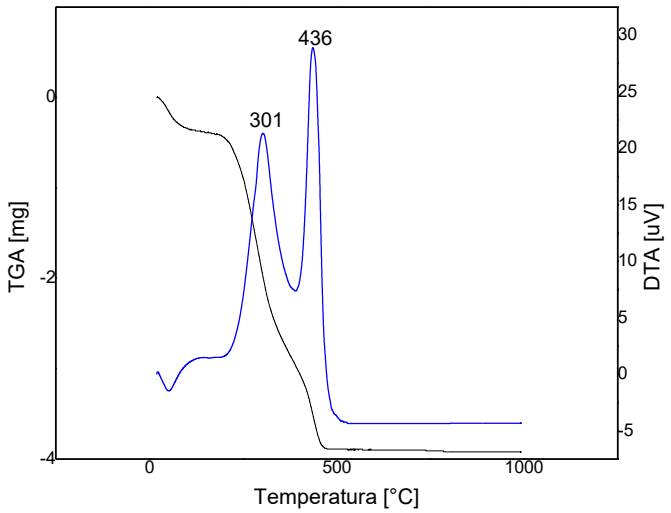


Figura 3. DTA-TGA de las cáscaras de nuez

Las muestras cocidas presentan en todos los casos una coloración rojiza homogénea debido al contenido de hierro de la arcilla. Presentan muy buenas características macroscópicas, con mantenimiento de aristas y sin desgranamiento de la estructura, lo que indica que se ha logrado un grado de sinterización adecuado (Figura 4). No se observa la presencia de un núcleo negro en la sección de fractura de las muestras cocidas que contenían residuo. Esto es un dato importante ya que la evolución completa de los gases generados que indica que los residuos orgánicos se han quemado completamente por la combustión es uno de los principales problemas que se presentan cuando se agregan desechos orgánicos a cuerpos arcillosos. También se aprecian las diferencias de los tamaños de poros en cada una de las muestras.

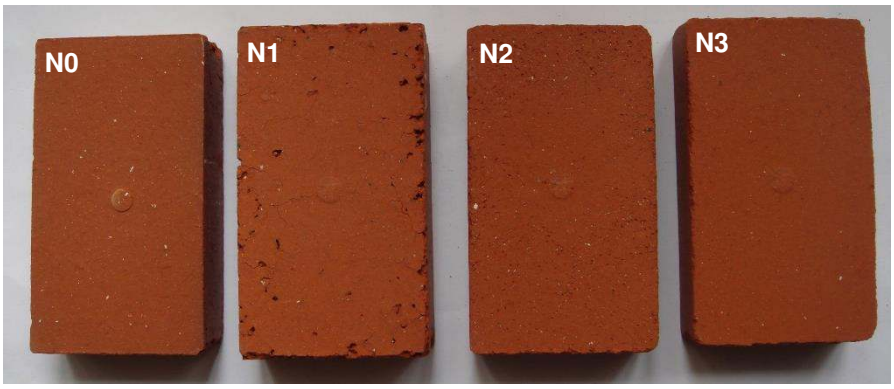


Figura 4. Aspecto macroscópico de las muestras

La pérdida de peso por calcinación (PPC) representa la disminución de la masa del ladrillo como consecuencia de las reacciones de deshidroxilación, descomposición de carbonatos, evaporación de agua y combustión del residuo biomásico. Esta pérdida está relacionada con la creación de poros en el ladrillo cocido. La muestra de referencia (N0) posee una PPC de 5.2. En comparación con las muestras con cáscaras de nuez, según se observa en la tabla 2, este valor aumenta con el tamaño de las partículas incorporadas a la matriz arcillosa.

Los valores de variación volumétrica permanente (VVP) también se observan en la tabla 2. Puede apreciarse que en todas las muestras ensayadas se produjo una contracción que aumenta con la disminución del tamaño de partículas. La contracción se produce cuando el agua ligada químicamente se evapora, por lo que la temperatura y el tiempo de las etapas de secado y

cocción deben controlarse. La contracción durante el proceso cerámico es un parámetro significativo, ya que el cambio estructural y la sinterización, que implica densificación, pueden crear tensiones y fallas en los ladrillos de arcilla cocida. Durante este proceso, la porosidad abierta se transforma en porosidad cerrada (Aouba, 2016).

Tabla 2. Propiedades físicas de las muestras ensayadas

Muestra	PPC	VVP	Absorción de agua	Porosidad
N0	5.2	-12.3	12.9	25.0
N1	9.7	-14.1	14.8	27.5
N2	7.3	-14.9	13.7	26.2
N3	7.0	-15.7	12.7	24.8

Un factor importante que determina la robustez de los ladrillos porosos es su absorción de agua. Cuanta menos agua penetre en las matrices de los ladrillos, mejor será su resistencia a las condiciones naturales de degradación ambiental, como eflorescencias, dilataciones y contracciones, y por tanto más duraderos serán los ladrillos. Así, la durabilidad de las muestras de ladrillo está relacionada con su absorción de agua. En este sentido, generalmente se considera que los ladrillos con valores de absorción de agua inferiores al 20% son de alta calidad (Adazabra, 2017). De los resultados de la Tabla 2, se desprende claramente que el aumento del tamaño de partículas incorporadas condujo a una mayor absorción de agua en comparación con la muestra de referencia de arcilla sola, lo que se puede explicar también por la diferencia en la porosidad de las muestras ensayadas. La creación de porosidad debido a la incorporación de agentes formadores de poros en el ladrillo de arcilla cocida conduce a un aumento de la absorción de agua. Los poros en la estructura mientras están sumergidos, se llenan de agua y, dependiendo de la disposición de los mismos y la forma en que están unidos entre sí, esta puede penetrar en el material con mayor o menor facilidad, con una vía preferencial (Bories, 2014). En el caso de las muestras ensayadas se verifica esta tendencia, a mayor porosidad, mayor absorción de agua siendo mayor para las muestras con mayor tamaño de partícula incorporada. Se puede observar que la muestra con partículas de tamaño menor a 44 micrones (N3) presenta valores de porosidad y absorción de agua similares a los experimentados por la muestra control (N0).

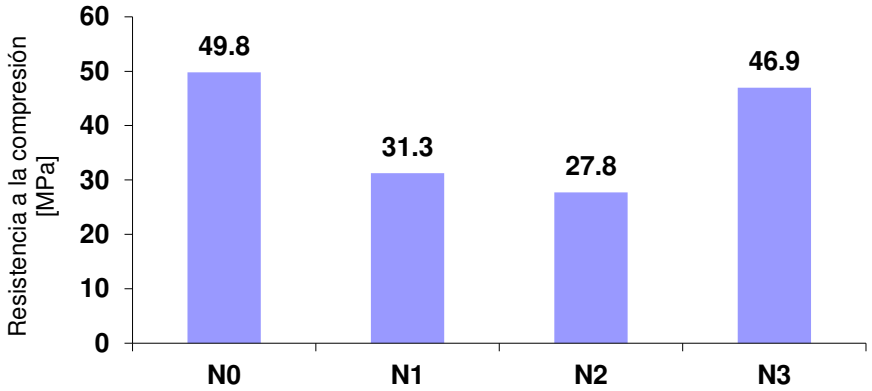


Figura 5. Resistencia a la compresión de los productos obtenidos

La resistencia a la compresión es, sin duda, un parámetro de ingeniería importante en la especificación de la resistencia del ladrillo a las fuerzas de deformación debido a su vínculo con la resistencia mecánica. Por lo tanto, uno de los factores decisivos que indican la idoneidad de una unidad de ladrillo para aplicaciones de construcción es su resistencia a la compresión. En la Figura 5 se muestran los resultados de resistencia a la compresión de los materiales cerámicos arcillosos obtenidos con agregado de cáscaras de nuez. Las muestras que contienen cáscaras de nuez de mayor granulometría (N1 y N2) presentan valores similares, en cambio se muestra un marcado aumento en la resistencia de aquellas con granulometría inferior a 44 micrones, siendo

muy similar al valor experimentado por la muestra de referencia, sin residuo biomásico. Esto puede explicarse por el hecho de que los puntos de contacto entre las partículas de arcilla al momento de la cocción son más numerosos y proporcionan una mejor sinterización y mayor resistencia de la estructura a las muestras. El efecto de las partículas más gruesas se debe a que hay menos puentes de unión entre las partículas de arcilla; el número de áreas de unión aumenta a medida que disminuye el tamaño de las partículas de cáscaras de nuez (Thalmaiera et al., 2020). De todas formas, los materiales obtenidos cumplen con los requerimientos de resistencia a la compresión establecidos por norma ASTM C62-04 para ladrillos de construcción sólidos hechos de arcilla (20.7 MPa).

Conclusiones

En este trabajo se ha estudiado la incorporación del residuo cáscaras de nuez en matrices cerámicas arcillosas y se ha analizado la influencia del tamaño de partículas de dicho residuo en la porosidad, absorción de agua, resistencia a la compresión, entre otras propiedades de los materiales obtenidos.

Se ha determinado que la incorporación de las cáscaras de nuez a matrices arcillosas aumenta la porosidad en todas las muestras estudiadas, siendo esta propiedad mayor en los ladrillos con mayor tamaño de partícula agregada (N1). La muestra con menor tamaño de partícula adicionada (N3) presenta valores de porosidad similares a la muestra control, sin residuo adicionado. Esta misma tendencia se observó en los valores de absorción de agua, como era de esperarse.

El agregado de cáscaras de nuez con diferente granulometría a mezclas arcillosas resultó en la producción de ladrillos con menores resistencias a la compresión. Estos valores son más bajos en las muestras con mayor tamaño de partículas (N1 y N2). De todas formas, las resistencias a la compresión exhibidas están muy por encima de los requisitos estándar mínimos para este tipo de materiales.

Referencias

Adazabra A.N., Viruthagiri G., Kannan P. (2017) Influence of spent shea waste addition on the technological properties of fired clay bricks. Journal of Building Engineering 11. 166-177 DOI: 10.1016/j.jobe.2017.04.006

Ahmed N., Qayoom Mir F. (2021) Preparation and characterization of ceramic membrane using waste almond shells as pore forming agent. Materials Today: Proceedings 47. 1485–1489. DOI: 10.1016/j.matpr.2021.04.329

Albatrni H., Qiblawey H., Al-Marri M.J. (2022) Walnut shell based adsorbents: A review study on preparation, mechanism, and application. Journal of Water Process Engineering 45. 102527. DOI: 10.1016/j.jwpe.2021.102527

Aouba L., Bories C., Coutand M., Perrin B., Lemercier H. (2016) Properties of fired clay bricks with incorporated biomasses: Cases of Olive Stone Flour and Wheat Straw residues. Construction and Building Materials 102. 7–13. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.10.040

Bories C., Borredon M-E, Vedrenne E., Vilarem G. (2014) Development of eco-friendly porous fired clay bricks using pore-forming agents: A review. Journal of Environmental Management 143. 186-196. DOI: 10.1016/j.jenvman.2014.05.006

Janat, A. Hussien, B. Abdullah, A. Cotgrave. (2020) Application of agro and non-agro waste materials for unfired earth blocks construction: A review. Construction and Building Materials 254. 119346. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.119346

Jannat N, Latif Al-Mufti R, Hussien A, Abdullah B., Cotgrave A. (2021) Utilisation of nut shell wastes in brick, mortar and concrete: A review. Construction and Building Materials 293. 123546. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2021.123546

Lionetti V., Poselle Bonaventura C., Conte G., De Luca O., Policicchio A., Caruso T., Desiderio G., Papagno M., Agostino R.G. (2024) Production and physical-chemical characterization of walnut shell-derived activated carbons for hydrogen storage application. International Journal of Hydrogen Energy 61. 639–649. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2024.02.213

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca Argentina, (s.f.) *Informe Síntesis. Economía Regional-Nuez de Nogal*. https://alimentosargentinos.magyp.gob.ar/HomeAlimentos/economias-regionales/producciones-regionales/informes/Informe_Nuez_nogal_2024.pdf)

Moumni B., Achik M., Benmoussa H., Oulmekki A., Touache A., El Moudden N., Charroud M., Eliche-Quesada D., Kizinievic O., Kizinievic V., Infantes-Molina A., Gil Gonzalez A., Guitián Rivera F. (2023) Recycling argan nut shell and wheat straw as a porous agent in the production of clay masonry units. Construction and Building Materials 384. 131369. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2023.131369

Quaranta N., Caligaris M., Unsen M., López H., Pelozo G., Cristóbal A. (2023) Ceramic bricks using pistachio shells as controlled porosity former. Journal of Building Materials and Structures. 10:16-26. DOI: 10.34118/jbms.v10i1.2614

Serrano S., Barreneche C., Cabeza L.F. (2016) Use of by-products as additives in adobe bricks: Mechanical properties characterizations. Construction and Building Materials 108. 105-111. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.01.044

Shi Q., Wang W., Zhang H., Bai H., Liu K., Zhang J., Li Z., Zhu W. (2023) Porous biochar derived from walnut shell as an efficient adsorbent for tetracycline removal. Bioresource Technology 383. 129213. DOI: 10.1016/j.biortech.2023.129213

Thalmaier G., Cobîrzan N., Balog A-A, Constantinescu H., Streza M. , Nasui M., Neamtu B.V. (2020) Influence of sawdust particle size on fired clay brick properties. Materiales de Construcción 70. 215. DOI: 10.3989/mc.2020.04219

Zaheer M., Shaham Ali M., Huang N., Aqeel Ashraf M. (2023) Using walnut shells as low-cost adsorbent materials in an anaerobic filter medium of a De-centralized wastewater treatment system (DEWATS). Chemosphere 341. 140080. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2023.140080

ACCESO DE PARQUES EÓLICOS EN EL ÁREA PATAGONIA: EVALUACIÓN TÉCNICA DE IMPACTO EN LA RED Y PROPUESTA DE DISEÑO DE SISTEMA DAG/RAG PARA REDUCIR RESTRICCIONES DE INYECCIÓN DE POTENCIA (PARTE 2)

Ulises Manassero[1], Dino Ghisolfi[1], Marcos Cea[1], Lautaro Rossi[1], Irene Steinmann[1]

[1] Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe, Centro de Investigación y Desarrollo en Ingeniería Eléctrica y Sistemas Energéticos (CIESE), Lavaise 610, CP 3000
ulisesmanassero@hotmail.com

Resumen

La energía eólica se presenta como una de las energías renovables con mayor potencial de explotación en Argentina, particularmente en la región patagónica, debido a las excepcionales condiciones del recurso eólico. El sistema de transporte de energía de dicha región se caracteriza por ser un área netamente exportadora con redes de 132 y 500 kV de gran longitud y poco malladas. En este trabajo se estudia el acceso individual y conjunto de doce proyectos de parques eólicos adjudicados en las rondas Renovar por un total de 690 MW. La metodología incluye un análisis probabilístico para determinar los factores de simultaneidad de inyección de potencia del conjunto de parques a la red patagónica, y simulaciones de flujos de carga en régimen estacionario para evaluar el impacto de acceso en la red para los diferentes escenarios propuestos de demanda y generación, y el diseño de un sistema de regulación/desconexión automática de la generación que garantice condiciones de operación admisible en la red. De los resultados obtenidos se evidencia que, el sistema patagónico no es capaz de operar dentro de los márgenes operativos requiriéndose el vertido eólico. Los escenarios de mínima demanda representan las condiciones más críticas para el despacho de los parques, requiriendo un recorte del 12% de la potencia inyectada por el recurso eólico, más 335 MW de recorte en generación hidroeléctrica de la región.

Palabras Clave: Energía Eólica, Factores de simultaneidad, Desconexión automática de generadores, Fluctuaciones de Potencia.

Introducción

Los sistemas de potencia enfrentan actualmente problemas de seguridad y estabilidad debido al rápido crecimiento del consumo de electricidad en todo el mundo. El uso de energía renovable (ER) para producir energía eléctrica ha captado una atención significativa a nivel mundial. El avance en energías renovables (ER) está impulsado por varios factores, como el calentamiento global, los problemas ambientales, la seguridad energética, la reducción de costos y la disminución de emisiones. Se anticipa que la tendencia de integración de ER seguirá creciendo. En este contexto, se espera que los recursos de energía renovable como la energía solar y eólica generen el 50% de la electricidad mundial para 2050 (Al-Shetwi, 2022).

Actualmente, la energía eólica es la fuente de ER más utilizada y ha experimentado un rápido crecimiento y desarrollo. Según un informe del Global Wind Energy Council, en 2021, el sector eólico global tuvo su segundo mejor año, instalando aproximadamente 94 GW, totalizando una potencia instalada de 850 GW. Esta capacidad ayuda a reducir las emisiones de carbono en más de 1,2 mil millones de toneladas anuales, lo cual es aproximadamente igual a las emisiones anuales de carbono de Sudamérica (Joyce Lee, 2021).

La integración de la energía eólica en los sistemas eléctricos presenta una imprevisibilidad inherente debido a la naturaleza intermitente de esta fuente de energía. La tasa de penetración determina cómo la integración de la energía eólica afecta la confiabilidad y estabilidad del sistema (Wang et al, 2012). Desde una perspectiva de confiabilidad, con una tasa de penetración relativamente baja, las variaciones de la carga neta son equivalentes a las variaciones de carga actuales (Dvijotham et al, 2011), y los generadores convencionales (GC), como las plantas termoeléctricas o hidroeléctricas, poseen capacidades suficientes para seguir la carga sin necesidad de mayores reservas operativas. El tiempo de respuesta de los GC desplegados debe ser bajo, incluso durante fluctuaciones rápidas

y significativas en la generación eólica, requiriendo mayores reservas operativas a medida que aumente la tasa de penetración eólica.
En el ámbito local, en las últimas dos décadas Argentina ha puesto énfasis en la producción de generación de energía eléctrica a partir del uso de fuentes renovables como una alternativa de abastecimiento sustentable, con fines de aumentar su participación en la matriz energética y reemplazar la generación de origen térmico (Neuman et al, 2020). Para ello, se desarrolló el programa RenovAr, otorgando una serie de beneficios fiscales dirigido a los desarrolladores de los parques eólicos (PEs), trazando como objetivo alcanzar el 20% de la generación de energía eléctrica a partir de ER en el año 2025 (HCNA, 2015). Complementariamente, a través de la Resolución 281-E/2017 se conformó el Mercado a Término de Energía Eléctrica de Fuente Renovable (MATER) que permite a los grandes usuarios la libre negociación y compra de ER (CAMMESA, 2019).
En este contexto, la región de la Patagonia se destaca por sus óptimos perfiles de velocidad y persistencia del viento dentro de Argentina. En los últimos años, la producción de energía eléctrica proveniente de fuentes eólicas ha aumentado significativamente debido a la implementación de PEs de gran escala de potencia. En 2023, esta forma de energía representó aproximadamente el 10% de la demanda anual en el SADI (CAMMESA, 2024).
En un trabajo anterior (Manassero et al, 2024), los autores desarrollaron un procedimiento para estimar la Potencia Anual de Energía Neta de doce proyectos eólicos planificados en la región patagónica de Argentina bajo los Programas RENOVAR y MATER. Obtener un valor preciso de este indicador es crucial para realizar estudios de rentabilidad económica de los proyectos, y para proyectar indicadores clave de operación, como el Factor de Carga (Fc), el Factor de Operación (FO) y las horas equivalentes de operación a plena carga (HE), entre otros.
Como continuación en esta línea de estudio, en este trabajo se plantea como objetivo determinar los valores de potencia de despacho de los PE en la región patagónica para condiciones de mayor probabilidad y de máxima velocidad de viento, considerando escenarios de mayor exigencia del subsistema de estudio para diferentes configuraciones de despacho de generación y demanda. Finalmente, ante eventuales restricciones operativas a la inyección de potencia de los nuevos PEs, en condiciones de red normal o de emergencia, se analizan y calculan los valores de Reducción automática de generación (RAG) y/o desconexión automática de generación (DAG) a aplicar al parque de generadores existentes en la región patagónica.

Materiales y métodos

Metodología propuesta

En la Fig. 1 se presenta el flujograma de actividades que conforman la metodología propuesta para el estudio de acceso del conjunto de proyectos de PEs en la región patagónica con la aplicación de esquemas de RAG/DAG cuyo objetivo es maximizar su inyección de potencia al sistema, manteniendo condiciones operativas admisibles en el mismo.

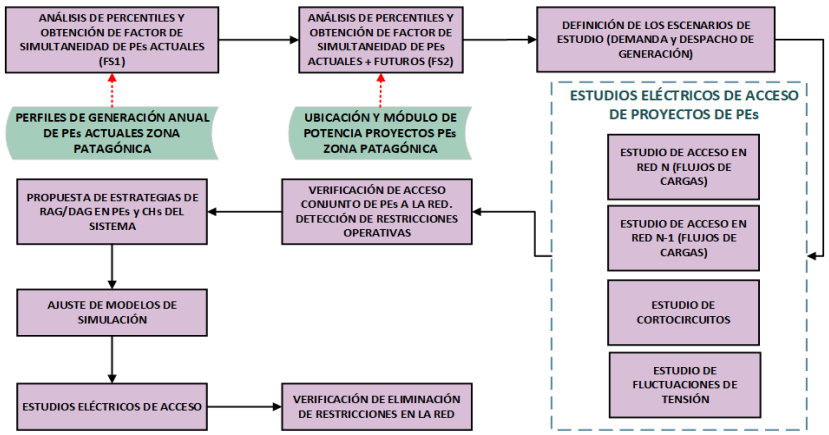


Fig. 1: Flujograma de actividades para estudio de acceso de conjunto de PEs con propuesta de esquemas RAG/DAG

Descripción de la red

El sistema de transporte de energía de la región patagónica comprende el corredor de 500 kV que inicia en la estación transformadora (ET) Choele Choele 500/132 kV y se extiende en forma radial hasta la ET Esperanza 500/220/132 kV (ver Fig. 2). A lo largo del corredor de extra alta tensión (EAT) en 500 kV se presentan interconexiones con las ETs Puerto Madryn 500/132/33 kV, Santa Cruz Norte 500/132/33 kV y Río Santa Cruz 500/132/33 kV. En escenarios de valle de demanda, el consumo del subsistema es aproximadamente 246 MW, alcanzando en escenarios de pico niveles cercanos a los 350 MW. Se destaca que gran parte de la red es operada en forma radial, exceptuando el anillo de 132 kV que se cierra a través del circuito conformado por las ETs Puerto Madryn, Santa Cruz Norte, Pico Truncado, Comodoro Rivadavia, Central Termoeléctrica (CT) Patagonia, PE Garayalde, PE Malaspina, Central Hidroeléctrica (CH) Ameghino y Trelew.
En base a la demanda de la zona, esta región eléctrica se comporta como un área netamente exportadora de energía, pues tiene instalados 3741 MW en generación, distribuidos 1580 MW en CTs, 890 MW en PEs y el resto en las CHs Ameghino y Futaleufu.

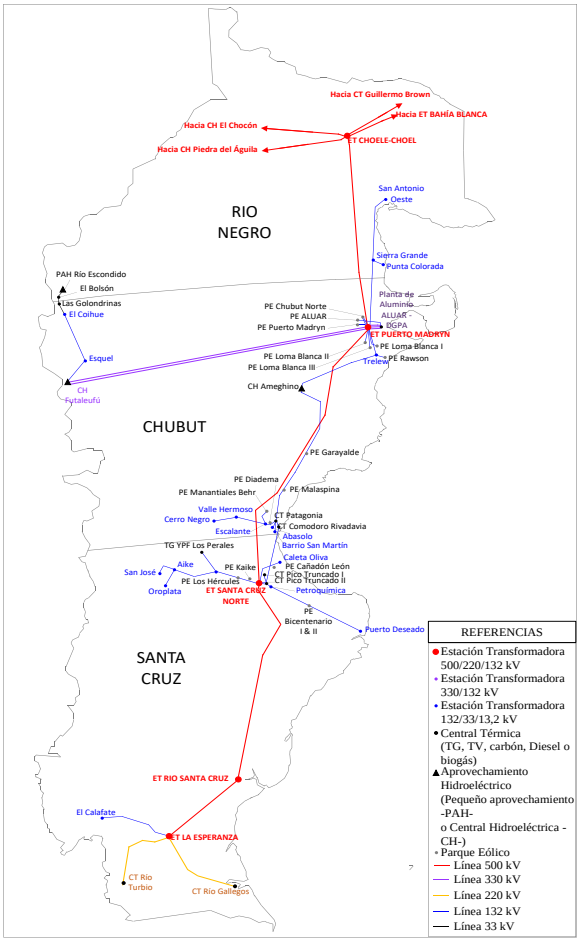


Fig. 2. Esquema geográfico del sistema de transporte de energía eléctrica patagónico

Consideraciones generales adoptadas en los estudios

Para el modelado y las condiciones de operación admisibles de la red, se adoptaron los siguientes supuestos:

- Uso del software PSSE en su versión estudiantil para elaboración de los modelos y simulaciones de flujos de carga.
- El límite de capacidad de transmisión de potencia de las líneas aéreas corresponde al límite térmico-mecánico impuesto por sus conductores.

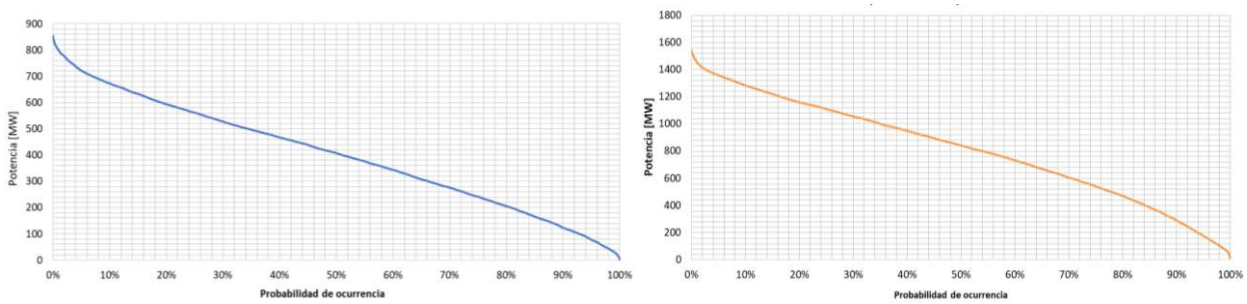
- El límite de operación admisible de transformadores de potencia (TPs) (132/33/13,2 kV y 500/132/33 kV) corresponde a la capacidad nominal de la máquina, impuesta por el fabricante según su diseño.
- Se consideran aceptables niveles de tensión en barras de 132 kV que se encuentran en el rango de 0,90 a 1,10 pu para nodos radiales y 0,95 a 1,05 pu para nodos anillados. En 500 kV los niveles aceptables se encuentran dentro de un rango de 0,97 a 1,03 pu y, en contingencias, el rango utilizado se considera aceptable dentro de 0,95 a 1,05 pu, tal como lo exigen los Procedimientos Técnicos de CAMMESA (CAMMESA, 2014).
- Las fluctuaciones de tensiones en los nodos dentro del área de influencia de los PEs, deberán verificar que las variaciones de tensión no superen el 1% para barras de hasta 500 kV, 2% para barras de hasta 132 kV y 3% para barras distribución de hasta 35 kV, debidas a variaciones rápidas de potencia (CAMMESA, 2011).

Obtención de factores de simultaneidad de inyección de potencia de PEs

Con motivo de considerar un escenario realista de despacho de potencia máximo simultáneo de los PEs, en primera instancia se trazan curvas monótonas de potencia máxima despachada horaria de cada uno de los PEs en servicio (ver Fig. 3a). Se suma la potencia que genera cada PE hora a hora y se ordenan dichos valores en función de su probabilidad de ocurrencia. Una vez definida la curva monótona, se calcula el factor de simultaneidad 1 (FS1) para el conjunto de PEs en servicio, que surge de la relación entre las potencias totales inyectadas correspondientes al percentil 99 ($P_{max(P99)}$) y al valor máximo (ver ecuación 1), para el cual se obtiene un valor de 0,896, que implica un despacho de 798,3 MW.

$$FS_1 = \frac{P_{máx_{(P99)}}}{P_{máx_{Conjunto\ PEs}}} \quad (1)$$

Afectando a la potencia nominal de cada PE en servicio por FS1, se obtiene la potencia que cada PE debe despachar para cumplir las condiciones del escenario de carga en estudio.
Para el ingreso de los PEs en proyecto se define un nuevo factor de simultaneidad, denominado FS2, el cual se obtiene de igual forma al FS1, pero considerando la totalidad de los PEs. En la Fig. 3b se presenta la curva monótona para los PEs en servicio en conjunto con los PEs en proyecto, obteniendo un valor de FS2 de 0,921, que se corresponde con un despacho de 1456 MW.



a b

Fig. 3. Curva monótona de potencia despachada en simultáneo por el conjunto de PEs de la región patagónica: a) en servicio, b) en servicio y en proyecto

Definición de escenarios de estudio

Para analizar el impacto de los PE en el sistema de transmisión se modelan diversos escenarios de carga considerando las condiciones más exigentes de demanda-generación que puedan presentarse en condiciones más frecuentes de operación de la red, con motivo de identificar condiciones críticas de operación.

Para el modelado y posterior estudio del subsistema se parte de la base de datos de CAMMESA con sus escenarios de máxima y mínima demanda, para los cuales se definen diferentes despachos de generación de las distintas tecnologías. En el caso de las CTs, se define un despacho económico (DE) para un eventual escenario de máxima demanda, con mínimo aporte de las CHs y nulo aporte de los PEs, denominado como escenario E-01. Para el resto de los escenarios de análisis se utiliza el mismo DE de las CTs, denominado DE-01. En la Tabla 1 se resumen los cinco escenarios definidos para estudiar el comportamiento del sistema ante las condiciones más probables y extremas de operación del conjunto de PEs a ingresar en servicio.

Tabla 1: Casos de estudio.

Escenario	Demanda	Despacho		
		CT	CH	PE
E-01	Pico	DE-01	Min	Nula
E-02	Pico	DE-01	Max	Max (FS1)
E-03	Pico	DE-01	Max	Med (Fc)
E-04	Valle	DE-01	Max	Max (FS1)
E-05	Valle	DE-01	Max	Med (Fc)

A modo comparativo, en la Fig. 4 se resume el despacho de potencia por tipo de tecnología para los diferentes escenarios propuestos. Los escenarios de mayor aporte de potencia son el E-02, seguido del E-04, que combinan niveles máximos de aporte de potencia de CHs y PEs, totalizando una inyección de potencia del orden a los 2060 MW.

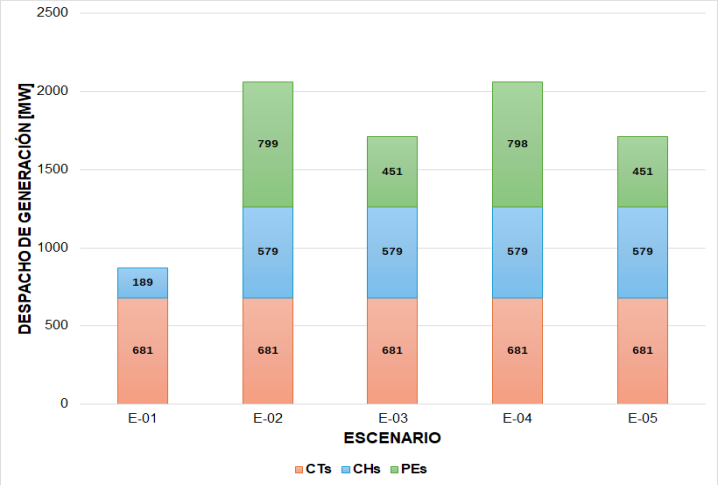


Fig. 4. Curva monótona de potencia despachada en simultáneo por el conjunto de PEs en servicio y en proyecto de la región patagónica

A partir de los escenarios anteriormente planteados, en primera instancia se presenta el estado de la red considerando los parámetros más relevantes y se toman como base para comparar el comportamiento de la red ante el ingreso de los PEs en proyecto.
Para cada escenario base, se realiza el ingreso conjunto que engloba tanto a los PEs en proyecto como los PEs en servicio. Este ingreso de los PEs de manera conjunta se realiza para dos despachos de potencia distintos: uno con todos los PEs suministrando su potencia media determinada según su Fc, y otro con todos los PEs entregando el máximo de potencia simultaneo, con el FS2. El estudio se lleva a cabo para condiciones normales de funcionamiento de la red (Red N) y para condiciones de contingencia simple (Red N-1).

Resultados y discusiones

El objeto de analizar la red en estado estacionario es verificar el correcto funcionamiento de los proyectos y su entorno, a través del análisis del comportamiento en condiciones normales y ante falla. Para esto, se realizan estudios de flujo de cargas para verificar que no existan sobrecargas en

LATs y TPs dentro del área de influencia de los proyectos y que las tensiones en los nodos de la red se encuentren dentro de los límites establecidos en Los Procedimientos de CAMMESA.

Impacto del acceso de conjunto de PEs en régimen estacionario y condiciones de red normal (Red Normal).

Caso sin conjunto de PEs de proyecto en servicio

En primera instancia, para todos los escenarios propuestos, se realizan las simulaciones de flujo de carga considerando un despacho de generación de base, donde el conjunto de PEs en proyecto se asume fuera de servicio.
Los resultados de las simulaciones advierten que los escenarios E-01 y E-03 son las únicas configuraciones de demanda/generación que hacen operable el sistema. Los demás escenarios, presentan algún tipo de limitante, observándose con mayor predominancia la sobrecarga del TP N°1 de la ET Puerto Madryn 500/330/132 kV alcanzando niveles del 144% de su capacidad nominal en el E-04 (ver Fig. 5). Esta sobrecarga se debe a que gran parte del flujo de potencia generado por los PEs se canaliza a través de esta ET.

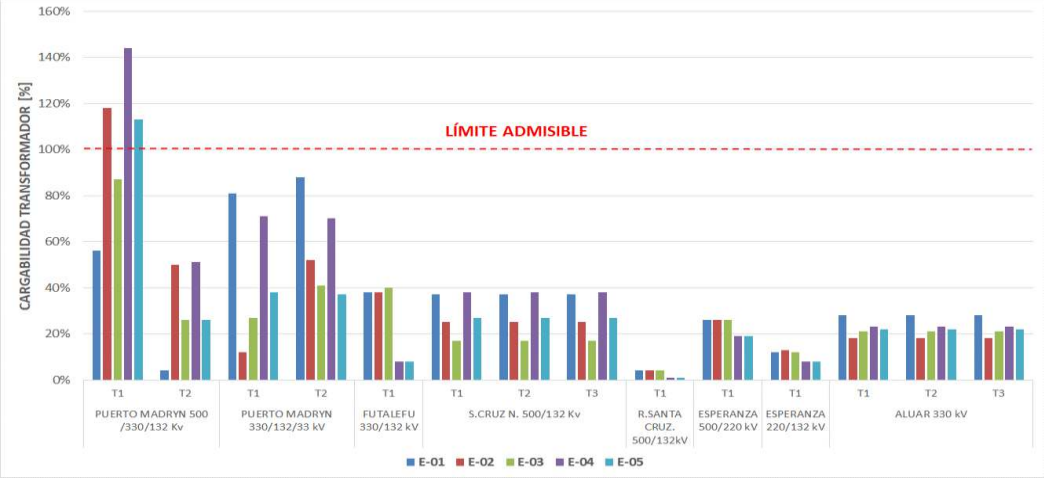


Fig. 5. Comparación de niveles de carga en TPs de la región patagónica para los escenarios propuestos y sin el despacho del conjunto de PEs en proyecto

Luego, con referencia a los perfiles de tensión en barras de 132 y 500 kV se presentan valores admisibles para todos los escenarios de generación/demanda, al igual que los niveles de carga en LATs, que se mantienen con niveles de carga, por debajo de los valores admisibles (ver Fig. 6).
En síntesis, con los PEs actualmente en servicio, el sistema presenta problemas operativos para los escenarios más exigentes de demanda/generación.

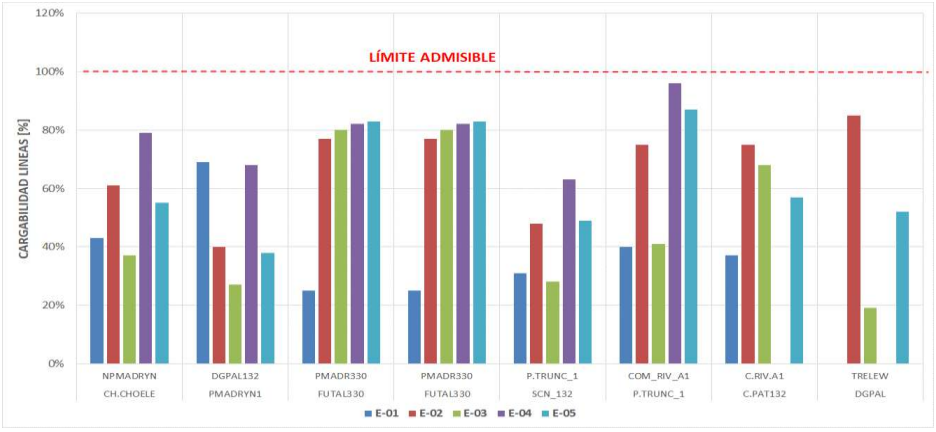


Fig. 6. Comparación de niveles de carga en LATs de la región patagónica para los escenarios propuestos y sin el despacho del conjunto de PEs en proyecto

A continuación, se resumen los resultados obtenidos para el ingreso de los PEs en proyecto, a los fines de evaluar si su puesta en servicio es beneficiosa o bien agrava las condiciones operativas del sistema.

Caso con conjunto de PEs de proyecto en servicio

El ingreso del conjunto de proyectos de PEs impacta de manera negativa en el sistema, principalmente incrementando los niveles de cargabilidad de las LATs y TPs, según puede observase en Fig. 7 y 8. Esta situación se presenta en casi todos los escenarios, a excepción del E-01, donde la red pasa de ser una región exportadora de energía a una importadora, por lo cual consume parte de la energía generada de los PEs dentro del subsistema, aliviándose el estado de carga de LATs y TPs.
Del análisis de los resultados se observa que el ingreso en conjunto provoca grandes sobrecargas en los TPs, principalmente en las ETs de Puerto Madryn dado que a través de ella se canaliza la mayor parte del flujo de potencia que se exporta en 500 kV desde la región patagónica hacia el resto del SADI. Por otra parte, la LAT Comodoro Rivadavia A1 – P. Truncado 1 de 132 kV se presenta como el ramal más crítico, con sobrecargas del orden al 149%, seguida de la LAT P. Madryn – Choele Choele de 500 kV con 139% de sobrecarga y finalmente la LAT Trelew- DGPAL con 130%.

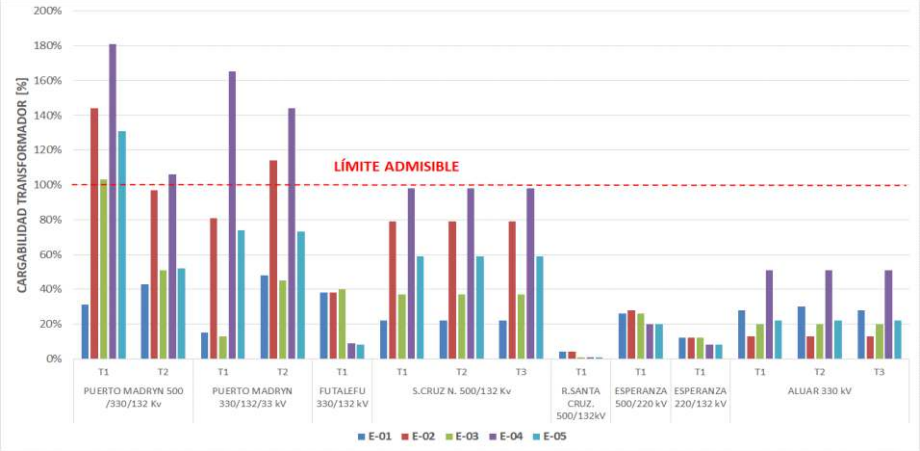


Fig. 7. Comparación de niveles de carga en TPs de la región patagónica para los escenarios propuestos y con el despacho del conjunto de PEs en proyecto

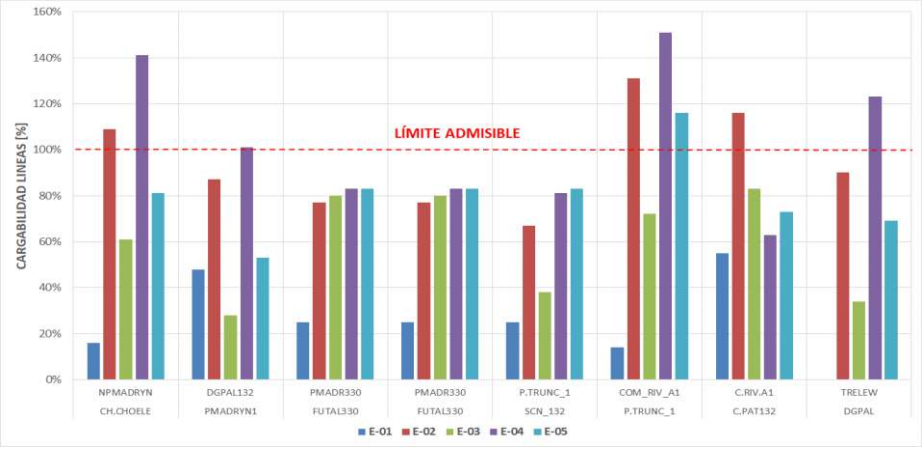
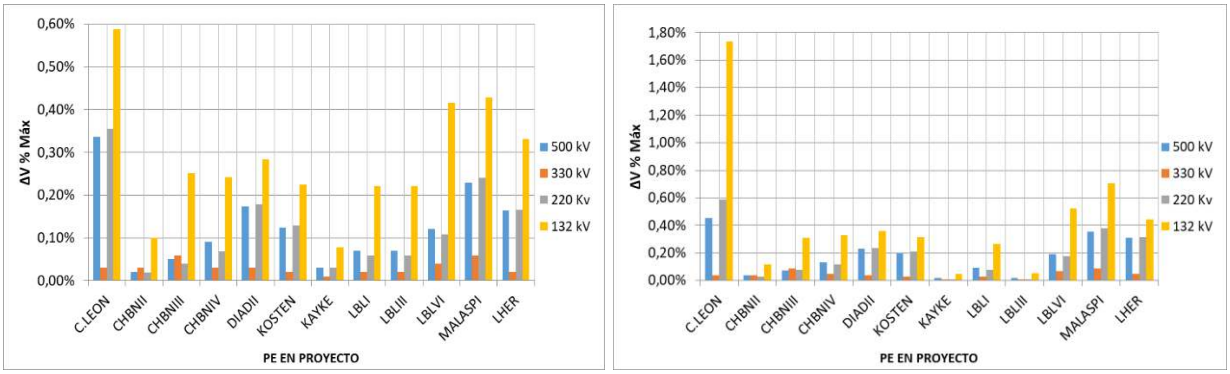


Fig. 8. Comparación de niveles de carga en LATs de la región patagónica para los escenarios propuestos y con el despacho del conjunto de PEs en proyecto

Fluctuaciones de tensión originadas por variaciones rápidas de potencia.

De acuerdo al código de red vigente, se analizan las fluctuaciones de tensión en barras provocadas ante variaciones rápidas de potencia debidas a eventuales fluctuaciones bruscas en la velocidad

del viento. Para ello, se plantean flujos de potencia con los PE generando al 100%, y se simula una pérdida del 40% de la potencia entregada sin modificar las condiciones de operación de la red, como ser conmutadores de taps en TPs, capacitores o reactores, dado que el tiempo de la fluctuación de potencia es más pequeño que la respuesta de dichos equipos de control.
En la Fig. 9 se muestra el resumen de los valores máximos de fluctuaciones de tensión obtenidos para los dos escenarios extremos con referencia a los valores registrados. Por un lado, el E-03 que corresponde a niveles moderados de inyección de potencia de los PEs, presenta los menores valores porcentuales de fluctuaciones de tensión. Por el contrario, el escenario E-02, con máximo despacho de los PEs y demanda elevada constituye el escenario más exigente desde el punto de vista de las fluctuaciones. No obstante, se advierte que las variaciones de tensión en barras no superan en ningún escenario los valores máximos permitidos en los distintos niveles de tensión analizados, para el ingreso de cada PEs en proyecto. Las mayores fluctuaciones de tensión en barras se producen en el nivel de 132 kV, siendo los mayores valores en el PE Cañadón León debido principalmente a su punto de acceso de baja potencia de cortocircuito, por tratarse de un corredor radial extenso en 132 kV.
En síntesis, se demuestra que la red se comporta adecuadamente ante fluctuaciones rápidas de la potencia generada por variaciones bruscas del viento en los diferentes clusters de PEs aledaños.



a) E-03 b) E-02

Fig. 9. Resumen de fluctuaciones de tensión máximas en barras para casos con el conjunto de PEs de proyecto en servicio.

Propuestas de esquemas RAD/DAG.

Los resultados obtenidos dejan entrever que el sistema no es capaz de operar dentro de las condiciones impuestas por el operador de red para ciertos escenarios de demanda/generación, tanto para los escenarios base planteados como para el ingreso de los PEs en conjunto. Esto hace que sea necesario tomar medidas sobre el sistema para cumplir con los requisitos de exigencia mínima y así evitar posibles problemas que lleven al colapso total.
En primera instancia, se analiza en condición de red N para los escenarios base con los PEs en proyecto y en servicio, y se efectúa un esquema de RAG o DAG a los fines de evitar sobrecargas en LATs y TPs del sistema.
Dado que en el planteo inicial de los escenarios de carga se despacha el mínimo de potencia térmica para garantizar el correcto funcionamiento del sistema, se procede con la RAG o DAG (según corresponda cada caso particular) de las CHs como la primera tecnología de generación a modificar para buscar condiciones admisibles de operación. Si no es posible encontrar un punto óptimo de funcionamiento con la variación de la potencia de generación de esta tecnología, se realiza RAG en los PEs, los cuales se dejan para el final debido a que presentan prioridad de despacho en relación a las demás tecnologías de generación.
Con respecto a los PEs, la RAG se realiza de manera proporcional a la potencia nominal de cada parque, y se tienen en cuenta sólo los PEs que contribuyen a aumentar la sobrecarga de algún equipamiento de red. Otra de las causas por la cual se evita modificar la generación térmica se justifica desde el punto de vista de que el sistema debe contar con reserva de potencia rotante suficiente para garantizar su estabilidad en los casos donde la falta del recurso eólico haga que se pierda toda la potencia eólica proveniente de los PEs.

En la Fig. 10 se exponen las potencias según el tipo de tecnología de generación que es necesaria recortar para cada escenario, de modo que cumplan con las condiciones admisibles de operación cuando se realiza el ingreso tanto de los PEs en servicio como de los PEs en proyecto. Se observa que el E-04, con menor demanda del área, implica la mayor exportación de potencia hacia el SADI, con la consecuente solicitación en LATs y TPs, totalizando 420 MW de recorte de potencia, que representa un valor elevado del orden al 20% de la potencia total despachada por la región.
Se advierte que los escenarios que presentan la máxima inyección de potencia de los PEs al área, E-02 y E-04, requieren recortes de potencia de la propia tecnología de 17 y 85 MW. Estos valores de recorte de potencia, en términos relativos, implican una disminución del 2% de la potencia de despacho de PEs para el E-02 y del 10% para el E-04.

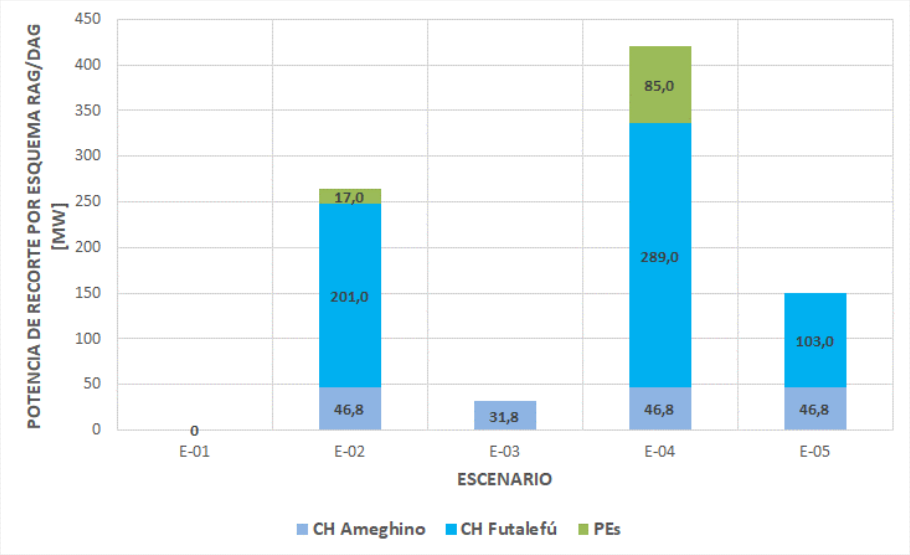


Fig. 10. Recorte de potencias según tecnología de generación para cada escenario.

Impacto del acceso de conjunto de PEs para condiciones de red en emergencia.

Este apartado tiene por objeto el análisis del impacto que provoca sobre el sistema de transporte y el área de influencia de los nuevos proyectos, la salida de servicio de algún elemento importante del sistema. Para esto, se realizan estudios de flujo de carga donde se simula la falla de aquellos elementos que se identifican como importantes dentro de la zona de influencia de los PEs, a fin de verificar que se satisfagan los límites establecidos en el código de red para estados de contingencia simple.
En total, se evalúan 4 contingencias en TPs de 500/132 y 330/132 kV y 7 fallas simples en LATs de 132 kV, que se identifican en la Fig. 11.

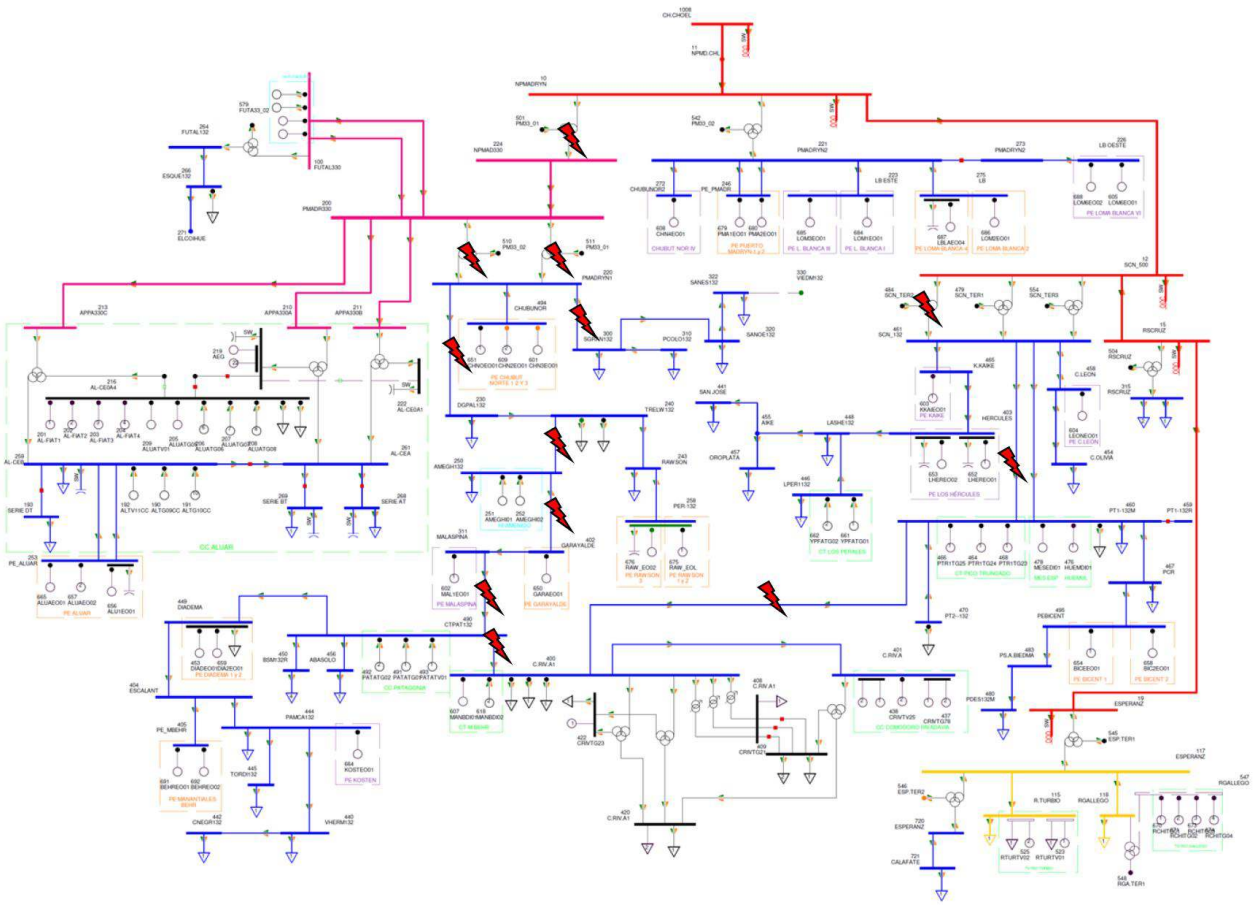


Fig. 11. Identificación de contingencias evaluadas.

En la Fig. 12. se resumen los recortes de potencia totales por esquemas RAG/DAG a aplicar en CHs y PEs en función al tipo de elemento en falla (TPs o LATs) para cada escenario de carga, donde se observa que el escenario más perjudicial es el E-04, seguido del E-02. Se observa que en todos los escenarios la potencia de recorte ante las pérdidas de los TPs es muy superior a la de las salidas de servicio de LATs, alcanzando una relación de 3 veces en el E-03. Los elevados niveles de aplicación de DAG/RAG se deben principalmente a la pérdida de TPs en el sistema, ya que estas contingencias imposibilitan la exportación de energía por parte de los PEs, al quedar los mismos en condición de isla.

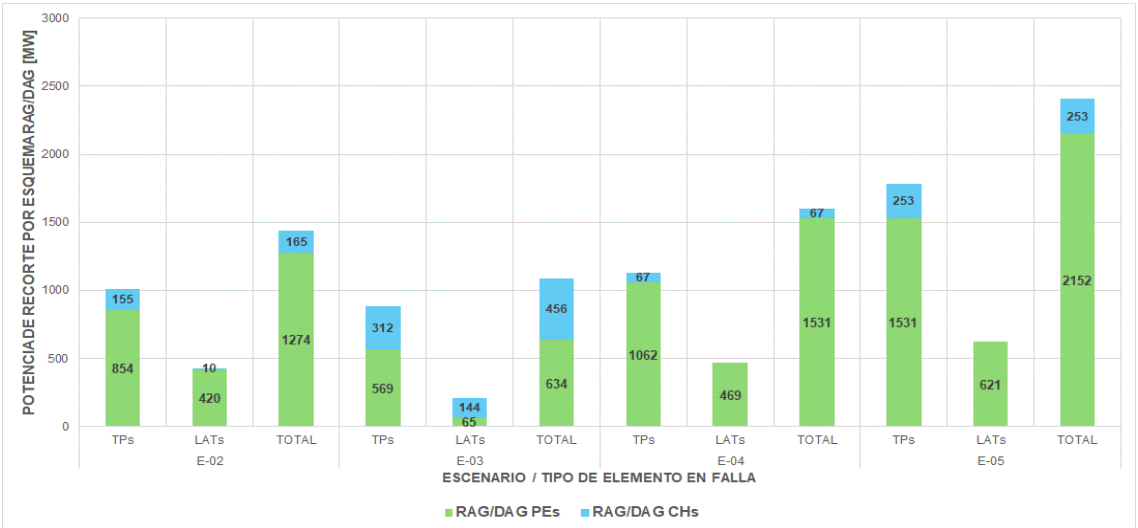


Fig. 7. Resumen de potencias de recorte en esquemas DAG/RAG del total de las contingencias planteadas en TPs y LAT para cada escenario

Conclusiones

Se han realizado estudios de flujos de potencia para diversos escenarios carga que permitieron detectar los puntos críticos de la red que impiden su correcto funcionamiento y se acentúan cuando el despacho de generación eólica se hace presente. Se destaca como limitantes más importantes las sobrecargas en LATs y TPs para escenarios donde la demanda del sistema es mínima y se establecen niveles de generación elevados, correspondiente a las CHs y a los PEs. Las limitaciones identificadas hacen que sea necesaria algún tipo de acción para evitar este tipo de restricciones y así garantizar la operabilidad del sistema. La aplicación de RAG/DAG se presenta como una solución de aplicación en una primera etapa de regularización del sistema para su operación normal, con la desventaja de efectuar recortes de potencia que alcanzan a los PEs, ocasionando un vertido de energía renovable e impidiendo a las CHs realizar el despacho del total de su potencia nominal disponible, con valores máximos que alcanzan hasta un 10% de la potencia total inyectada a la red por esta tecnología.

Referencias

Al-Shetwi, A.Q. (2022). Sustainable development of renewable energy integrated power sector: trends, environmental impacts, and recent challenges, Sci.

CAMMESA. (2011). Anexo 40: Generación Eólica

CAMMESA. (2014). Anexo 4: Control de tensión y despacho de potencia reactiva. Los Procedimientos de CAMMESA.

CAMMESA. (2019). Mercado a término de energías renovables (MATER). Informe Renovables agosto 2019" pp. 1-25. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Recuperado de https://cammesaweb.cammesa.com/mater/

CAMMESA. (2024). Resumen Ejecutivo de principales variables del MEM – Enero a diciembre de 2023, Gerencia de Análisis y Control Global CAMMESA.

Dvijotham, K.; Backhaus, S.; Chertkov, M. (2011). Operations-based Planning for Placement and Sizing of Energy Storage in a Grid with a High Penetration of Renewables, 2011 arXiv Prepr. arXiv1107.1382.

Honorable Congreso de la Nación Argentina (HCNA). (2015). Ley 27.191: Régimen de Fomento Nacional para el Uso de Fuentes Renovables de Energía Destinada a la Producción de Energía Eléctrica. Recuperado de https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/253626/texto

Joyce Lee, F.Z. (2021). GWEC Global Wind Report 2021, Global Wind Energy Council, 2021. Recuperado de https://gwec.net/wp-content/uploads/2021/03/GWEC-Global-Wind-Report-2021.pdf.

Manassero, U.; Cea, M.; Furlani, R.; Steinmann, I.; Banegas, J. M. (2024). Acceso de proyectos de parques eólicos en el área Patagonia: análisis estadístico de producción de energía (parte 1), V Congreso de Energías Sustentables (CES 2024).

Neuman, M.; Nicolini, J.; Malco, J. (2020). Panorama de la energía eólica en Argentina. Documento de trabajo: DT IDEI 3-2020. Revista del Centro Argentino de Ingenieros, 2-24. Recuperado de https://www.ungs.edu.ar/idei/publicacion-idei/documentos-de-trabajo-2

Wang, P.; Gao, Z.; Bertling, L. (2012). Operational adequacy studies of power systems with wind farms and energy storages, IEEE Trans. Power Syst. 27, pp. 2377 – 2384.

ESTUDIO DE LAS MODIFICACIONES EN LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DE LA CERVEZA ARTESANAL CONSERVADA A DISTINTAS TEMPERATURAS

Jesús Lione, Virginia I. Giordanengo, María C. Ciappini

Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnología de Alimentos (CIDTA), Facultad Regional Rosario, Universidad Tecnológica Nacional, 2000, Rosario, Santa Fe, Argentina
jelione@hotmail.com

Resumen

La cerveza artesanal es un producto de naturaleza delicada y perecedera. La ausencia de conservantes agregados y la no pasteurización implican que la calidad del producto se vea alterada fácilmente según las condiciones de almacenamiento. En este sentido, la temperatura y el transcurso del tiempo juegan un papel clave. Con foco en los parámetros fisicoquímicos, se conservó cerveza Cream Ale enlatada, en diferentes condiciones térmicas (4°, 12ºC y 25 ºC), por espacio de 0, 60, 90 y 120 días. Se determinó la capacidad espumante y la estabilidad de la espuma, mediante el método de Constant; el pH (AOAC 945.10); la densidad (AOAC 920.50); el contenido de alcohol (AOAC 935.22); la intensidad del color (AOAC 976.08) y el contenido de iso-alfa-ácidos (AOAC 965.21). Para las muestras conservadas a 25 °C, el pH disminuyó desde 4,16 a 3,94 a los 60 días de conservación, mientras que la densidad lo hizo a partir de los 90 días. El color, en cambio, aumentó de 4,5 a 4,9, especialmente para las muestras conservadas a 25 °C. La capacidad espumante disminuyó a partir de los 120 días para las muestras conservadas a 4 y 12°C y a partir de los 90 días, para las conservadas a 25°C. Los iso-alfa ácidos disminuyeron desde 22,7 ug/ml a 13,3 ug/ml a 25°C. El contenido de alcohol aumentó en las muestras conservadas a mayor temperatura, posiblemente debido a la continuidad del proceso fermentativo. Se observaron modificaciones en todos los parámetros analizados para las tres temperaturas de almacenamiento. Los cambios se incrementaron con el aumento de esta variable. Se recomienda almacenar la cerveza artesanal a la menor temperatura posible o comercializarla antes de los 60 días.

Palabras Clave: Cerveza artesanal, análisis fisicoquímicos

Introducción

Si bien la producción de cerveza data de la antigüedad, la producción de cerveza artesanal tal como la conocemos hoy en día, comenzó a mediados de los años 60 en Estados Unidos, prosiguió en Inglaterra y posteriormente se expandió al resto del mundo (Bahiano, 2021). Actualmente en nuestro país su consumo está en auge, siendo un producto valorado por un público que demanda innovación, variedad de estilos y calidad como prioridad. Alcanza su punto óptimo inmediatamente después de su elaboración y, a medida que transcurre el tiempo, las posibilidades de que disminuya su calidad aumentan, presentando desafíos adicionales durante su transporte y distribución.

El uso de tratamientos térmicos convencionales para prolongar su conservación, tiene un impacto negativo en el producto final (Milani et al., 2016; Milani and Silva, 2016, 2022; Deng et al., 2018). El uso de tecnologías alternativas, como ser ultrasonido, alta presión en combinación con tratamientos térmicos más leves (Milani et al., 2016; Milani and Silva, 2017, 2022) o tratamientos biológicos (Kordialik, 2022), no están al alcance del pequeño productor y muchos requieren de más investigación para que su uso sea masivo. El Código Alimentario Argentino, en el artículo 1082 bis, prohíbe, para la cerveza artesanal, el uso de aditivos alimentarios e indica que solo debe ser elaborada con ingredientes naturales, por lo cual la temperatura de conservación constituye una de las herramientas más importantes para preservar el producto.

Considerando que los cerveceros artesanales no utilizan tecnologías de conservación para este producto, que no es factible utilizar conservantes y que la cerveza artesanal, como todo alimento

comercializado, requiere una fecha de vencimiento, es necesario establecer su vida útil. Para ello, se conservaron cervezas artesanales sin pasteurizar a distintas temperaturas de almacenamiento y se observaron las modificaciones de parámetros fisicoquímicos característicos, a través del tiempo.

Materiales y métodos

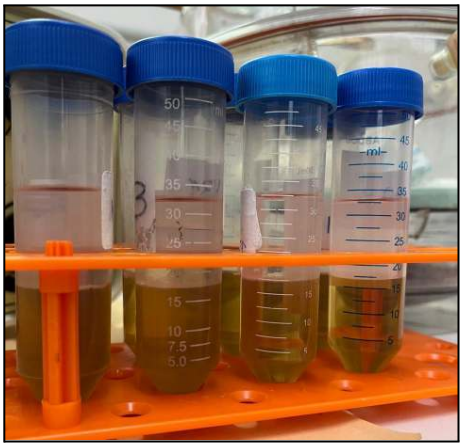
Reproduciendo las posibles condiciones de almacenamiento, las muestras de cerveza artesanal enlatada se conservaron a 4, 12 y 25 °C y se ensayaron a 0, 60, 90 y 120 días. Se analizaron los siguientes parámetros fisicoquímicos: iso alfa ácidos, pH, contenido de alcohol, densidad, intensidad del color y capacidad espumante.

Iso - alfa ácidos

Su análisis se realizó según el método AOAC 965.21 (2000). Las muestras de cerveza, se sometieron a un proceso de extracción líquido-líquido, mezclando las fases en un Agitador Boeco OS-20 (Hamburgo, Alemania) (ver Figura 1). Luego del mezclado, las muestras se centrifugaron en una centrífuga Rolco 2050 (Buenos Aires, Argentina), a máxima velocidad. La fase superior se sometió a posterior mezclado manual y diluciones y, finalmente, luego de uniformar temperaturas en un baño termostático Vicking modelo Dubnoff (Buenos Aires, Argentina), se determinó su absorbancia a 255 nm (A_{255}), mediante un espectrofotómetro Shimadzu UV 1800 (Kioto, Japón).

Los iso alfa ácidos se determinaron según (1)

$$iso\ alfa\ ácidos\ en\ cerveza\ \{\frac{\mu g}{mL}\} = 96,15\ .\ A_{255} + 0,4 \qquad (1)$$



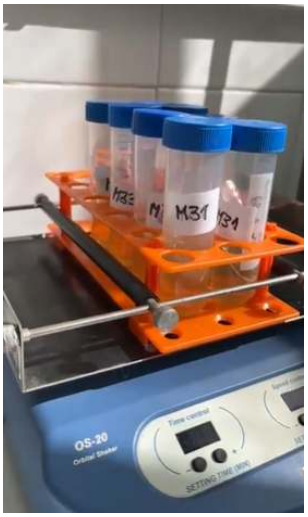


Figura 1: Muestras de cerveza en agitador mecánico, previo a la extracción.

pH

Para la medición de pH se utilizó el pHmetro OHAUS Starter 3100 (Parsippany, NJ, USA), según el método AOAC 945.10 (2000), luego de eliminar el gas disuelto.

Contenido de alcohol

Para esta determinación, se utilizó el método AOAC 935.22 (2000). La muestra se sometió a destilación (Figura 2), colectando el condensado en un picnómetro y midiendo posteriormente la

densidad y haciendo la lectura del % (V/V) de alcohol. Los cálculos utilizados de calibración del picnómetro y cálculos son similares al procedimiento AOAC 920.50 (2000).

Figura 2. Destilación para la determinación de alcohol en cerveza.

Densidad

Para este ensayo, se utilizó el método AOAC 920.50 - Gravedad Específica de cerveza (2000). Luego de calibrar el picnómetro con agua destilada y desgasificar la muestra, se registró su peso en una balanza BOECO Modelo BAS 31 Plus (Hamburgo, Alemania). El cálculo de densidad se determinó según (2).

$$Densidad\ de\ la\ muestra\ a\ 20\ °C\ =\ densidad\ del\ agua\ a\ 20\ ºC\ .\ (\frac{peso\ de\ la\ muestra}{peso\ del\ agua}) \quad (2)$$

Intensidad de color (IC)

Para la medición del color, se utilizó el método AOAC 976.08 (2000). Para ello, la muestra se desgasificó mediante agitación en un agitador magnético y luego en el equipo Lavador Ultrasonico Testlab (Buenos Aires, Argentina). Fue necesario centrifugar todas las muestras en una centrífuga Rolco, modelo 2050, a máxima velocidad, para satisfacer el requisito de eliminar la turbidez, característica de cervezas artesanales. Finalmente, se determinó la absorbancia de las cervezas a 430 nm (A_{430}) en el espectrofotómetro Shimadzu UV-1800, utilizando celdas de 1 cm. El color se determinó de acuerdo a (3).

$$Intensidad\ del\ color\ en\ cerveza\ \ IC\ =\ 10.A_{430} \quad (3)$$

Capacidad espumante (CE)

Para determinar la capacidad espumante (Romero et al, 2012), se agitaron 40 ml de cerveza en un agitador magnético Ionomex (Buenos Aires, Argentina) durante 10 minutos a velocidad máxima (Figura 3). Luego, se registró el volumen de cerveza inicial (V_L) y el volumen de espuma (V_E). La capacidad espumante, se calculó según la ecuación 4.

$$CE\ =\ \frac{V_E}{V_L} \quad (4)$$

Figura 3: Determinación de capacidad espumante de cerveza mediante agitador magnético.

Análisis estadístico

Los resultados experimentales se analizaron estadísticamente mediante ANOVA de un factor, con un nivel de significancia de $p < 0,05$. Se indicó también la existencia de diferencias significativas, mediante pruebas de Tukey y Dunnet. Estos análisis se realizaron mediante el software R-4.3.2.

Resultados y Discusiones

Los resultados se presentan como los valores medios y sus desviaciones estándar.

Iso alfa ácidos

Los iso alfa ácidos disminuyeron en función del tiempo de conservación para las tres temperaturas ensayadas (Figura 4). El fenómeno fue más intenso para las muestras conservadas a 25 ºC, mientras que la disminución de la concentración fue similar para las muestras conservadas a 4 y a 12 ºC.

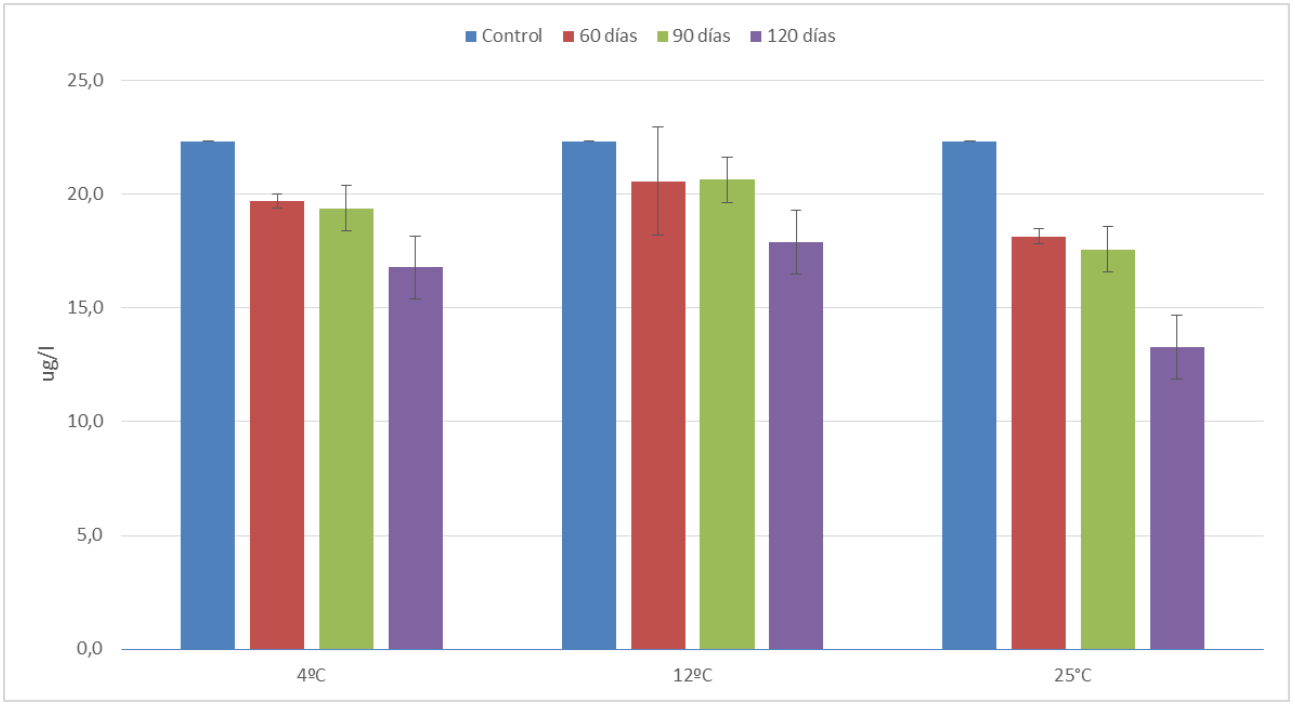


Figura 4. Iso-alfa ácidos de la cerveza en función del tiempo y la temperatura de conservación.

Las flores de la planta del lúpulo contienen gránulos resinosos dorados, las lupulinas, que son la parte más importante de la flor utilizada como ingrediente para obtener el amargor y la conservación de la cerveza. La química de las resinas es algo compleja, los ácidos pueden ser del tipo α o β , siendo los primeros los más importantes y representado entre el 2% y el 15% del peso seco del lúpulo, dependiendo de la variedad y el entorno. Los ácidos, que se presentan como sólidos de color amarillo pálido en estado puro, son del tipo débil, escasamente solubles en agua y casi no presentan sabor amargo. Se han caracterizado cinco análogos de los α-ácidos: tres α-ácidos principales, cohumulona, humulona y adhumulona, y dos α-ácidos menores, prehumulona y posthumulona. Son moderadamente ácidos e intensamente amargos y contribuyen a la estabilidad de la espuma. La fotodegradación y la oxidación asistida por radicales de los iso-α-ácidos son responsables de la reducción significativa de la intensidad del amargor, así como un cambio en su calidad, lo que provoca que sea duradero, persistente y áspero. También provocan la generación de potentes compuestos conducentes a la aparición de mal olor (Caballero et al., 2012). La oxidación es catalizada por la temperatura, de manera que el comportamiento observado en estos ensayos se corresponde con lo esperado y con lo obtenido en otros estudios (Blanco et al., 2006; Caballero et al., 2012).

pH

Como se indica en Figura 5, se aprecia una tendencia creciente en los valores de pH cuando las muestras se conservaron a 4 y 12 °C; sin embargo, no se observaron diferencias significativas para estos valores. En cambio, en las muestras conservadas a 25 °C, disminuyó significativamente respecto de la muestra control. Esta variación se originó, probablemente, en la generación de ácidos debido a la continuidad del proceso fermentativo.

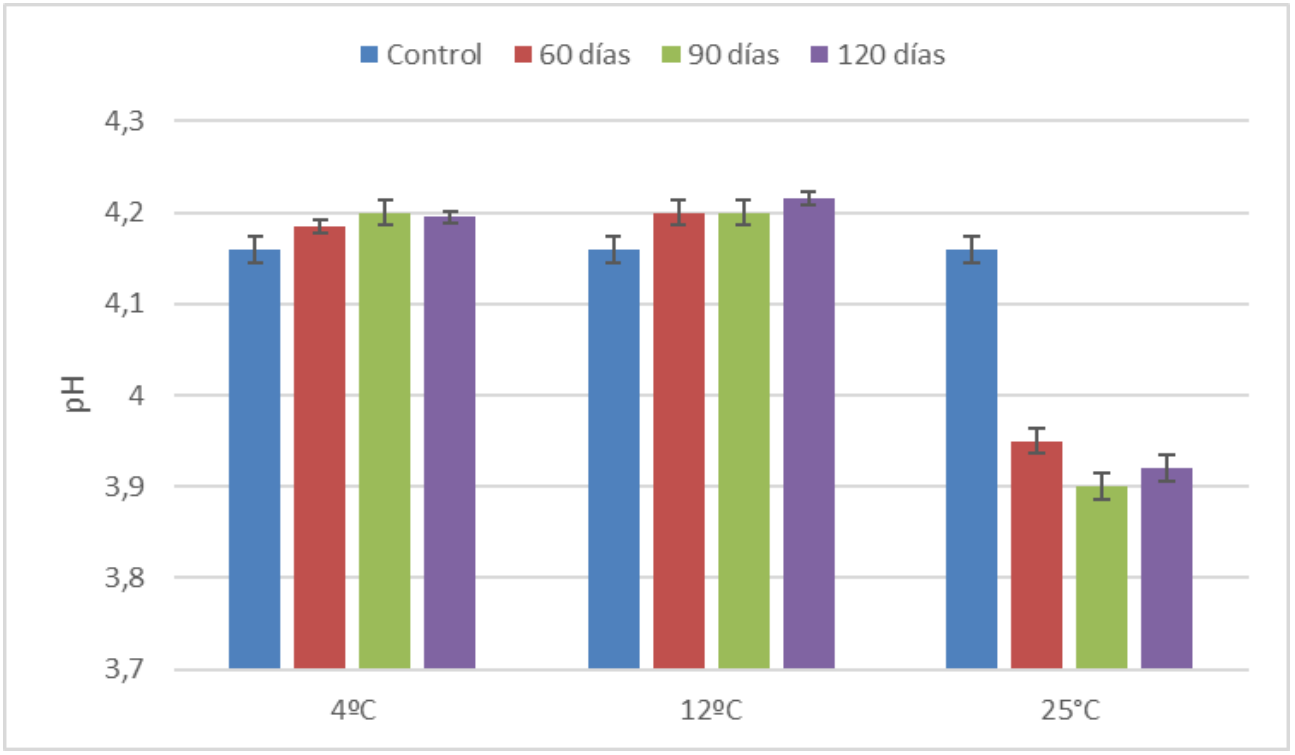


Figura 5. pH de la cerveza en función del tiempo y la temperatura de conservación.

El pH en la cerveza habitualmente se encuentra entre 4,1 y 4,4, raramente llega a 4,0 para fermentaciones normales. Estos valores se observaron en la cerveza control y en aquellas almacenadas a 4 y 12 ºC. Sin embargo, en la cerveza conservada a 25 ºC disminuyó aproximadamente a 3,9. Una disminución en la variable acelera la oxidación de la cerveza, manifestando un enturbiamiento coloidal y afectando los sabores. El aducto nonenal-SO tiende a disociarse a pH reducido, manifestándose estos subproductos como sabores a cartón, característicos de cervezas envejecidas (Kanneda et al., 1997). Sería interesante llevar a cabo un análisis sensorial complementario, para verificar los cambios producidos en el flavor de la cerveza conservada principalmente a 25 ºC.

Contenido de alcohol

Respecto del contenido de alcohol (Figura 6), se observó un aumento significativo en su concentración en las muestras conservadas a 12 y 25 °C, a los 90 y 120 días de conservación. Probablemente este comportamiento también pueda ser atribuido a la continuidad del proceso fermentativo, que genera más alcohol. Podría generar un inconveniente en relación al porcentaje de alcohol que se informa en la etiqueta del producto, que estaría modificándose desde el 5,3 % inicial al 5,7 % para la cerveza conservada a 12º y a 25 ºC.

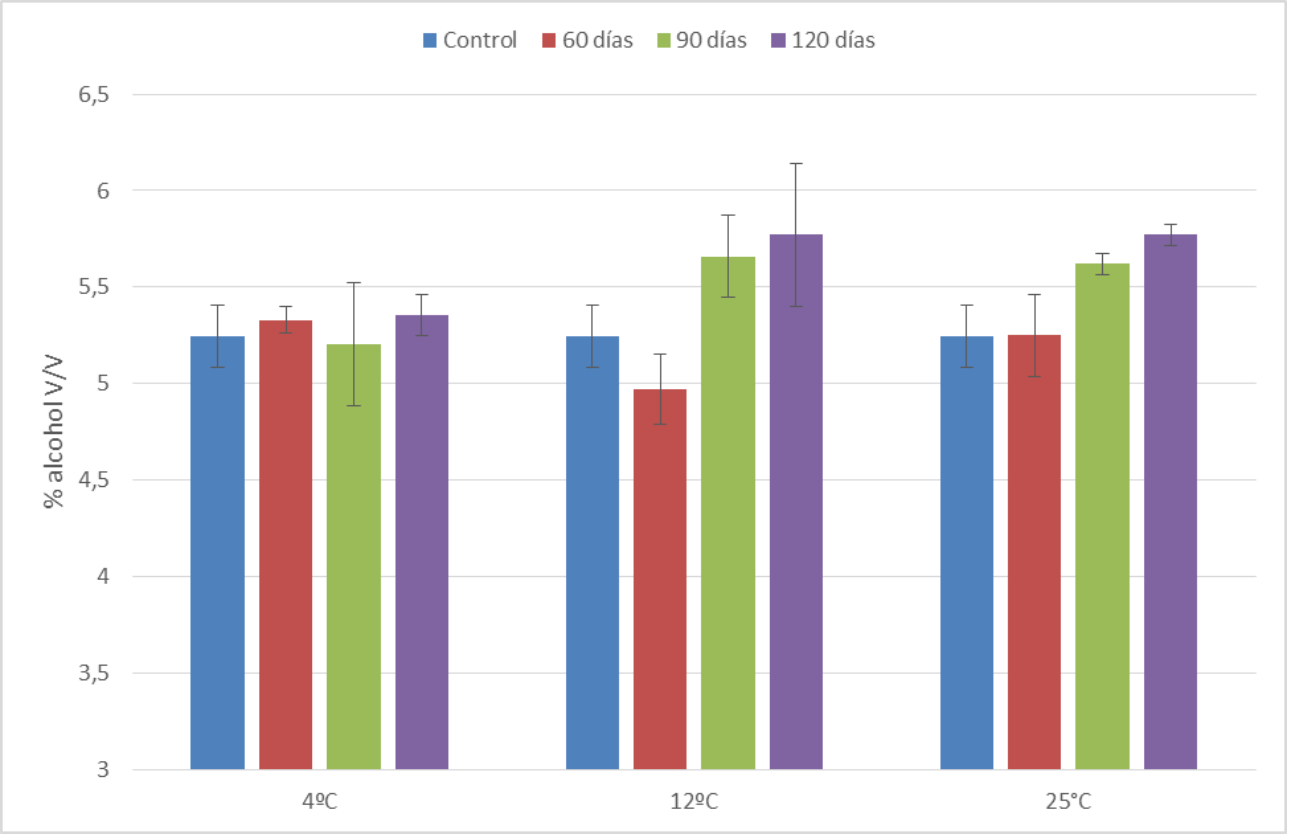


Figura 6. Porcentaje de alcohol (V/V) de la cerveza
en función del tiempo y la temperatura de conservación

Densidad

La Figura 7 muestra las modificaciones ocurridas en la densidad de la cerveza. Se observa una disminución de esta propiedad en las muestras conservadas a 25 ºC durante 90 y 120 días, probablemente por el aumento del porcentaje de alcohol, resultado de la continuidad del proceso fermentativo. Sin embargo, los resultados no son significativos ni generaron modificaciones de interés en la cerveza almacenada.

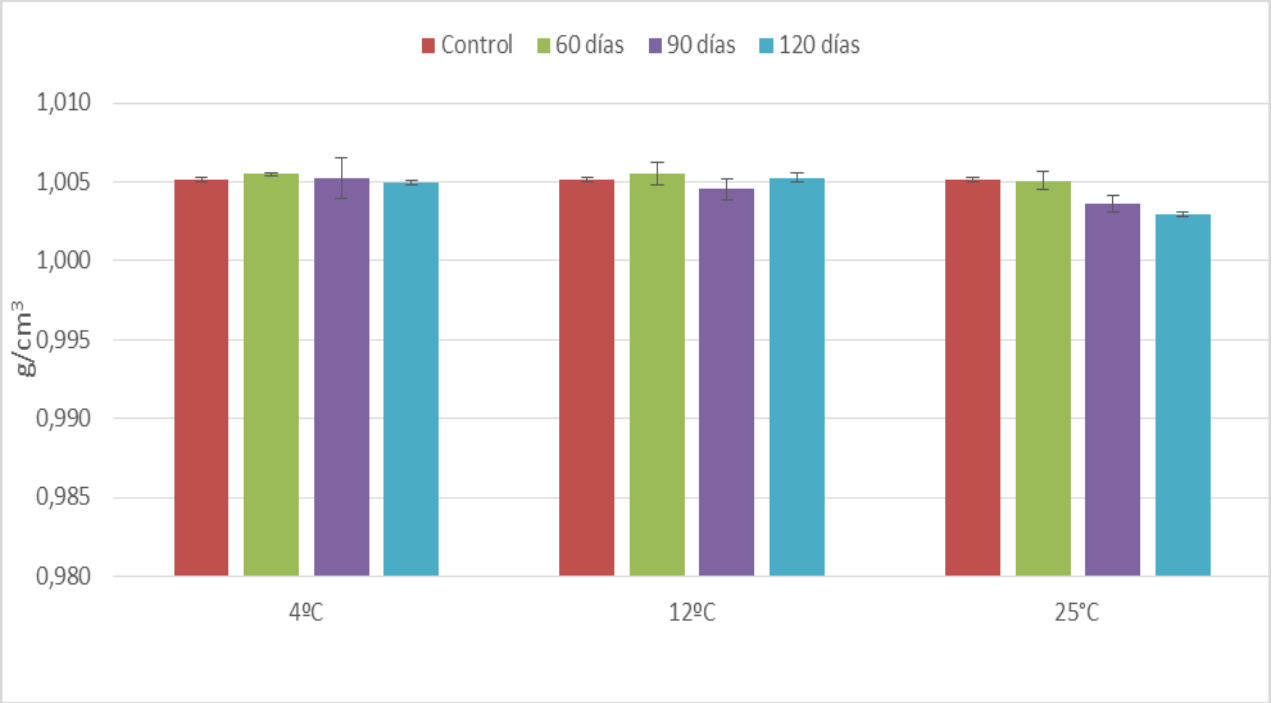


Figura 7: Densidad de la cerveza en función del tiempo y la temperatura de conservación.

Color

La intensidad del color aumentó en las muestras de cerveza conservadas, siendo más intenso el cambio cuando la temperatura de conservación fue igual a 25°C, como se aprecia en la Figura 8. Posiblemente esta modificación se deba al desarrollo de reacciones de Maillard y otros reordenamientos moleculares, que involucran probablemente a los flavonoides.

En otros estudios, también se observó un aumento casi lineal del color en muestras almacenadas a 40 °C en ausencia de oxígeno. La formación de productos Maillard coloreados en estas condiciones de almacenamiento fue probablemente la causa predominante. En presencia de oxígeno, el aumento de color fue rápido durante los primeros días, debido a la oxidación y posterior degradación de los polifenoles. Dicha degradación fue confirmada por la disminución de los flavonoides totales y la concentración constante de polifenoles totales (Callemien y Collin, 2007).

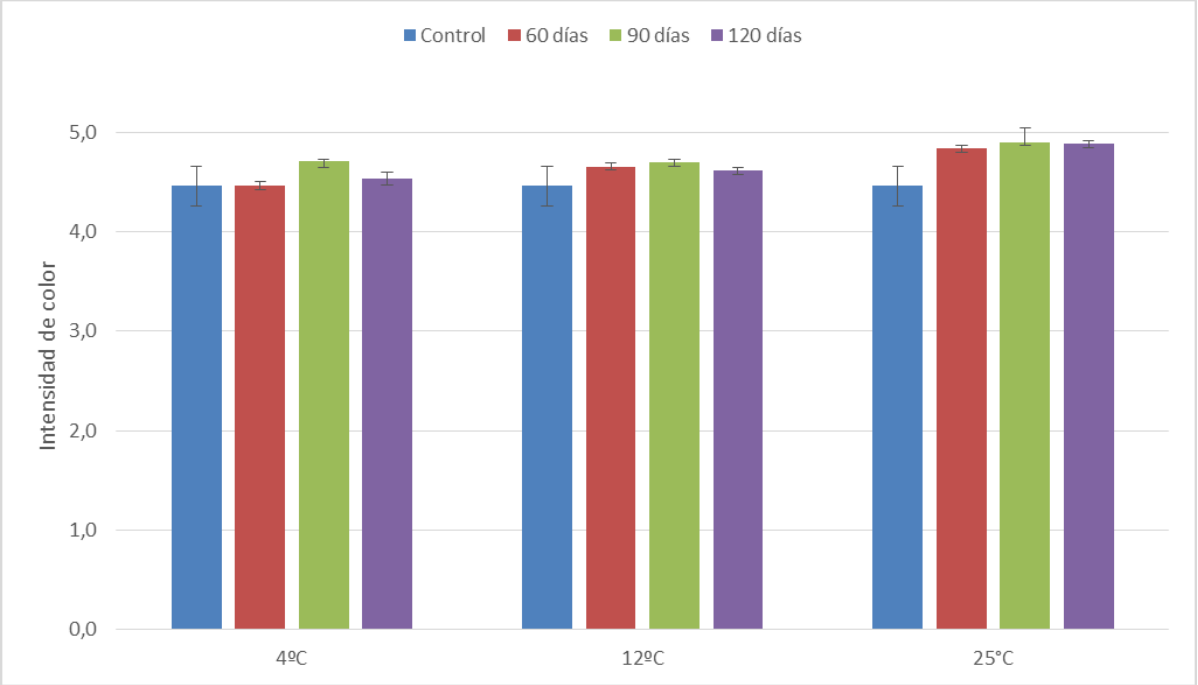


Figura 8. Intensidad del color de la cerveza en función del tiempo y la temperatura de conservación.

Capacidad Espumante

En general, se observa una disminución en la capacidad espumante significativamente diferente cuando transcurrieron 120 días de conservación, para las tres temperaturas ensayadas (Figura 9). Para las muestras conservadas a 25°C, también se observaron diferencias significativas a los 90 días. Probablemente, esta disminución se deba a la degradación de proteínas que tienen propiedades espumantes (Niu, 2018).

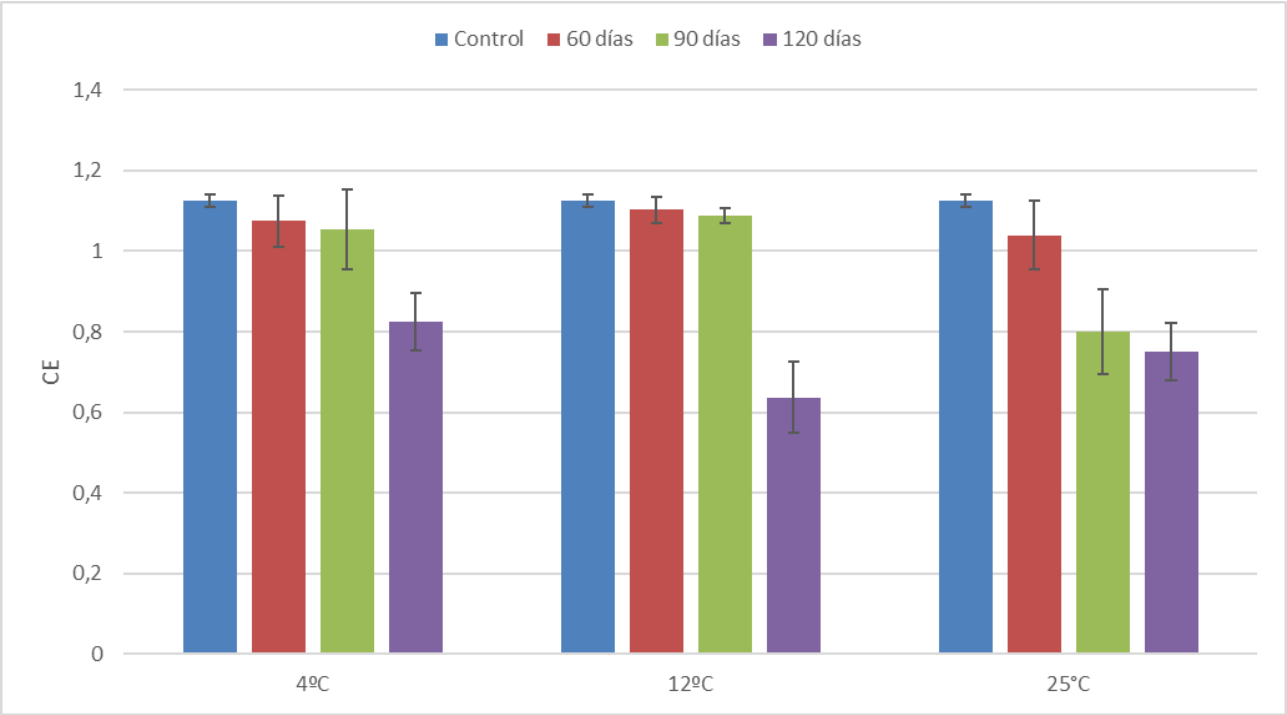


Figura 9. Capacidad espumante de la cerveza en función del tiempo y la temperatura de conservación.

Conclusiones

Los métodos fisicoquímicos seleccionados en este trabajo permitieron observar variaciones en la calidad del producto en función de las condiciones de almacenamiento, por lo que pueden utilizarse como guía para controlar la degradación del producto.
La temperatura de conservación acelera los procesos de deterioro de la cerveza artesanal. En consecuencia, es recomendable conservarla a la menor temperatura posible. Sin embargo, la refrigeración significa una erogación para quienes elaboran y comercializan la cerveza.
En base a las variables analizadas y a los resultados obtenidos, se sugiere que la cerveza artesanal sin pasteurizar se consuma antes de los 60 días hábiles, lo que aseguraría un deterioro limitado, aún si se la conserva a temperatura ambiente.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Tecnológica Nacional por el financiamiento a través del proyecto Vida Útil de Cerveza PATCRO0008570TC, a la cervecería artesanal Keinkater de Rosario, por su colaboración y el suministro de materias primas.

Referencias

AOAC (2000). Official Methods of Analysis. 17th Edition, The Association of Official Analytical Chemists. Methods 945.10, 920.50, 935.22, 976.08, 965.21. Gaithersburg, MD, USA

Baiano, A. (2021). Craft beer: An overview. Comprehensive reviews in food science and food safety, 20(2), 1829-1856. doi:10.1111/1541-4337.12693

Blanco, C., Rojas, A., Caballero, P.A., Ronda, F., Gómez, M., Caballero, I. (2006). A better control of beer properties by predicting acidity of hop iso-α-acids. Trends in Food Science & Technology. 17. 373-377. doi: 10.1016/j.tifs.2005.11.012.

Caballero I., Blanco C. A., Porras M. (2012). Iso-α-acids, bitterness and loss of beer quality during storage, Trends in Food Science & Technology, 26(1), 21-30. doi:10.1016/j.tifs.2012.01.001

Callemien, D., & Collin, S. (2007). Involvement of flavanoids in beer color instability during storage. Journal of agricultural and food chemistry, 55(22), 9066-9073.

Niu, C., Han, Y., Wang, J., Zheng, F., Liu, C., Li, Y., & Li, Q. (2018). Malt derived proteins: Effect of protein Z on beer foam stability. Food Bioscience, 25, 21–27. doi:10.1016/j.fbio.2018.07.003

Deng, Y., Bi, H., Yin, H., Yu, J., Dong, J., Yang, M., & Ma, Y. (2018). Influence of ultrasound assisted thermal processing on the physicochemical and sensorial properties of beer. Ultrasonics Sonochemistry, 40, 166–173. doi:10.1016/j.ultsonch.2017.07.01

Kordialik-Bogacka E. (2022). Biopreservation of beer: Potential and constraints, Biotechnology Advances, 58, 107910. doi: 10.1016/j.biotechadv.2022.107910.

Kaneda, H.; Takasiiio, M.; Tamaki T. (1997). Influence Of Ph On Flavour Staling During Beer Storage, J. Inst. Brew., 103, 21-23. Recuperado de https://cdn.homebrewtalk.com/data/attach/578/578401-j.2050-0416.1997.tb00932.x.pdf

Milani, E. A., y Silva, F. V. M. (2016). Nonthermal Pasteurization of Beer by High Pressure Processing: Modelling the Inactivation of Saccharomyces cerevisiae Ascospores in Different Alcohol Beers. High Press. Res. 36 (4), 595–609. doi:10.1080/08957959.2016.1190354

Milani, E. A., y Silva, F. V. M. (2017). Ultrasound Assisted thermal Pasteurization of Beers with Different Alcohol Levels: Inactivation of Saccharomyces cerevisiae Ascospores. J. Food Eng. 198, 45–53. doi:10.1016/ j.jfoodeng.2016.11.015

Milani, E. A., Ramsey, J. G., Silva, F. V. M. (2016). High Pressure Processing and Thermosonication of Beer: Comparing the Energy Requirements and Saccharomyces cerevisiae Ascospores Inactivation with thermal Processing and Modeling. J. Food Eng. 181, 35–41. doi:10.1016/j.jfoodeng.2016.02.023

Milani, E. y Silva, F. (2022). Pasteurization of Beer by Non-Thermal Technologies. Frontiers in Food Science and Technology. 1. doi:10.3389/frfst.2021.798676.

Romero, C., Benitez, E. L. (2012). ¿A qué se debe la formación y estabilidad de la espuma en la cerveza? Estudio en cervezas regionales del nordeste argentino. II Jornadas de Investigación en Ingeniería del NEA y países limítrofes. U.T.N. FRResistencia. Recuperado de https://rtyc.utn.edu.ar/index.php/ajea/article/download/514/413/2093

DISEÑO DE BUQUE DE LIMPIEZA PARA EL PUERTO DE MAR DEL PLATA

Nicolás A. Antonelli[123], Joel Tolosa[1], Favio A. Fracassi[1], Bruno I. Fioriti[1], Matías E. Araya[1], Guillermina A. Claverie[1], Nicolas Sassot[1], Lucas M. Gomez[1], Patricio Duhalde[1], Lucia L. Salay[1], Lucas Bressanello[1], Alejandro C. Vaccari[1]

[1]Grupo HidroSim, Facultad Regional Mar del Plata, Universidad Tecnológica Nacional, Buque Pesquero Dorrego No 281, Mar del Plata
[2] CONICET – CCT Mar del Plata, Argentina, http://mardelplata-conicet.gob.ar/
[3]Grupo de Ingeniería Asistida por Computadora (GIAC), UNMDP, Facultad de Ingeniería, Juan B.Justo No 4302, Mar del Plata, Argentina, email:ingenier@fi.mdp.edu.ar
nicolasantonelli50@gmail.com

Resumen

El puerto de Mar del Plata es uno de los más importantes del país, principalmente por su actividad pesquera, aunque también operan buques cargueros, remolcadores y de pasajeros, los cuales generan desechos de diversa naturaleza. Generalmente se los suele clasificar en función de su origen en: residuos generados en las embarcaciones por su actividad en el mar, aguas de sentina y residuos domésticos; residuos generados en tierra por las embarcaciones y, por último, residuos generados en los astilleros por reparaciones y mantenimiento.

En consonancia con las legislaciones nacionales y con los objetivos de desarrollo sustentable se plantea el interés de reducir el impacto mediante soluciones tecnológicas tanto para recolección de residuos a flote como para tratamiento en tierra, disposición final y reciclaje.

Se realizó un estudio de las alternativas disponibles para proyectar soluciones tecnológicas viables para la gestión de residuos, y para ello se describieron los aspectos más importantes a considerar para el diseño de embarcaciones para recolección de residuos sólidos. Se discutió la opción más adecuada para caso del puerto de Mar del Plata y se propuso una solución acorde a las necesidades y características de este.

Nuestra propuesta consiste en un catamarán de recolección por canasto rebatible y con propulsión eléctrica. La disposición de multicasco le da un mayor espacio de trabajo sobre cubierta, y son conocidos por su buena maniobrabilidad debido a la separación de los cascos. Esto facilita las operaciones de recolección de basura y permite navegar en áreas con restricciones espaciales, como puertos y muelles.

Se generaron los planos y documentos principales del catamarán, los cuales detallarán cómo se integran los componentes necesarios para garantizar una operación eficiente y sostenible. La viabilidad técnica de la solución propuesta para abordar los desafíos de gestión de desechos en la ciudad se podrá visualizar claramente con esta información.

Palabras Clave: Buque de recolección, Contaminación portuaria, Gestión de residuos.

Introducción

La red pluvial de Mar del Plata desemboca en el mar. Esto genera un flujo de residuos casi constante que en las temporadas y con las grandes lluvias se acrecienta notoriamente. La problemática es muy evidente en lugares concurridos, como las playas de Constitución. Sin embargo, hay arroyos entubados como el que está ubicado en la zona del puerto, que desemboca en un sector que no es de uso público y pasa desapercibido para la mayoría de los ciudadanos.

En consecuencia, la contaminación de la zona portuaria en Mar del Plata no surge únicamente de la propia actividad del sector, sino también de los desechos arrojados en la vía pública, puesto que

estos ingresan a las bocas de tormenta, se trasladan por la red pluvial (Fig. 1) y desembocan directamente en la zona operativa del puerto, como es el caso del Arroyo del Barco (Fig. 2).

Fig. 1. Red pluvial de la zona portuaria de Mar del Plata (Municipalidad de General Pueyrredón, 2023).

Dentro de los elementos contaminantes más presentes, encontramos plásticos, vidrios, metales, maderas, y por último telgopor y gomas espumas. La mayoría de estos elementos tienden a flotar sobre la superficie del agua, observándose a simple vista y muchas veces acumuladas contra muelles o escolleras.

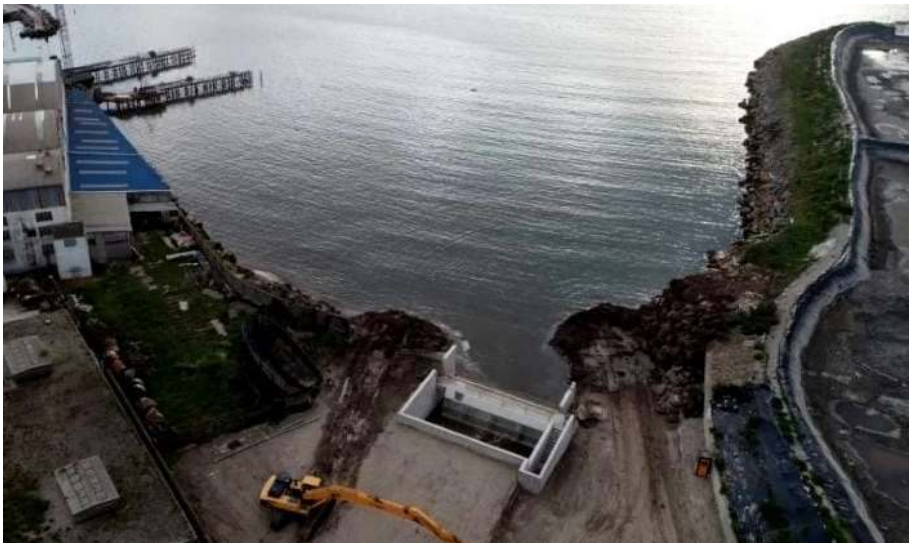


Fig. 2. El Arroyo del Barco – Desagüe pluvial del puerto de Mar del Plata. (La Capital, 2019).

En otros países los pluviales no desembocan en la costa. Son reencausados. Hay obras de ingeniería detrás que son muy complejas y aquí distamos mucho de poder lograrlas. A pesar de la reja de contención y una barrera flotante que posee la desembocadura del Arroyo del Barco, siguen siendo muchos los residuos que terminan escurriéndose en las aguas del puerto marplatense, sumándose también los provenientes de otros desagües secundarios existentes.

Por lo expuesto hasta el momento, el presente proyecto tiene la finalidad de disminuir la contaminación del puerto de la ciudad a través de la extracción de sólidos en superficie mediante un buque de limpieza y métodos fijos complementarios.

Materiales y métodos

El desarrollo de la investigación se basa en la comparación entre los distintos medios de recolección para solidos en superficie para casos similares al puerto de Mar del Plata. Basándonos en el estudio y comparación realizados en la publicación de Tolosa (2023), los distintos tipos de medios de recolección pueden clasificarse de la siguiente manera (Tabla 1):

Tabla 1. Clasificación de los medios existentes para la recolección de residuos.

CLASIFICACIÓN DE LOS MEDIOS DE RECOLECCIÓN		
Sistemas fijos de recolección	Sistemas móviles de recolección	
Ej.: malla de recolección, barrera de contención.	Medios mecánicos continuos.	Tamices o redes.

Una vez establecidas las características principales de nuestro proyecto se realiza un análisis puntual sobre cada inciso que compone su diseño y funcionamiento. Sobre este análisis se tienen en cuenta las condiciones que propone la zona de trabajo, los métodos de construcción más adecuados a la industria de la ciudad, el impacto producido sobre el medio ambiente y las facilidades operativas para llevar a cabos sus tareas.

De los factores recién nombrados, los mas importantes para nuestro análisis serán: la facilidad constructiva del casco, otorgando formas sencillas para su conformado, eliminando formas con detalles excesivos que pueda inducir al error en su fabricación; y, por otro lado, la zona de trabajo, teniendo esta un tránsito constante por parte de los buques pesqueros de la ciudad, y distintas embarcaciones deportivas, embarcaciones de pasajeros y de servicio portuario. Nuestro buque debe tener dimensiones relativas a los espacios de recolección y una buena maniobrabilidad que le permita navegar en dichos espacios reducidos sin interferir en las rutas navegables de las embarcaciones ya mencionadas.

Además, el buque deberá cumplir con distintas normativas, tanto nacionales, como internacionales, que aseguren su funcionamiento durante la navegación y proporcione seguridad tanto a sus tripulantes como a sus alrededores.

Resultados y discusiones

Nuestra propuesta consiste en un catamarán que efectúa su recolección mediante un canastro rebatible accionado por un malacate eléctrico. Su condición de multicasco le proporciona un mayor espacio de trabajo sobre cubierta y además le otorga una mejoría en la estabilidad transversal.

La forma de los cascos será sencilla, con un cuerpo paralelo constante en la mayoría en su longitud (Fig. 3), con la salvedad que la proa cuenta con un lance leventemente marcado. Si bien su forma prismática ofrece mayor resistencia que un casco estilizado, a fines de rendimiento, no es un factor tan influyente como la facilidad de construcción, ya que al navegar en aguas protegidas y que su velocidad de avance es reducida, la resistencia al avance no tendrá una mejora sustentable al afinar sus líneas (Fig. 4). El armado del plano de líneas será acorde a las exigencias de Prefectura Naval Argentina en el RELETEC (1984).

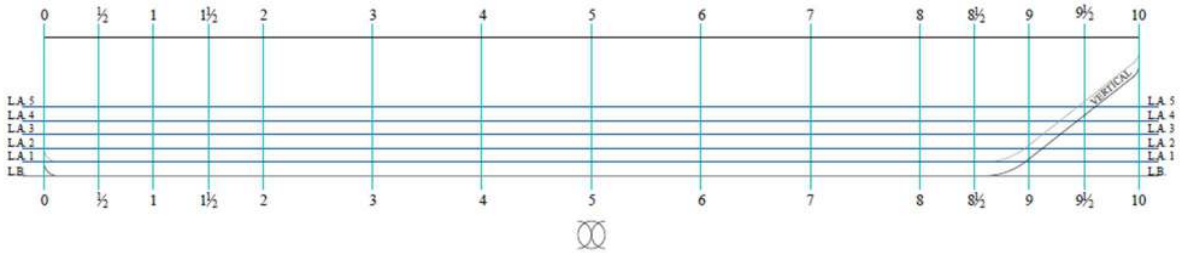


Fig. 3. Vista longitudinal de las líneas del casco.

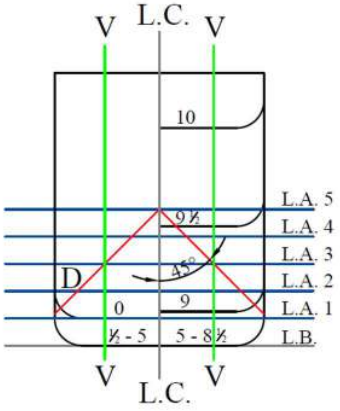


Fig. 4. Vista transversal de las líneas del casco.

La recolección consta de un canasto, con estructura y mallado de acero, vinculado mediante un cable de acero y un juego de poleas instalado en el pórtico de proa, a un malacate eléctrico, alimentado por un grupo de baterías propio que proporciona una autonomía acorde a una jornada diurna de 8 horas laborables, donde se estima un 10% del tiempo en uso. El canasto rebatible, una vez izado, vierte su contenido dentro de un bolsón de arpillera ubicado sobre cubierta, que, cuando se completa su volumen, es reemplazado por otro bolsón para seguir con los trabajos. Una vez alcanzada su carga máxima, el catamarán volverá a su punto de amarre a descargar la basura recolectada (Fig.5).

Teniendo en cuenta que la potencia propulsiva necesaria no será de gran magnitud, y coherente con el compromiso de reducción de emisiones, es que se adopta una propulsión eléctrica alimentada por energías renovables. Se adoptan dos motores fuera de borda eléctricos con una autonomía acorde a la jornada laboral diurna. Esta disposición tiene un gran aporte con respecto a la maniobrabilidad de la embarcación, que es de gran importancia debido a los espacios estrechos que se debe transitar.

La instalación eléctrica se extenderá además para alimentar los equipos electrónicos de comunicación, las luces de navegación y la iluminación interior y exterior de la embarcación. Esto será alimentado por un banco de baterías de 12V.

Además, el buque contará con una instalación de paneles solares que tendrá la función de alimentar un cargador de baterías auxiliares para los equipos eléctricos de navegación, no así las baterías de emergencia utilizadas para la propulsión, que serán recargadas en tierra.

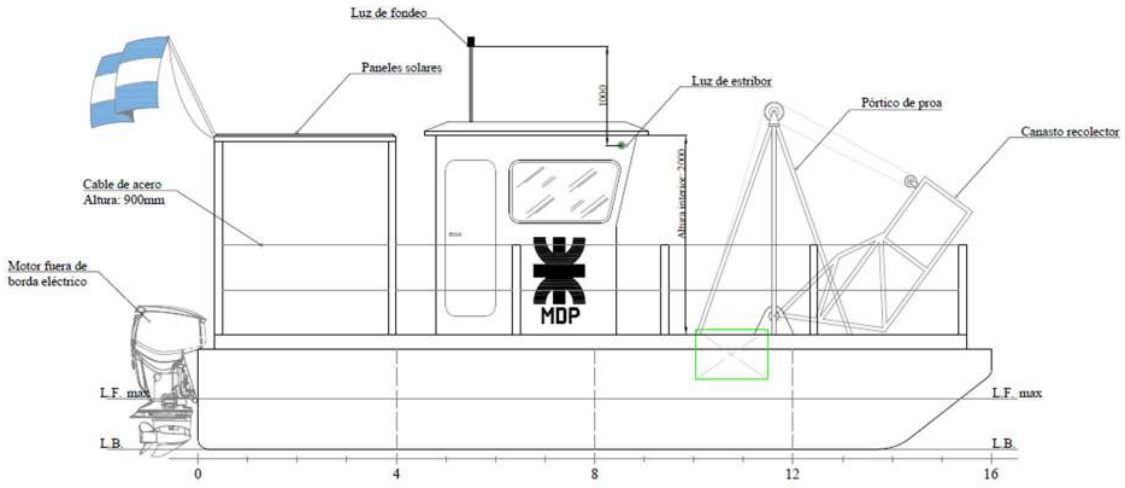


Fig. 5. Vista longitudinal del Arreglo General.

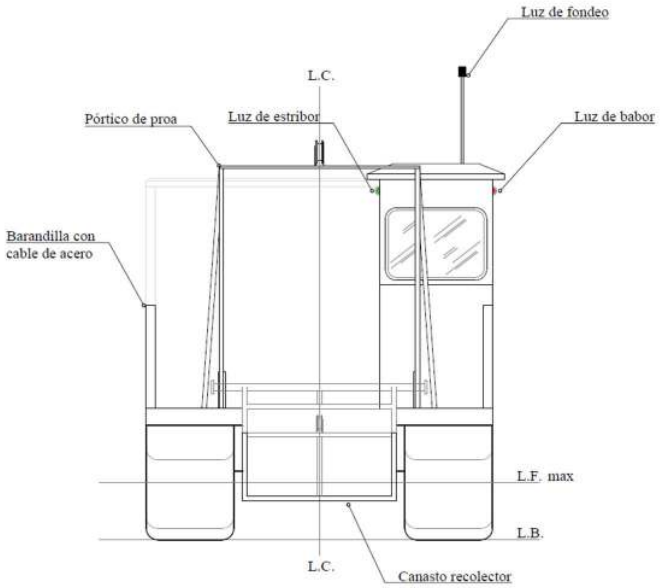


Fig.6. Vista transversal del Arreglo General

En cuanto el alistamiento del buque corresponderá a los lineamientos requeridos por Prefectura Naval Argentina en su Ordenanza Marítima Nº 3/19 para embarcaciones menores (2019), donde se establecen los elementos necesarios para su servicio y seguridad, y la cantidad mínima de dichos elementos: el sistema de achique estará conformado por bombas automáticas sumergibles ubicadas en los compartimientos de popa con una aspiración individual con salida directo al mar; los dispositivos de salvamento requeridos serán aprobados por SOLAS (2024), siendo chalecos salvavidas para uso mercante cubriendo el 112,5% de los tripulantes y un aro salvavidas con luz y rabiza flotante; en cuanto al equipo de fondeo se cuenta con una sola línea de cadena con un ancla articulada de 20kg para fondear en casos de emergencia; además el buque esta equipado con extintores que permitan el rápido accionamiento en caso de incendio, principalmente en la timonera.

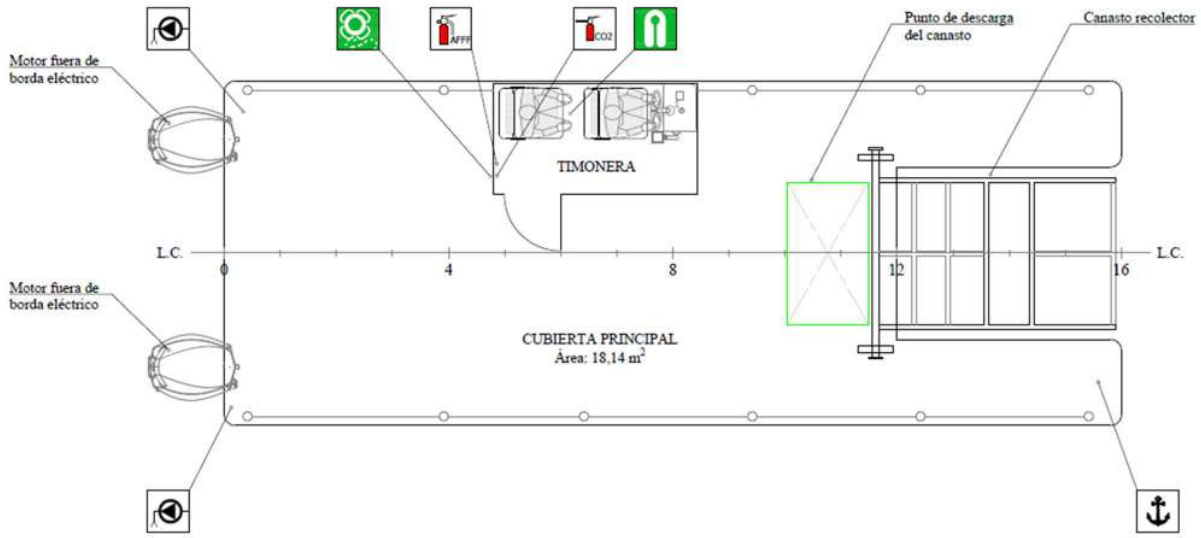


Fig. 7. Vista en planta del Plano de Armamento.

La estructura del prototipo estará dividida en dos partes: la estructura interna del pontón, y la estructura de cubierta. En ambos casos los requerimientos mínimos del escantillonado están regidos por la Organización Internacional de Normalización (2008). La estructura interna del casco (Fig. 8) tiene una configuración constructiva transversal, con una serie de anillos estructurales, separados por 0,5 metros entre ellos, que conforman los distintos elementos estructurales transversales (bao, cuadernas y varenga), un anillo longitudinal que comprende la carlinga central, la roda y el longitudinal de cubierta, y un compartimentado diseñado con mamparos estancos ubicados con una separación de 2 metros. En cuanto a la cubierta principal, su estructura consiste en una serie de perfiles estructurales tanto en sentido vertical como horizontal, que proporcionará una resistencia estructural para los trabajos en cubierta, y además trabaja como unión entre los dos pontones, siendo este último caso su factor principal en el diseño.

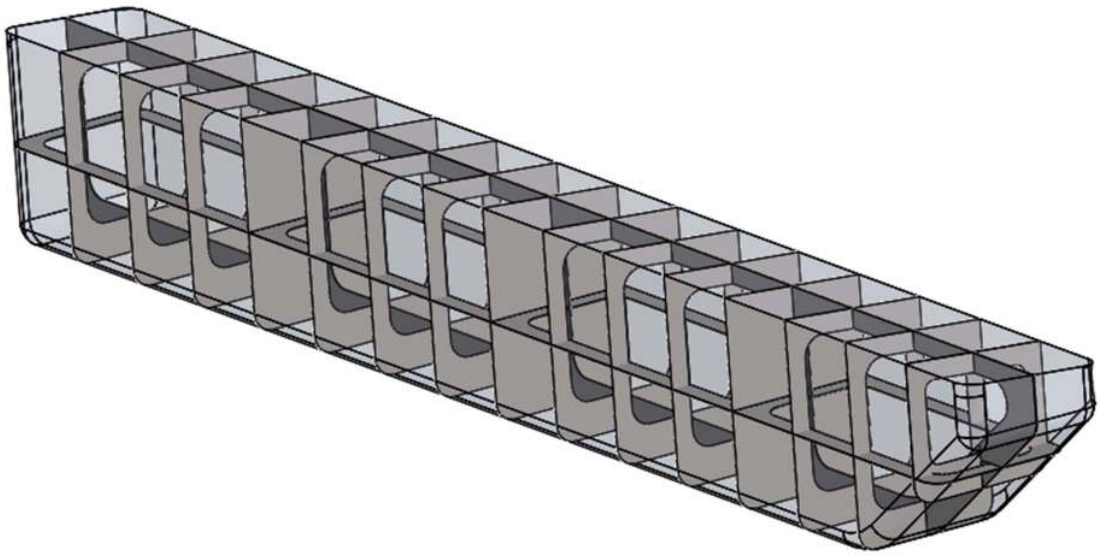


Fig. 8. Vista en perspectiva de la estructura del casco.

Conclusiones

En este trabajo se realizó un análisis técnico y operativo para un buque destinado a la recolección de residuos en superficie en el espejo de agua del Puerto de la ciudad de Mar del Plata. Se analizaron distintas soluciones existentes en zonas de trabajo similares a las que propone el puerto de la ciudad, teniendo en cuenta ventajas y desventajas que propone nuestro proyecto con las facilidades que ofrece la industria naval establecida en la zona.

Se determinó que el buque contará con una eslora total de 8 metros, un puntal de trazado de 1 metro, un manga total de catamarán de 3 metros y con una manga de pontón de 0,77 metros. El canasto recolector accionado por un malacate eléctrico y un pórtico alistado con poleas par alivianar la carga y el trabajo de izaje. La falta de energía producida por combustión nos ofrece un mayor compromiso a la reducción de impacto ambiental y reducción de emisiones, siendo la energía eléctrica una gran alternativa, a pesar de su elevado costo a la hora de establecer la propulsión necesaria.

Como hemos analizado anteriormente, la basura tiene un impacto importante en la fauna y flora de la zona. Afectando, por ejemplo, a lobos marinos, peces, algas, gaviotas y otras aves marinas. También afecta una función importante del ambiente que es la informativa o recreativa, ya que es espacio valorado por su contacto con el mar y por las actividades recreativas que en él se desarrollan (yachting, remo, nado).

Como trabajo futuro, identificamos la necesidad de implementar sistemas de monitoreo en tiempo real para evaluar y ajustar el impacto ambiental del buque, optimizar el proceso de carga y descarga del canasto recolector para reducir tiempos y esfuerzos, y realizar estudios continuos sobre el impacto a largo plazo en el ecosistema del puerto.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por la Universidad Tecnológica Nacional Regional Mar del Plata, mediante el programa de becas de investigación y desarrollo de ciencia y tecnología.

Referencias

International Organization for Standardization, (2008), BS EN ISO 12215-5:2008 – Small craft – Hull construction and scantlings – Part 5: Design pressures for monohulls, design stresses, scantlings determination.

International Organization for Standardization, (2020), EN ISO 12215-7:2020 – Small craft – Hull construction and scantlings – Part 7: Determination of loads for multihulls and of their local scantlings using ISO 12215-5.

Joel Tolosa, Nicolás Antonelli, Nicolás Córdoba, Favio Fracassi, Bruno Fioriti, Matías Araya, Guillermina Claverie, Nicolas Sassot, Lucas Gómez, Rodrigo Monti, Patricio Duhalde, Lucia Salay, Alejandro Vaccari, (2023) Análisis de factibilidad para proyecto de buque para recolección de residuos en el puerto de la ciudad de Mar del Plata. Decimo Segundo Encuentro de Investigadores y Docentes de Ingeniería.

La Capital, (2019), Una obra en peligro por falta de gestión, movidas políticas y lo primero es la familia. https://www.lacapitalmdp.com/una-obra-en-peligro-por-falta-de-gestion-movidas-politicas-y-lo-primero-es-la-familia/

Municipalidad de General Pueyrredón, (2023), Red Pluvial. https://datos.mardelplata.gob.ar/?q=dataset/red-pluvial

Prefectura Naval Argentina, (1984), Requisitos para los Elementos Técnicos de Juicio (RELETEC). R.G.-PNA 4-032

Prefectura Naval Argentina, (2019), Ordenanza Nº3-19 (DSPN) – Normas técnico-administrativas para la certificación de embarcaciones deportivas y menores. DI-2019-77561486-APN-PNA#MSG.

Safety of Life at Sea, (2024), SOLAS – Chapter III – Part B – Section I – Regulation 7 – Personal life-saving appliances.

ENSEÑANZA POR COMPETENCIAS, EVALUACIÓN DE ESTUDIANTES DE DISEÑO DE PRODUCTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Fabián R. Gon[1], Oscar D. Greco[2], Rodrigo M. Agosta[3]

[123] Departamento Materias Básicas, Facultad Regional Santa Fe, Universidad Tecnológica Nacional, Lavaisse 610 Santa Fe, CP 3000
fgon@frsf.utn.edu.ar ogreco@gmail.com ragosta@frsf.utn.edu.ar

Resumen

Con el propósito de contribuir a desarrollar las competencias establecidas en la asignatura “Diseño de Producto” y a la vez, favorecer la comprensión de los conceptos, procesos y teorías relacionadas con esta, se diseñó e implementó una nueva propuesta de enseñanza. Este trabajo presenta los avances obtenidos en los estudiantes comparando los porcentajes de aprobación desde el año 2010 al 2023, donde se analizan los resultados obtenidos en función de la aplicación de los contenidos centrados en el alumno.
El análisis se fundamentó en la metodología del aprendizaje basado en proyectos (ABP), el aprendizaje significativo, la taxonomía de Bloom y en el modelo de competencias sustentado por el CONFEDI (2018). La población en estudio estuvo integrada por estudiantes del 4° nivel de Ingeniería Industrial de la Facultad Regional Santa Fe de la Universidad Tecnológica Nacional (FRSF-UTN). Para la recolección de datos, se tuvieron en cuenta el desempeño de los estudiantes en las actividades realizadas en el aula, el trabajo en equipo, los informes de los Trabajos Prácticos y los exámenes parciales.
El desarrollo de competencias durante este nuevo proceso implico revisar las estrategias de enseñanza y de aprendizaje, para garantizar que los estudiantes pudieran realizar actividades que les permitieran avanzar en su formación profesional. Se hizo necesario modificar el proceso de evaluación con vistas a incluir estrategias que permitieran evaluar y acreditar el desarrollo de competencias, lo cual requirió del diseño de situaciones de evaluación adecuadas, las cuales impactaron positivamente sobre los aprendizajes de los estudiantes.

Palabras Clave: Diseño de Producto, Aprendizaje por proyectos, Aplicación de competencias, Trabajos prácticos.

Introducción

En el mundo de la educación, constantemente se buscan nuevas metodologías que promuevan un aprendizaje significativo y duradero en los estudiantes. Una de estas metodologías es el Aprendizajes Basados en Proyectos (ABP), que se ha destacado por su enfoque en la resolución de situaciones reales y desafiantes, lo cual fomenta el pensamiento crítico, la colaboración y la aplicación práctica del conocimiento.

En este sentido, entre las nuevas directrices en las que se sustentan, reclaman la necesidad de una renovación metodológica en el contexto universitario; proceso que pasa por la exigencia de la capacidad docente para diseñar propuestas metodológicas y didácticas innovadoras que se correspondan con los principios que promueve el CONFEDI. Todo ello, con la finalidad, entre otras, de romper una tradicional tendencia en la que la formación académica, en la mayoría de los casos, dirige sus esfuerzos básicamente al desarrollo intelectual de los estudiantes, descuidando los modelos, soluciones y respuestas a los problemas personales y emocionales que ese desarrollo intelectual conlleva y que las condiciones socio-laborales les demandarán tras su formación universitaria. (Gil Galván, 2018)

El diseño de los ABP está estrechamente relacionado con la evaluación, ya que la evaluación es un elemento clave en el proceso de enseñanza-aprendizaje. En los ABP, el diseño del proyecto implica

la planificación de actividades, tareas y recursos que permitan a los estudiantes abordar un problema o situación de la vida real de manera colaborativa.

La evaluación en los ABP debe ser integral y estar alineada con los objetivos de aprendizaje del proyecto, esto implica que la evaluación no se limite solo a la calificación de los productos finales, sino que también debe considerar el proceso de trabajo de los estudiantes, su participación, la resolución de problemas, la comunicación y la colaboración con sus compañeros.

El diseño de los ABP debe contemplar diferentes tipos de evaluación, como la evaluación formativa y sumativa. La evaluación formativa se centra en proporcionar retroalimentación continua a los estudiantes durante el desarrollo del proyecto, con el fin de mejorar su aprendizaje y desempeño. Por otro lado, la evaluación sumativa se realiza al final del proyecto para evaluar el logro de los objetivos de aprendizaje, se deben establecer criterios claros y coherentes para la evaluación, de manera que los estudiantes sepan qué se espera de ellos y cómo serán evaluados.

En esta línea y aglutinando los postulados de distintos autores (Fernández March, 2006), que han tratado y estudiado este método, se puede decir que el ABP se caracteriza principalmente por:

- Fomentar el papel protagonista de los estudiantes en el proceso de enseñanza-aprendizaje.
- Potenciar el desarrollo y optimización de competencias tendientes a la profesionalización de los estudiantes.
- Implicar al estudiante de forma activa en su aprendizaje.
- Facilitar la autorregulación del aprendizaje.
- Los docentes actúan como guías o facilitadores que organizan y estimulan el aprendizaje.

Se viene implementando desde el año 2020 un proceso de mejora continua en las actividades curriculares desarrolladas en la asignatura de “Diseño de Producto”(DP).

Las actividades tradicionalmente eran clases teórico y prácticas, en donde se le daba al Trabajo Practico (TP) una función esencial como ambiente de aprendizaje para los estudiantes y como medio de evaluación.

Si bien Los logros en cuanto al nivel de aprobación y a la adquisición de algunas competencias no han sido los esperados durante los años previos al 2020, con las modificaciones realizadas en la estructura de la clase se ha logrado a partir de ese año cambios significativos que mejoran sustancialmente con el tiempo.

En esta investigación al igual que lo habíamos indicado anteriormente en otro estudio realizado por los autores en el año 2023, se considera el Trabajo Práctico (TP) como una actividad que pone énfasis en el aprendizaje del dominio metodológico y que fortalece el aprendizaje del alumno y el trabajo en equipo.

Es importante que los criterios de evaluación sean transparentes y compartidos con los estudiantes desde el inicio del proyecto, el diseño de los ABP y la evaluación están íntimamente vinculados, ya que la forma en que se diseñan los proyectos y se evalúan los aprendizajes impacta directamente en la calidad del proceso de enseñanza-aprendizaje y en el desarrollo de habilidades y competencias en los estudiantes.

La evaluación de aprendizajes hoy requiere un proceso sistémico que implica que el docente revise el modelo pedagógico que brinda marco a su actividad formativa, que seleccione estrategias y herramientas que permitan constatar la evolución y el progreso real alcanzado por los estudiantes.

El diseño de la evaluación guarda estrecha relación con la metodología de enseñanza que se utiliza. En función de cómo la evaluación sea considerada al diseñar el proceso, puede ser percibida como un juicio o como una ocasión para aprender.

Como señala Camilloni (1998), el proceso de evaluar atraviesa los procesos de enseñanza y de aprendizaje de manera tal, que si se analizara y modificara en profundidad la idea de evaluar se modificarían sustancialmente los procesos de intervención de los docentes, y en el caso de los entornos virtuales de enseñanza aprendizaje, la implementación de las estrategias aplicadas.

El ABP también favorece el desarrollo de habilidades blandas, como la comunicación efectiva, el trabajo en equipo y la toma de decisiones éticas. Al enfrentarse a problemas reales, los estudiantes se ven obligados a colaborar con sus compañeros, escuchar diferentes puntos de vista y llegar a consensos que beneficien a todo el grupo.

El ABP es una metodología efectiva para promover un aprendizaje significativo y el desarrollo integral de los estudiantes, al fomentar el pensamiento crítico, la colaboración y la aplicación práctica del conocimiento, prepara a los estudiantes para enfrentarse a los desafíos del mundo real y convertirse en ciudadanos responsables y competentes.

En el campo de la educación, el aprendizaje significativo y la taxonomía de Bloom son dos conceptos fundamentales que juegan un papel crucial en el diseño de estrategias y actividades educativas efectivas. El aprendizaje significativo se refiere a la capacidad de los estudiantes de relacionar nueva información con sus conocimientos previos, de manera que puedan integrar y aplicar de manera significativa lo que están aprendiendo. Por otro lado, la taxonomía de Bloom proporciona un marco teórico para clasificar los diferentes niveles de aprendizaje, desde los procesos más simples como recordar y comprender hasta los más complejos como analizar, evaluar y crear.

En esta presentación, se explorará la relación entre el aprendizaje significativo y la taxonomía de Bloom, con el objetivo de diseñar actividades y recursos que fomenten un aprendizaje profundo y duradero y que potencie el uso del ABP. Se examinarán las diferentes dimensiones del aprendizaje, se identificarán los factores que facilitan la adquisición de conocimientos significativos y se aplicarán los principios de la taxonomía de Bloom para desarrollar estrategias pedagógicas que promuevan un aprendizaje de alta calidad. (Leedy, 2015)

El aprendizaje significativo consta de tres fases:

1.La fase inicial de aprendizaje en donde el estudiante percibe a la información como partes aisladas sin conexión conceptual y tiende a memorizar o interpretar en la medida de lo posible.

2. La fase intermedia de aprendizaje en la cual empieza a encontrar relaciones y similitudes entre las partes aisladas.

3.La fase terminal del aprendizaje en donde los conocimientos tienden a la integración.

Cuando se habla de evaluación esta incluye actividades de estimación cualitativa o cuantitativa, las cuales se consideran imprescindibles, pero al mismo tiempo involucra otros factores que van más allá y que en cierto modo la definen (Diaz-Barriga, 2006).

La evaluación de las competencias integra lo cualitativo y lo cuantitativo. Lo cualitativo es determinar cómo los estudiantes cumplen con los criterios, las evidencias y poseen cierto desempeño. Lo cuantitativo se complementa con lo cualitativo e implica dar una nota numérica o un porcentaje que exprese los logros cualitativos alcanzados (Tobón, 2010).

El enfoque formativo de la evaluación consiste en analizar las evidencias de los alumnos para que, por medio de la retroalimentación, logren los criterios en el mayor grado posible de desempeño, independientemente de si se trata de una evaluación sumativa o no sumativa.

Lo anterior implica:

1. Evaluar los saberes previos de los alumnos para hacer conexiones con el nuevo aprendizaje.

2. Analizar cómo los alumnos van logrando cumplir los criterios en los distintos momentos del ciclo escolar.

3. Buscar que toda actividad de evaluación contribuya al aprendizaje o al mejoramiento continuo, así se trate de una evaluación sumativa (acreditativa).

4. Brindar oportunidades a los alumnos con dificultades para lograr los criterios y evitar así el rezago, en el mismo ciclo escolar. Esto puede implicar la realización de actividades adicionales y el apoyo de los pares.

5. Retroalimentar a los estudiantes frente a sus logros y aspectos por mejorar, con respeto, cordialidad y motivación hacia el crecimiento personal. (Alonzo, 2015)

Como la mejor manera de aprender consiste en la construcción paulatina del conocimiento, buscando vínculos entre lo nuevo y lo ya conocido, optamos por utilizar el método del aprendizaje significativo junto con el ABP para guiar a nuestros estudiantes en la realización de los TP.

En el contexto de la asignatura de DP, la implementación del ABP presenta múltiples ventajas que favorecen el desarrollo de habilidades claves para los futuros ingenieros.

Una de las principales ventajas del ABP en el Diseño de Producto es que permite a los estudiantes aplicar de manera práctica los conocimientos teóricos adquiridos en clase. Al plantear problemas reales que requieren soluciones creativas, los estudiantes pueden poner en práctica sus habilidades de diseño y encontrar soluciones innovadoras a los desafíos planteados. (Barrows, 1996).

Otra ventaja del ABP en el DP es que promueve el pensamiento crítico y la capacidad de análisis de los estudiantes. Al enfrentarse a problemas complejos, los estudiantes deben analizar la situación, identificar los factores relevantes y evaluar las diferentes opciones de solución. Este enfoque crítico y analítico favorece el desarrollo de habilidades de resolución de problemas y la toma de decisiones fundamentadas, aspectos clave en el DP. (Duch, 2001)

En resumen, la implementación del ABP en una asignatura de DP presenta ventajas significativas que benefician el desarrollo profesional y académico de los estudiantes. Al fomentar la aplicación práctica de los conocimientos teóricos, promover el trabajo en equipo y la colaboración, y estimular el pensamiento crítico y analítico, el ABP en el DP prepara a los estudiantes para enfrentarse de manera efectiva a los desafíos del mundo real y les brinda las herramientas necesarias para destacarse como ingenieros industriales en el DP de manera creativa y competente.

El desarrollo de la asignatura durante los periodos que van desde el 2010 al 2020 ha tenido resultados que no han impactado positivamente en los estudiantes, en donde fundamentalmente se pudo observar que la participación de estos en el aula y su opinión respecto a las evaluaciones no fue la más satisfactoria.

Un análisis del diseño curricular de la asignatura, de las encuestas de desempeño docente (completadas por los estudiantes) y de las calificaciones obtenidas entre los años 2010 al 2020, se pudo inferir que dichos resultados desfavorables eran consecuencia de varios factores que se relacionaban con las actividades desarrolladas en el aula. Entre los diferentes factores encontrados se pudo observar un elevado porcentaje en las horas de las clases teóricas, poca participación de los estudiantes en el aula, actividades, prácticas y presentaciones de los estudiantes de contenidos muy poco desarrollados, poca motivación en los temas teóricos seleccionados y una elevada carga horaria para completar las actividades asignadas en la cátedra, generalmente fuera de la clase.

Esto impulso a los docentes a un replanteo de la planificación de las actividades y a la búsqueda de otras herramientas pedagógicas para implementar en las clases y a su vez modificar el punto de vista asumido con anterioridad en las evaluaciones de los contenidos.

El cambio en la evaluación por competencias que se implementó en la universidad acentuó la necesidad de realizar diferentes modificaciones en el diseño curricular de la asignatura DP.

Materiales y métodos

Lo desarrollado en este trabajo de investigación estuvo orientado al análisis de los resultados obtenidos en las clases de DP al implementar el ABP en el periodo comprendido entre el 2020 y el 2023 y su impacto con respecto a las metodologías empleadas anteriormente en este espacio curricular desde el año 2010.

La población en estudio estuvo integrada por los alumnos de 4° año de la carrera de Ingeniería Industrial de la Facultad Regional Santa Fe de la Universidad Tecnológica Nacional y se realizó el

seguimiento y análisis del total de los estudiantes que cursaron la asignatura de DP en el periodo indicado.

La aplicación del ABP se desarrolló teniendo en cuenta algunos conceptos clave para trabajar de manera efectiva en las prácticas docentes. Entre varios autores Restrepo Gómez (2015) alude a tres variables básicas, que deben ser consideradas con especial atención a la hora de la selección y la formulación del proyecto, ellas son:

- *Relevancia.* El proyecto ha de considerar circunstancias cruciales para los estudiantes, para su profesión y/o para su vida, y presentarse de manera que puedan captar fácilmente su importancia real y funcionalidad.
- *Cobertura.* El proyecto seleccionado debe incitar a los estudiantes a buscar, descubrir y analizar la información necesaria para abordarlo y ofrecer posibles soluciones.
- *Complejidad.* El proyecto debe derivar para su abordaje en la intervención de diversas áreas académicas o de conocimiento, partiendo siempre de la premisa de que no existe una única solución, sino que requiere ensayar varias hipótesis que deben documentarse y probarse.

Las clases correspondientes a la asignatura DP contemplan aspectos teóricos-prácticos, con fuerte incidencia de la práctica ya que 33 hs. cátedras de esta están asignadas para trabajos prácticos, resolución de problemas y el trabajo integrador final. Lo importante es que el estudiante pueda realizar con solvencia los trabajos propuestos, lo cual implica que han alcanzado los saberes necesarios para poder interpretar y desarrollar los conceptos y consignas que le transmiten los docentes.

Se busca diseñar situaciones de integración que semejen situaciones profesionales o propias de las actividades que debe desarrollar el profesional en una industria o bien en un emprendimiento propio.

Las técnicas empleadas por los docentes en años anteriores (2010 al 2020) implicaban el desarrollo de una clase teórica expositiva, en donde el estudiante constantemente era invitado a participar y debatir sobre diferentes aspectos. En esa etapa del desarrollo de la clase se hacía uso de la exposición tradicional del docente acompañado de una interacción dialogada formativa, donde se hacía uso de estrategias verbales de una manera constante con el estudiante pero que no daban los resultados esperados.

Además, el estudiante podía acceder en el campus virtual de la FRSF a clases gravadas, donde contaba con todo el material necesario para el desarrollo de sus actividades y donde no solamente se encuentra la información suministrada por el docente sino compartida por el resto de los alumnos que participan en las clases.

Las actividades prácticas programadas durante el periodo 2010-2020 requerían una dedicación extra áulica de mayor tiempo lo que entraba en conflicto con la carga horaria de las otras asignaturas de 4° año establecidas en el diseño curricular de la carrera de Ingeniería Industrial.

Con la implementación del ABP, el aprendizaje significativo, la taxonomía de Bloom y el modelo de enseñanzas por competencias se lograron en la asignatura de Diseño de Producto, cambios muy significativos no solo que se pueden ver en los resultados finales obtenidos por los estudiantes en sus calificaciones, además del porcentaje de alumnos que han logrado la promoción directa respecto de los estudiantes inscriptos.

La asignatura DP tiene distribuidas sus clases en un porcentaje del 30% al desarrollo de la teoría y el restante 70% al desarrollo de las actividades prácticas, los cuales anteriormente distribuían los mismos de manera inversa.

Dentro de los contenidos teóricos se desarrolla la introducción a los temas necesarios para poder implementar las diferentes actividades y trabajos prácticos, el docente los socializa en una clase expositiva y dialogada, buscando que los estudiantes participen de la misma.

Aunque la generación del concepto es un proceso inherentemente creativo, es importante el uso de métodos estructurados, lo cual hace necesario el seguimiento y cumplimiento de las diferentes etapas del desarrollo de los TP, de allí el sentido que tienen las actividades establecidas.

Al comenzar el cursado la primera actividad que llevan adelante los estudiantes es la formación de los grupos de trabajo que no deben ser superior a cinco integrantes y que estos lo conforman en función de su afinidad para generar un ambiente de trabajo optimo. Luego trabajando en grupos los estudiantes llevan adelante todas las actividades planificadas.

En este esquema los profesores proponen varios temas de actualidad, inspirados en problemas reales que los estudiantes deben resolver en equipo y que impactan en necesidades de nuestra sociedad. Este modelo fomenta el trabajo en equipo, la planeación, distribuir responsabilidades y seguir etapas preestablecidas.

La práctica ha sido estructurada en cuatro TP, (Fig. 1) y a su vez los mismos han sido divididos en actividades para poder realizar un seguimiento del desarrollo de estos en la medida que van avanzando con los mismos. El TP N°1 está dividido en Actividades. A, B, C, D, dado que en la etapa inicial el seguimiento de los docentes debe ser más estricto, con el objeto de que el alumno se familiarice con los requerimientos de la catedra. El TP N°2 consta de dos actividades E y F, el TP N°3 de la actividad G y el TPN°4 o Final la actividad I que integra los TP realizados anteriormente que representa un manual del desarrollo de un producto.

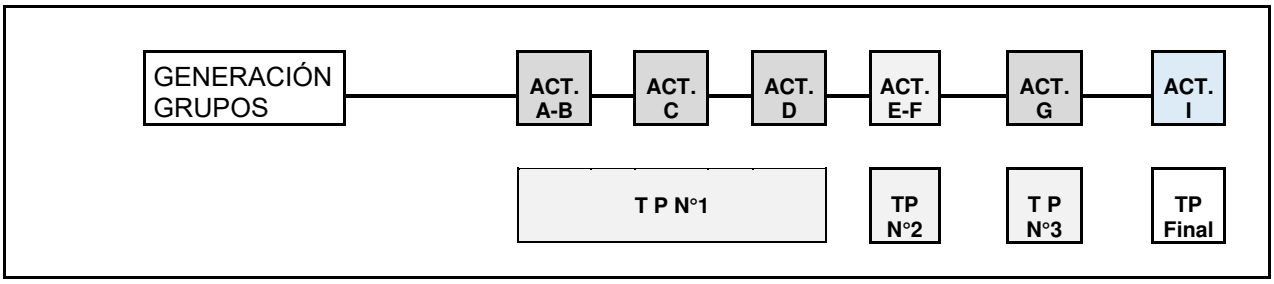


Fig. 1: Distribución de las actividades y trabajos prácticos.

Cada uno de los trabajos prácticos culminan con una exposición pública ante sus pares, propiciando un cierre con intercambios enriquecedores. Los mismos se exponen a toda la clase y se realizan devoluciones a los estudiantes que son útiles para el resto de los equipos que integran el curso. Esto permite hacer una evaluación al inicio para diagnosticar, durante para regular y orientar y al final del ciclo para integrar, promocionar y acreditar.

En el año 2023 se incorporó en el diseño curricular el listado de competencias que son a las cuales la asignatura tributa, no obstante, en los últimos cuatro años se ha venido evaluando los TP, las actividades grupales y otros aspectos a los estudiantes por medio de rubricas como una manera de ir desarrollando este tipo de evaluación e ir identificando las posibles mejoras a la misma.

La evaluación teórica en los parciales es por medio de un cuestionario que se implementa a través de la plataforma del campo virtual de la FRSF y en donde cada una de las preguntas se le presentan a los estudiantes aleatoriamente, asegurando que las repuestas sean la interpretación personal de cada uno de ellos. De este modo, se lleva a cabo una evaluación formadora continua que sirve como mecanismo de aprendizaje ya que proporciona información al estudiante sobre su progreso en la asignatura.

En un principio se establecieron un total de 13 competencias a las cuales debía tributar la asignatura Diseño de Producto en un afán de considerar todos los aspectos que de alguna manera la asignatura intervenía con respecto al resto de las asignaturas del diseño curricular.

Según establece el CONFEDI se habían distribuido en competencias específicas, tecnológicas, sociales, políticas y actitudinales. Las competencias a las que más nivel de tributación se le habían asignado eran la CG3, CG4, CG6, siguiéndolas con un nivel medio CG1, CG2, CG5, CG7, CG9, CG10. Si bien la CE.1.1, CE1.3, CE11.1 y la CG.8 tienen un nivel de tributación bajo se han tenido en cuenta también en las evaluaciones, en la tabla N°1 se pueden ver en detalle a cada una de ellas.

Tabla N°1: Competencias establecidas en la asignatura Diseño de Producto hasta el 2023.

Competencias Específicas	Nivel de tributación
CE1.1: Diseñar, proyectar, calcular, modelar y planificar las operaciones y procesos de producción, distribución y comercialización de productos (bienes y servicios).	Baja
CE1.3: Formular y evaluar proyectos públicos y privados de desarrollo.	Baja
CE11.1: Realizar arbitrajes, pericias, tasaciones y valuaciones, relacionadas a la producción de bienes y servicios, instalaciones, productos terminados, semi-elaborados y su logística, respetando marcos normativos y jurídicos con el objeto de asesorar a las partes o a los tribunales de justicia.	Baja
Competencias Tecnológicas	
CG1: Identificar, formular y resolver problemas de ingeniería industrial.	Media
CG2: Concebir, diseñar y desarrollar proyectos de ingeniería industrial.	Media
CG3: Gestionar, planificar, ejecutar y controlar proyectos de ingeniería industrial.	Alta
CG4: Utilizar de manera efectiva las técnicas y herramientas de aplicación en la ingeniería industrial.	Alta
CG5: Contribuir a la generación de desarrollos tecnológicos y/o innovaciones tecnológicas.	Media
Competencias Sociales, Políticas y Actitudinales	
CG6: Desempeñarse de manera efectiva en equipos de trabajo.	Alta
CG7: Comunicarse con efectividad.	Media
CG8: Actuar con ética, responsabilidad profesional y compromiso social, considerando el impacto económico, social y ambiental de su actividad en el contexto local y global.	Baja
CG9: Actuar con espíritu emprendedor.	Media
CG10: Aprender en forma continua y autónoma.	Media

La cantidad de competencias establecidas inicialmente, si bien han producido buenos resultados en cuanto a los alumnos que alcanzaban la promoción directa, era una cantidad muy elevada y no condice con la vinculación que alcanza la asignatura con las otras asignaturas transversales y verticales. Por esta razón, continuando con la mejora continúa implementada en la asignatura y luego de un análisis profundo, se modificaron algunas de ellas y se redujeron las competencias a un total de siete con el objeto de facilitar la evaluación y ser más específicos en las devoluciones que se dan a los estudiantes (Tabla N°2).

Tabla N°2: Competencias establecidas en la asignatura Diseño de Producto en el 2024.

Competencias Específicas	Nivel de tributación
CE2.1. Dirigir, gestionar, optimizar, controlar y mantener las operaciones, procesos e instalaciones requeridas para la producción, distribución y comercialización de productos (bienes y servicios).	Alta
CE10.1. Evaluar la sustentabilidad técnico económico y su impacto ambiental, de las operaciones, procesos e instalaciones requeridas para la producción, distribución y comercialización de productos (bienes y servicios).	Baja
CE12.1. Evaluar, rediseñar y modelar las operaciones e instalaciones de procesos de producción, distribución y comercialización de productos (bienes y servicios).	Media
Competencias Tecnológicas	
CG3: Gestionar, planificar, ejecutar y controlar proyectos de ingeniería industrial.	Alta
CG4: Utilizar de manera efectiva las técnicas y herramientas de aplicación en la ingeniería industrial.	Media
Competencias Sociales, Políticas y Actitudinales	
CG7: Comunicarse con efectividad	Media
CG10: Aprender en forma continua y autónoma	Baja

Al reducir el espectro de análisis y ser más específicos con los objetivos que se espera alcanzar en nuestros alumnos, se centra el foco de nuestra evaluación en estas siete competencias.

Resultados y discusiones

A partir del cambio en el desarrollo de la clase, ahora las mismas están centradas en el estudiante. Las clases son todas de carácter teórico-práctico y se llevan a cabo en el aula en la que cada estudiante utiliza su ordenador personal, celular o Tablet. Las exposiciones de los docentes en las clases son presentaciones breves de no más de 30 minutos y se destinan a explicar los conceptos teóricos básicos, los objetivos qué se espera que cumplan en la clase, que información deben desarrollar en cada TP, y cómo y cuándo se van a evaluar.

La evaluación constante quita además al alumno la sensación angustiante de que un error o una confusión en uno o dos exámenes parciales únicos que se le tomarán, determinarán su éxito o su fracaso académico. En este caso se tendrán en cuenta todos sus esfuerzos, sus calificaciones serán el resultado de un gran número de conocimientos conceptuales, procedimentales y actitudinales.

El seguimiento de las actividades desarrolladas por los estudiantes, el dialogo continuo en la clase y la posibilidad de ir modificando los temas y contenidos en función de los conocimientos que poseían o requerían estos, dio los resultados esperados al implementar el cambio en la manera de desarrollar la clase.

Los cambios implementados nos permiten ver en la Fig. 2 como han impactado la relación entre la cantidad de estudiantes inscriptos en la asignatura y los que han logrado la promoción directa como consecuencia de la implementación de los cambios indicados en los párrafos anteriores.

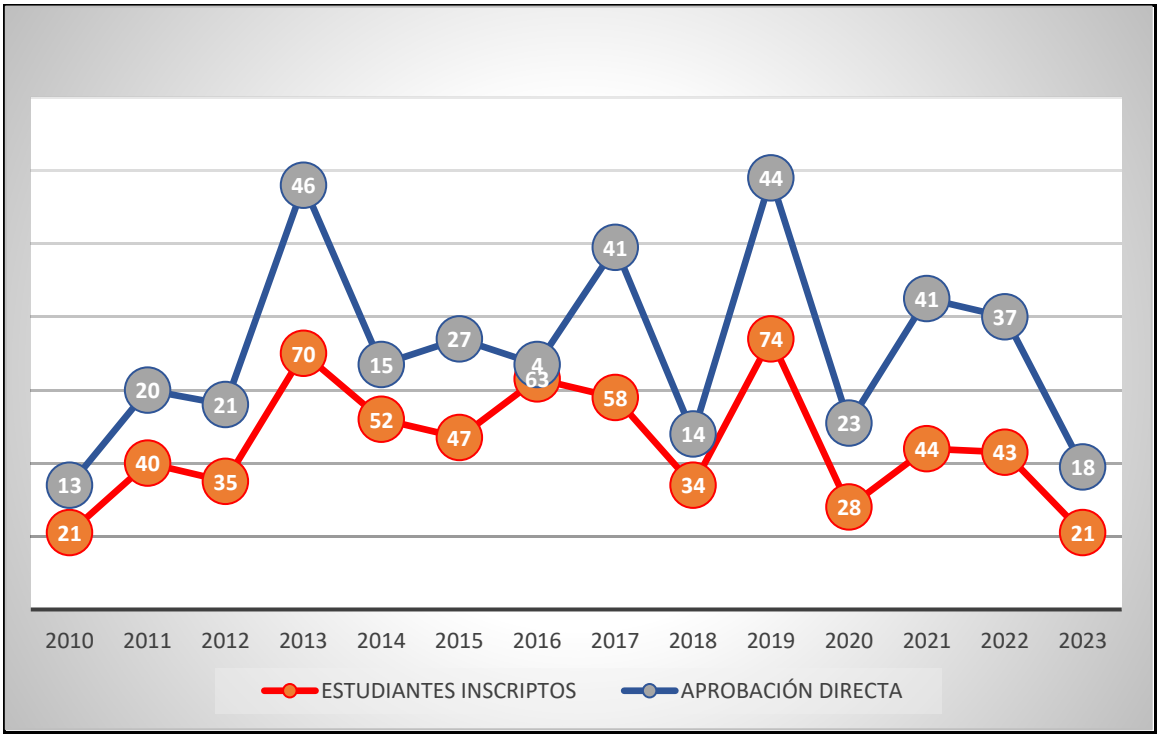


Fig. 2: Total, anual de estudiantes inscriptos y que alcanzaron la aprobación directa.

No solo este cambio se puede observar en la cantidad de alumnos que lograron la aprobación directa, además ha impactado en las calificaciones que estos han alcanzado en todas las actividades desarrolladas, en donde a partir del 2020 las mismas tienen una tendencia creciente sobre la media obtenida desde el 2010 hasta el 2023 que es de 7,18 puntos sobre un máximo de 10. (Fig. 3)

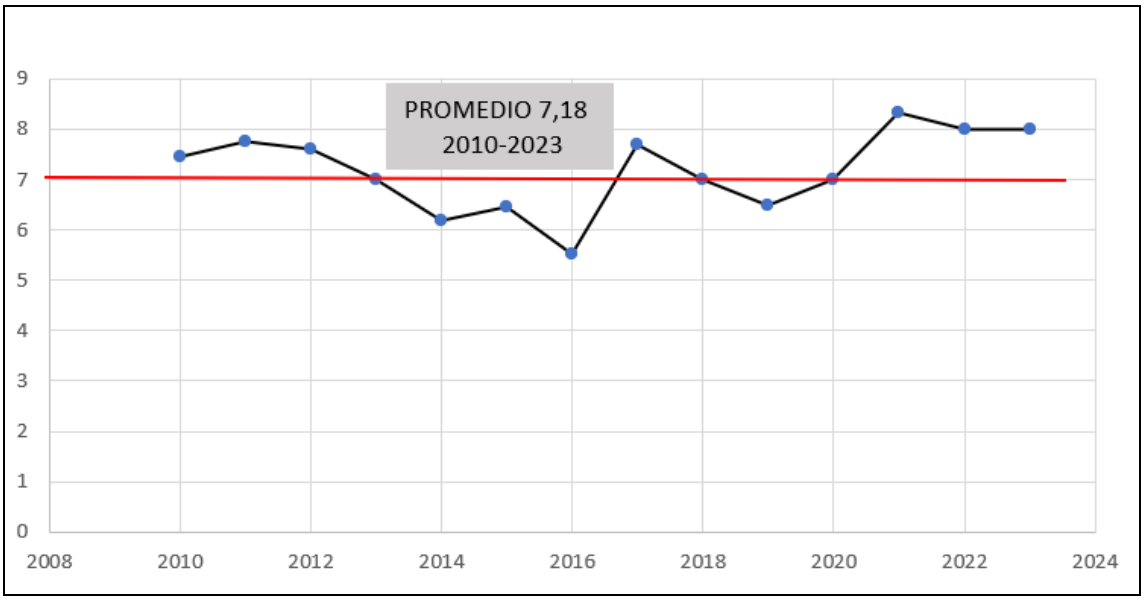


Fig. 3: Relación notas anuales de los estudiantes con la media desde 2010 al 2023.

Al implementar desde este 2024 la reducción de la cantidad de competencias a las cuales deben tributar los alumnos es de esperar, desde el punto de vista de los docentes que se mejoren los resultados obtenidos en las evaluaciones de los alumnos. Dado que el análisis y la construcción del conocimiento se realizará estableciendo restricciones más acotadas y centradas en objetivos más claros y no tan generales y dispersos.
Ante este enfoque se pretende:

- Lograr un cambio de actitud en la comunidad docente respecto a la evaluación y trascender el énfasis que todavía se pone sobre la evaluación de contenidos en la educación.
- Incorporar a la evaluación como un proceso continuo y no solo como un momento parcial o al final del proceso de aprendizaje.
- Evaluar competencias a partir de los resultados de aprendizaje, considerando los criterios de evaluación acordados y el análisis de evidencias de aprendizaje pertinentes.
- Introducir la retroalimentación en la evaluación como elementos constitutivos de la evaluación por competencias.

Conclusiones

Este cambio de enfoque en la evaluación forma parte de un proceso de reingeniería de esta, que emplea dos grandes estrategias: considera la evaluación como parte del proceso de enseñanza y utilizar otros instrumentos o medios de evaluación en lugar de los exámenes tradicionales.

En este trabajo se resumen los aspectos fundamentales del aprendizaje significativo. Se presenta un ejemplo práctico donde el profesor, además de orientar el aprendizaje de los estudiantes hacia las tareas del Diseño de Producto, también aprovecha este marco para aprender a contribuir a la formación integral de sus estudiantes teniendo en cuentas las competencias a las cuales deben tributar.

Los porcentajes de aprobación por parte de los estudiantes son más que significativos en estos últimos cuatros años, en donde se han modificado la estructura de las clases, pero lo más importante y enriquecedor ha sido el clima de trabajo logrado en el aula y el involucramiento de todos los estudiantes en las actividades, en donde el trabajo en equipo fue destacable.

Los estudiantes al realizar los TP en el aula, participan en equipos, reciben devoluciones en cada clase y cuentan con el docente para poder eliminar sus dudas e inquietudes, verificando su grado de avance en las actividades y no necesita esperar a recibir el resultado de un examen parcial para poder apreciarlo.

Las evidencias de aprendizajes adquiridas permitieron a los docentes recopilar información, emitir juicios de valor y tomar decisiones del proceso de enseñanza aprendizaje. Estas evidencias permitieron indagar, conocer y comprender que saben los estudiantes.

El docente pasó a ser de un mero expositor de las clases teóricas y evaluador de los TP, a participar en los intercambios de opinión con los estudiantes en los equipos de trabajo, a modificar el orden de los temas planificados en función de las necesidades, a motivarlos con diferentes temas y a ser una fuente de información para los estudiantes. La evaluación por rúbricas y la devolución a los estudiantes en donde se indican las observaciones en cuanto a los objetivos alcanzados o incumplidos, les sirve como guía de los logros obtenidos y del rendimiento alcanzado.

Este proyecto se encuentra transcurriendo su quinto año de ejecución (incluyendo el 2024) y los resultados son altamente positivos (Fig. 4), ponderan nuestro convencimiento de que este tipo de experiencia ayuda al estudiante a ser protagonista de la expansión y calidad de su panorama de aprendizaje, así como de implicarse en la investigación y de trabajar en equipos fortaleciendo la cultura participativa un aspecto fundamental para su vida profesional.

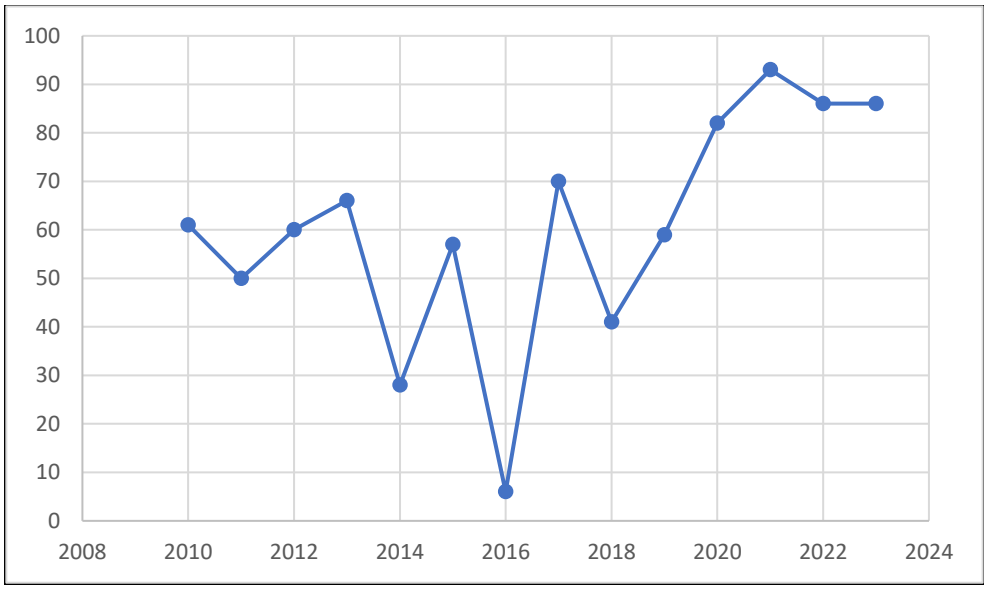


Fig. 4. Porcentaje de estudiantes con Aprobación Directa por año.

La eficiencia de la implementación del enfoque por competencias y de la evaluación depende del involucramiento de las dos partes en el proceso de enseñanza y aprendizaje, del profesor y el estudiante.

Referencias

Alonzo Rivera Diana Lizbeth, Marvel del Carmen Valencia, Gutiérrez Marvel del Carmen Valencia Gutiérrez, Jorge A. Vargas Contreras. (2015) Estrategias para el desarrollo de competencias en el aula, con enfoque socioformativo. REDIPE Red Iberoamericana de Pedagogía. Recuperado de: <https://www.researchgate.net/publication/329772714_LOS_ESTILOS_DE_APRENDIZAJE_EN_LA_FORMACION_INTEGRAL_DE_LOS_ESTUDIANTES>

Barrows, H. S. (1996). Problem-based learning in medicine and beyond: A brief overview. New directions for teaching and learning, 1996(68), 3-12.

Camilloni A. y otros. (1998). La evaluación de los aprendizajes en el debate didáctico contemporáneo. Bs. As.: Paidós.

Consejo Federal de Decanos de Ingeniería - CONFEDI (2018). “Propuesta de estándares de segunda generación para la acreditación de carreras de ingeniería en la república argentina, libro rojo de CONFEDI”. Editores Roberto Giordano Lerena, Sandra Cirimelo.

Díaz Barriga, F. y Hernández Rojas, G.(2010). “Estrategías Docentes para un aprendizaje significativo “. McGRAW-HILL, pag 233-234. (1998) Disponible en: <https://studylib.es/doc/9236994/d%C3%ADaz-barriga--f.-y-hern%C3%A1ndez--g.--2010-.-estrategias-doce...>

Duch, B. J., Groh, S. E., & Allen, D. E. (2001). The power of problem-based learning: A practical "how to" for teaching undergraduate courses in any discipline. Stylus Publishing, LLC.

Fernández March, A. (2006). Metodologías activas para la formación de competencias. Educatio Siglo XXI, 24, 35–56. Recuperado de: <https://revistas.um.es/educatio/article/view/152>

Gil-Galván, Rosario. (2018). El uso del aprendizaje basado en problemas en la enseñanza universitaria. Análisis de las competencias adquiridas y su impacto. Revista mexicana de investigación educativa, 23(76),73-93. Recuperado en: <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-66662018000100073&lng=es&tlng=es>

Leedy, P. D., & Ormrod, J. E. (2015). Practical research. Planning and design (11th ed.). Boston, MA: Pearson Journal of Applied Learning & Teaching Vol.1 No.2 (2018)73. Recuperado de : https://journals.sfu.ca/jalt/index.php/jalt/article/view/43

Medina Vidaña, E., Sergio Tobón. (2010). Formación integral y competencias. Pensamiento complejo, currículo, didáctica y evaluación, 3a ed., Centro de Investigación en Formación y Evaluación CIFE, Bogotá, Colombia, Ecoe Ediciones, 2010. Revista Interamericana de Educación de Adultos, 32(2), 90-95.

Restrepo Gómez, B. (2005). “Aprendizaje basado en problemas (ABP): una innovación didáctica para la enseñanza universitaria”, *Educación y Educadores*, núm. 8, pp. 9-19.

CARACTERIZACIÓN SENSORIAL, EVALUACIÓN DE ACEPTABILIDAD Y GRADO DE SATISFACCIÓN DE UN PRODUCTO NATURAL DESHIDRATADO A BASE DE FRUTAS UTILIZANDO LA METODOLOGÍA DE PREGUNTAS CATA

Camila Bellotti[1], Fernanda G. Biolé[1,2], Silvia A. Moyano[1], Graciela N. Marín[1], Aldana Cativa[3]
[1]Grupo de Investigación y Desarrollo en Alimentos e Ingeniería Química, FRVM, UTN, Av. Universidad 450 – XGB5900 Villa María, Córdoba, Argentina
[2] Instituto Multidisciplinario de Investigación y Transferencia Agroalimentaria y Biotecnológica (IMITAB-CONICET), UNVM, Av. A. Jauretche 1555, X5900 Villa María, Córdoba
[3] Laboratorio de microbiología, FRVM UTN, Av. Universidad 450 – XGB5900 Villa María, Córdoba, Argentina
camibellotti@hotmail.com

Resumen

El consumidor actual es más responsable y consciente al momento de elegir un producto, lo que incrementa la tendencia a consumir alimentos a base de ingredientes naturales para fortalecer el sistema inmunológico, incorporar vitaminas, minerales y adquirir un mayor aporte energético. El análisis sensorial de alimentos, se lleva a cabo con diferentes pruebas según su finalidad (afectivas, discriminativas o descriptivas). Los consumidores pueden describir las características sensoriales de un producto empleando la metodología de preguntas CATA (Check All That Apply), la cual es una prueba afectiva que se ha empleado últimamente para reunir información a partir de la percepción de los consumidores y así poder establecer el perfil sensorial de un producto. El objetivo de este trabajo es evaluar la aceptabilidad y grado de satisfacción de un producto natural deshidratado a base de frutas y generar el perfil sensorial del mismo utilizando la metodología de preguntas CATA, mediante una planilla de evaluación. Tras efectuar el análisis a 112 consumidores se obtuvo el perfil sensorial del producto a partir de la frecuencia total de selección de diferentes descriptores. Además, se obtuvo un valor positivo de la media aritmética de la muestra (6,87) en cuanto al grado de satisfacción por parte de los consumidores indicando que les agrada el producto. A partir del análisis de aceptabilidad se obtuvo que el 79 % de los consumidores compraría el producto. Los resultados obtenidos demuestran que la metodología de preguntas CATA es un método rápido, práctico y eficiente para la generación del perfil sensorial de un alimento a partir de jueces no entrenados; asimismo, permite evaluar la intención de compra del producto y el grado de satisfacción del mismo en el mercado a partir de potenciales consumidores.

Palabras Clave: análisis sensorial, Check All That Apply, perfil sensorial, consumidores, alimentos saludables.

Introducción

Actualmente, se observa un cambio y diversificación en cuanto al consumo alimenticio en los seres humanos, en muchos casos esto se debe a las distintas alternativas que el mercado propone; sin embargo, en otras se debe a las nuevas necesidades del consumidor relacionadas con elecciones más responsables y conscientes. Las decisiones relativas al consumo de alimentos se están volviendo cada vez más complejas y sofisticadas (Novelli, 2018). El consumidor actual es más consciente de sus decisiones en la compra de alimentos respecto a años anteriores, en cuanto a cuestiones alimenticias y en el impacto que inciden en la salud (León Barreto, 2022). Si bien el costo, la seguridad en el consumo y el gusto siguen siendo *drivers* fundamentales, temas como la transparencia en la cadena de valor, la equidad en la distribución de los beneficios al interior de las cadenas, el impacto ambiental, el bienestar animal, el origen del producto, la medida en que un producto es natural, nutritivo y saludable, entre otros aspectos, están ganando mayor peso en la toma de decisiones referidas al consumo de alimentos (Novelli, 2018). Es por ello que se promueve adquirir una dieta diversificada, equilibrada y sana, incrementando el consumo de alimentos a base de ingredientes naturales para así fortalecer el

sistema inmunológico, incorporar vitaminas y minerales, adquirir un mayor aporte de energía con el objetivo de tener una vida activa y saludable (OMS, 2018; Quiero, 2022).

La evaluación sensorial es el análisis de alimentos u otros materiales por medio de los sentidos. La misma, es una técnica de medición y análisis tan importante como los métodos químicos, físicos y microbiológicos, sin embargo, tiene la ventaja de que la persona que efectúa las mediciones lleva consigo sus propios instrumentos de análisis, es decir, sus cinco sentidos (vista, oído, olfato, gusto y tacto). El análisis sensorial de los alimentos se lleva a cabo de acuerdo con diferentes pruebas, según sea la finalidad para la que se efectúe. Existen tres tipos principales: las pruebas afectivas, discriminativas y descriptivas (Anzaldúa-Morales, 2005).

Los consumidores pueden actuar como descriptores de las características de un producto, siempre y cuando conozcan cuáles son los atributos y cualidades importantes del producto analizado. Para ello se emplea la metodología de preguntas CATA (Check All That Apply), la cual se encuentra dentro de las pruebas afectivas, en las que los jueces consumidores expresan su reacción subjetiva ante el producto (Larmond, 1977). Este formato está recibiendo mucha atención en la literatura relacionada con la evaluación sensorial, especialmente porque permite la caracterización de productos por parte de los mismos consumidores que brindan respuestas hedónicas (Meyners et al., 2016) pudiendo así establecer un perfil rápido del producto evaluado, es decir, la descripción de los atributos sensoriales percibidos en una muestra (Anzaldúa-Morales, 2005; Meyners & Castura, 2014). Esta metodología consiste en una lista de palabras, frases y/o atributos sensoriales en el cual los consumidores encuestados deberán seleccionar aquellas consideren oportunas para describir el producto en cuestión. El empleo de este formato no requiere de personas entrenadas para llevarlo a cabo, siendo ésta una ventaja en comparación con otros métodos de análisis sensorial (Meyners & Castura, 2014). En general, puede complementarse la caracterización con otros análisis como grado de satisfacción, preferencia y aceptabilidad, ya que se encuentran dentro de las pruebas afectivas. El análisis de grado de satisfacción permite determinar cuánto les gusta o disgusta a los jueces consumidores un alimento a través del empleo de escalas hedónicas. El análisis de preferencia se utiliza cuando hay más de una muestra a evaluar y solo se pretende saber si prefiere una muestra por sobre otra. Finalmente, en el análisis de aceptabilidad se procura determinar el deseo de una persona de adquirir un producto (intención de compra), aunque es utilizado incorrectamente con mucha frecuencia para referirse a las pruebas de preferencia o a las de grado de satisfacción (Anzaldúa-Morales, 2005).

Debido a lo mencionado anteriormente, el presente trabajo tiene como objetivos (1) evaluar la aceptabilidad y grado de satisfacción de un producto natural deshidratado a base de frutas (frutilla y manzana) y, (2) generar el perfil sensorial del mismo utilizando la metodología de preguntas CATA, mediante una planilla de evaluación y la participación de jueces consumidores.

Materiales y métodos

El producto a evaluar es un alimento natural deshidratado a base de frutas (frutilla y manzana) considerado como una colación saludable. Para su elaboración se realizó una pasta a base de frutas que luego se extendió en placas y se deshidrató durante 5 h a 55 ºC en una deshidratadora (IRConfort). Dicho producto fue elaborado en las instalaciones de un local comercial alimenticio de la ciudad de Villa María, cuyo nombre es “Bretona S.A”.

La evaluación sensorial del producto anteriormente mencionado se realizó en diferentes establecimientos (Campus de la UTN-FRVM, gimnasios, plazas, clubes deportivos) en septiembre y octubre de 2023. Durante dichas sesiones se le adjudicó a cada juez una planilla de evaluación y la muestra a evaluar (Figura 1). Se les explicó cómo debían proceder sin brindar información adicional que pudieran interferir con su percepción como: origen del producto, ingredientes y características organolépticas puntuales.

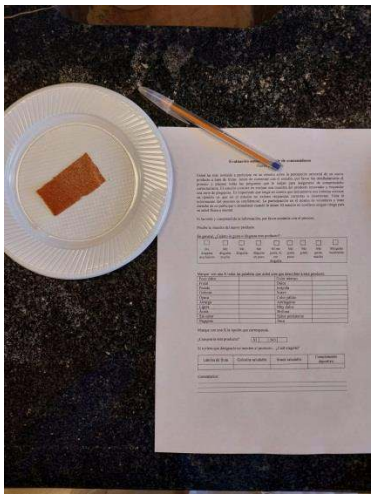


Figura 1. Muestra a evaluar y planilla de evaluación.

La planilla fue dividida en distintos sectores. Uno de ellos dedicado a datos personales del evaluador, otro destinado a designar el grado de satisfacción y la aceptabilidad del producto (intención de compra), otro dedicado a los descriptores a seleccionar (atributos visuales, olfato gustativos y texturales) y finalmente un sector para designar un nombre comercial al producto evaluado.

En el sector dedicado al grado de satisfacción se analizó cuánto les gusta o disgusta un alimento a los evaluadores, mediante escalas hedónicas. Las mismas son instrumentos de medición de las sensaciones placenteras o desagradables producidas por un alimento a quienes lo prueban, pudiendo ser verbales o gráficas. Las verbales presentan a los jueces una descripción verbal de la sensación que les produce la muestra y deben contener siempre un número impar incluyendo la opción “ni me gusta ni me disgusta” (Anzaldúa-Morales, 2005). Los rangos de los números van desde uno a nueve, siendo uno “me disgusta muchísimo”, cinco “ni me gusta ni me disgusta” y nueve “me gusta muchísimo” (Castañeda Bustillo, 2013). A diferencia del sector de la aceptabilidad o intención de compra del producto en donde se evaluó el deseo de una persona de adquirir el mismo, no sólo depende de la impresión agradable o desagradable que el juez recibe al probar el alimento sino también de aspectos culturales, socioeconómicos, de hábitos, etc. Que un alimento le guste a alguien no quiere decir que esa persona vaya a querer comprarlo (Anzaldúa-Morales, 2005). Por otro lado, el sector dedicado a los descriptores a seleccionar es importante, ya que la selección de la lista de palabras o frases incluidas en las preguntas CATA es uno de los principales retos para la aplicación de esta metodología. Los términos incluidos deben ser fáciles de entender por los jueces consumidores dado que no tienen entrenamiento previo. Teniendo en cuenta que el objetivo de la investigación es obtener una descripción de las características sensoriales del producto basada en el consumidor habitual o potencial, la lista sólo incluye atributos sensoriales (Piqueras-Fiszman & Jaeger, 2014).

Como se mencionó anteriormente, la evaluación sensorial por metodología de preguntas CATA es efectuada por jueces consumidores, los cuales son personas que no tienen que ver con las pruebas, no trabajan con alimentos, ni realizan evaluaciones sensoriales periódicamente. Por lo general, son personas tomadas al azar que usualmente son consumidores del producto a probar o en el caso de productos nuevos, son consumidores potenciales de dicho alimento. Se debe tener en cuenta que los seres humanos tienen un gran número de estímulos y reaccionan de manera diferente a cada uno de ellos cuando llevan a cabo las pruebas de análisis sensorial, por lo que puede haber varias interferencias. Dentro de las más comunes que aplican a la metodología de este trabajo se destacan: el error de expectación (los jueces no deben recibir información de la prueba antes de la prueba), el efecto de la sugestión (si el juez mira a los otros jueces, las expresiones de los rostros de éstos pueden afectar sus respuestas), la motivación (Anzaldúa-Morales, 2005), entre otras.

Al momento de llevar a cabo las evaluaciones sensoriales se deben tener en cuenta otros factores que pueden influir sobre la misma. Según Anzaldúa-Morales (2005), las frutas, dulces, pasteles, galletas y panes se deben presentar a los jueces a temperatura ambiente, por lo que considerando el producto a evaluar se optó por trabajar a dicha temperatura. Por otro lado, uno de los factores que puede afectar a los resultados de pruebas de análisis sensoriales es la hora en la cual se llevan a cabo las sesiones debido a que no deben efectuarse en horas próximas a las de las comidas, por ello se realizaron varias sesiones durante días consecutivos alrededor de las 17:00 h. En cuanto a la cantidad de muestras, se trabajó con una unidad del producto por consumidor ya que los alimentos que pueden ingerirse como una pequeña unidad deben ser evaluados de la misma manera (Anzaldúa-Morales, 2005).

Resultados y discusiones

Se realizó la evaluación sensorial del producto en cuestión a 112 consumidores aleatorios en diversas sesiones, se analizaron los resultados obtenidos los cuales se expresan a continuación. En primer lugar, se darán a conocer los valores obtenidos acerca del consumo de este tipo de producto por parte de los jueces consumidores y luego los correspondientes a las pruebas afectivas realizadas.

Consumo de colaciones

Durante la evaluación sensorial se analizó si los jueces consumían algún tipo de colación. Del total de evaluadores involucrados en el estudio, 90 afirmaron la ingesta de colación durante su jornada diaria (Figura 2). Además, se interrogó la razón por la cual lo hacían (Figura 3) y que tipo preferían (Figura 4).

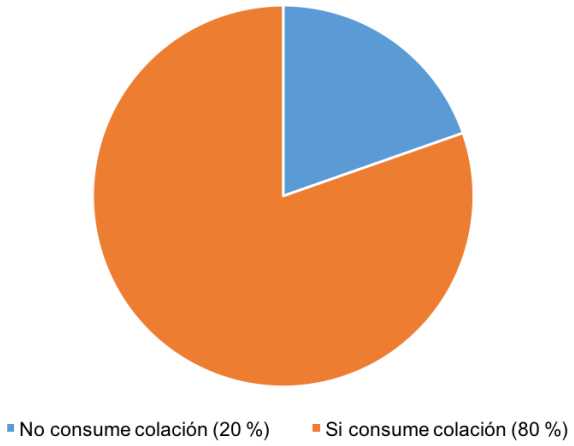


Figura 2. Consumo de colación (%) de los jueces involucrados en la CATA.

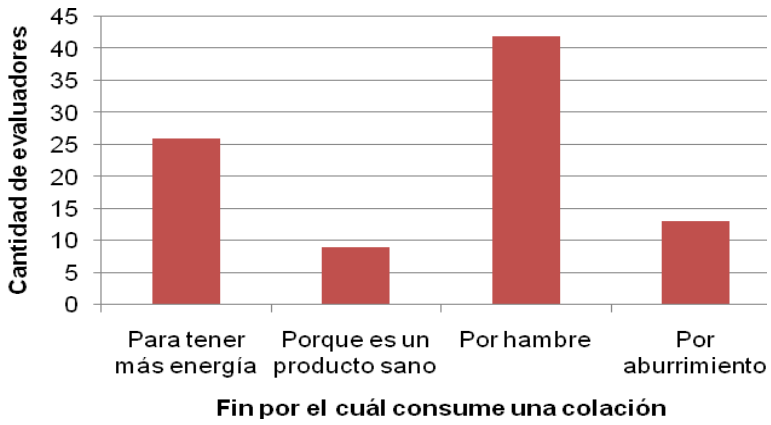


Figura 3. Distribución de la frecuencia observada en relación al fin por el cual los jueces consumidores ingieren una colación.

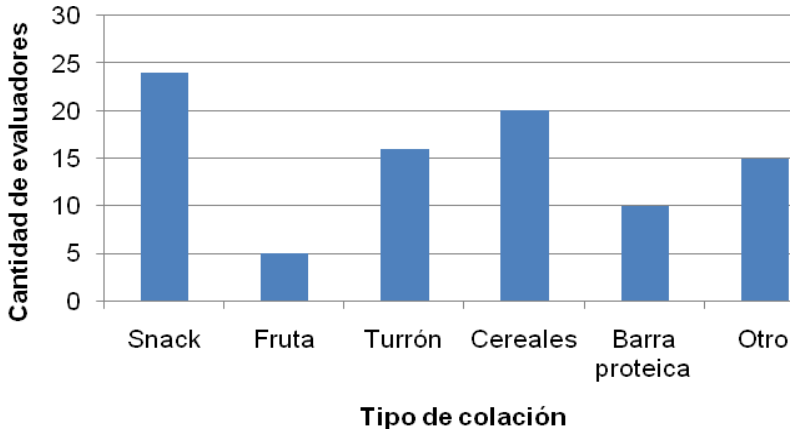


Figura 4. Distribución de la frecuencia del tipo de colación que ingieren los jueces consumidores.

Perfil sensorial

A partir de la metodología de preguntas CATA es posible determinar la frecuencia de selección de cada uno de los atributos expuestos en la planilla por parte de los jueces consumidores. De esta manera, queda establecido la cantidad de veces que los evaluadores percibieron ese atributo generando el perfil sensorial del alimento analizado.

En la Figura 5 se puede observar el perfil sensorial del producto natural deshidratado a base de frutas. Se muestran los atributos evaluados con la correspondiente frecuencia de selección de cada uno de ellos, entre los más frecuentes se encuentran: frutal (99), ácida (74), dulce (53) y sabor persistente (52). Dicho gráfico radial permite tener una visión general de las características del mismo.

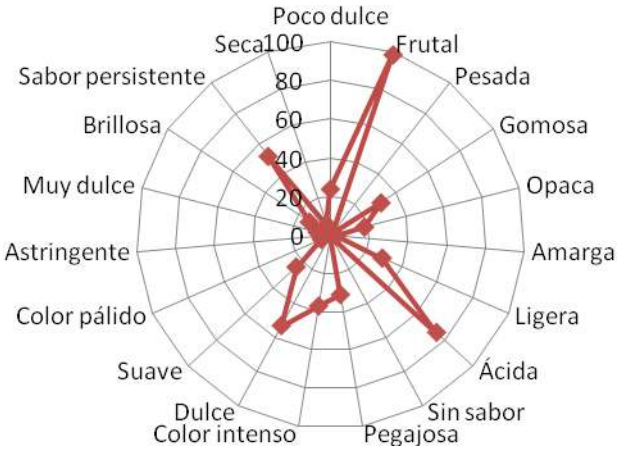


Figura 5. Gráfico radial que muestra el perfil sensorial del producto analizado.

Grado de satisfacción

Por otra parte, se analizó el grado de satisfacción de los jueces consumidores respecto al producto, en donde se obtuvo una media de 6,87 a partir de la frecuencia de selección de las distintas opciones brindadas a los mismos en la escala hedónica de nueve puntos. Este resultado se considera positivo ya que 99 jueces eligieron entre los puntos 6 y 9 inclusive de la escala. A continuación, se detalla en la Tabla 1 la escala hedónica utilizada en el análisis sensorial junto con la frecuencia de selección de cada uno de los valores por parte de los jueces consumidores.

Tabla 1. Escala hedónica y frecuencia de selección por los jueces consumidores.

	Escala hedónica	**Frecuencia**
1	Me disgusta muchísimo	1
2	Me disgusta mucho	1
3	Me disgusta	4
4	Me disgusta un poco	1
5	Ni me gusta, ni me disgusta	6
6	Me gusta poco	14
7	Me gusta	51
8	Me gusta mucho	27
9	Me gusta muchísimo	7
	Media aritmética	**6,87**

Mientas que, en la Figura 6 se observan los resultados obtenidos del grado de satisfacción de cada uno de los consumidores involucrados en el estudio. Como se mencionó anteriormente 99 jueces (88 %) optaron por las opciones positivas de la escala (entre 6 y 9). En donde la opción "*Me gusta"* fue la más elegida por los evaluadores con el 46 %, seguida de la opción "*Me gusta mucho"* con el 24 %, luego "*Me gusta poco"* con el 13 % y finalmente la opción de "*Me gusta muchísimo"* con el 6 %.

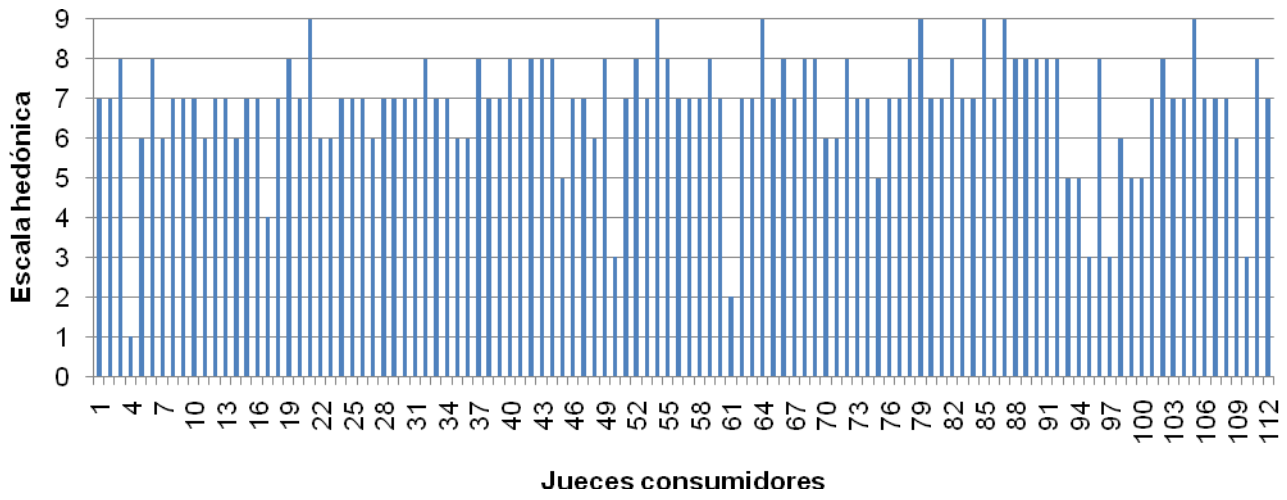


Figura 6. Distribución de frecuencias del grado de satisfacción.

Aceptabilidad

En cuanto a la aceptabilidad de los evaluadores del producto, es decir la intención de compra de los mismos, se encontró que 88 jueces consumidores comprarían este producto (79 %) para incluirlo dentro de su dieta como una colación, sin embargo el 21 % no lo compraría.

Nombre del producto

Finalmente, se evaluaron los posibles nombres comerciales del producto en cuestión (Figura 7). A partir de dicho análisis se observa que la opción más elegida por los jueces consumidores fue "*Lámina de fruta*" con el 52 %, sin embargo el 21 % eligió "*Snack saludable*", el 20 % "*Golosina saludable*", el 5 % "*complemento deportivo*" y el 3 % "*ninguna opción*".

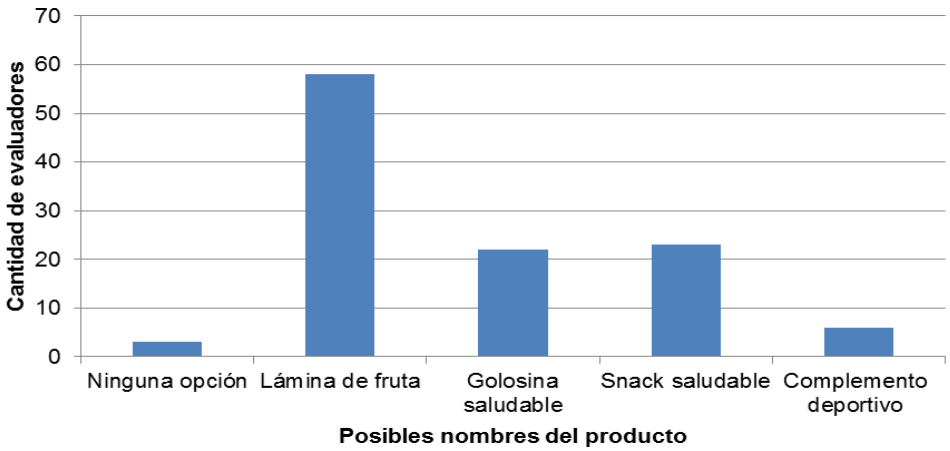


Figura 7. Distribución de las frecuencias de los posibles nombres del producto comercial.

Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos se puede concluir que mediante la metodología de preguntas CATA fue posible generar rápidamente el perfil sensorial para el producto natural deshidratado a base de frutas (frutilla y manzana) en base a la percepción de los consumidores habituales de este tipo de producto y consumidores potenciales. Este tipo de metodología resulta eficiente no solo porque acorta los tiempos de las evaluaciones sino porque también es un recurso más económico al no requerir un panel entrenado de jueces.

Respecto al análisis efectuado sobre el consumo de colaciones, el 80 % de los jueces consumidores que participaron de la evaluación consumen algún tipo de colación durante su jornada diaria. La principal razón de consumo es "*por hambre*" (47 %), seguida de "*para tener más energía*" (29 %), "*por aburrimiento*" (14 %) y finalmente porque es un "*producto sano*" (10 %).

En relación al análisis de grado de satisfacción del producto, es decir que tanto les gusta o no, fue aceptado gratamente por los jueces consumidores ya que el valor de la media aritmética obtenida (6,87) se encuentra por encima de 6, considerando que la escala hedónica es de nueve puntos.

Por otro lado, se obtuvieron resultados positivos en cuanto a la aceptabilidad del producto, ya que un gran porcentaje (79 %) de los jueces consumidores tiene intención de comprar el producto evaluado con el objetivo de emplearlo como una colación.

Finalmente, se evaluaron los posibles nombres comerciales del producto analizado en donde el 52 % seleccionó la opción de "*Lámina de fruta*" como el más adecuado para la comercialización del mismo en función de sus características organolépticas. Sin embargo, esto no significa que va a ser comercializado bajo dicho nombre.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Villa María a través del proyecto "Calidad microbiológica de snacks saludables deshidratados. Determinación de la vida útil" dentro del programa de Proyectos de Investigación y Desarrollo (2023-2026) en colaboración con el comercio gastronómico "Bretona S.A" de la ciudad de Villa María, quien brindó los productos a base de frutas para evaluar. Los autores desean expresar su agradecimiento a todas las personas que formaron parte de la investigación como jueces evaluadores.

Referencias

Anzaldúa-Morales, A. (2005). *La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica.* Zaragoza - España: Acribia S.A.

Castañeda Bustillo, C. D. (2013). *Comparación de la escala hedónica de nueve puntos con la escala hedónica general de magnitud (gLMS) utilizada por personas de dos regiones de América Latina.* El Zamorano - Honduras: Escuela Agrícola Panamericana.

Larmond, E. (1977). *Laboratory methods for sensory evaluation of foods.* Ottawa - Canadá: Research Branch Agriculture Canada.

León Barreto, C. (20 de diciembre de 2022). *El futuro de la alimentación saludable.Los principios de la cocina del futuro.* Victoria - Colombia, Colombia: Universidad de San Andrés. Departamento de Humanidades.

Meyners, M., & Castura, J. C. (Mayo de 2014). Check All That Apply Questions. *Preprint from Varela & Ares: Novel Techniques in Sensory Characterization and Consumer Profiling*, 1-33. DOI: 10.1201/b16853-12.

Meyners, M., Castura, J. C., & Worch, T. (2016). Statistical evaluation of panel repeatibility in Check-All-That-Apply questions. *Food Quality and Preference*, 197-204 DOI:10.1016/j.foodqual.2015.12.010.

Novelli, D. (2018). ALIMENTOS: el consumo responsable tratoca paradigmas. *Revista de Investigaciones Agropecuarias Vol.44 N°1*, 4-9.

OMS. (31 de Agosto de 2018). *Alimentación sana.* Recuperado el 1 de Abril de 2024, de Organización Mundial de la Salud (OMS): https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/healthy-diet

Piqueras-Fiszman, B., & Jaeger, S. R. (2014). The impact of evoked consumption contexts and appropriateness on emotion responses. *Food Quality and Preference - vol. 32 parte C*, 277-288.

Quiero, N. (22 de Abril de 2022). Consumo de colaciones: un hábito infaltable para una dieta saludable. *Diario Concepción*.

ANÁLISIS DE LOS NIVELES DE EXPOSICIÓN POBLACIONAL A CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS EN EL DEPARTAMENTO SAN JUSTO, PROVINCIA DE CÓRDOBA

Jorge A. Bossio[1], Sergio Felissia[1], Gastón Peretti[1], Mateo Cignetti[1]

[1]Departamento de Ingeniera Electrónica, Facultad Regional San Francisco, Universidad Tecnológica Nacional, Av. De la Universidad 501- San Francisco
jbossio@facultad.sanfrancisco.utn.edu.ar

Resumen

La gran proliferación de las tecnologías de comunicación inalámbrica en las últimas décadas ha devenido en la instalación de todo tipo de antenas transmisoras, como así también en el control de estas por parte del estado.

Existe una creciente preocupación pública acerca de los posibles efectos nocivos de los campos electromagnéticos en la salud de las personas. Diversas organizaciones nacionales e internacionales, como la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Federal Communications Commission (FCC), la Comisión Internacional para la Protección contra Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP), entre otras, han realizado extensas y continuas investigaciones para determinar los efectos de los campos sobre las personas y publican guías para limitar la exposición humana a la energía de radiofrecuencia.

El objeto del presente trabajo es cuantificar los niveles de campo electromagnético existentes en el medio ambiente de distintas localidades diferentes entre sí y compararlos con los fijados por las normativas tanto a nivel nacional como internacional. En el documento se presentan, el método empleado y los resultados obtenidos de la medición de la totalidad de los sitios de telefonía celular instalados en el departamento San Justo de la provincia de Córdoba.

El poder conocer estos valores da respuesta a la intranquilidad que tienen los habitantes acerca de los potenciales efectos perjudiciales de las radiaciones no ionizantes (RNI) en la salud. Los resultados obtenidos se encuadraron en su totalidad dentro de los valores de referencia límite fijados reglamentariamente, de los cuales el más restrictivo se ubica en 0,2 mW/cm2 de densidad de potencia.

Palabras Clave: radiación no ionizante(RNI), medición, exposición.

Introducción

En épocas actuales es impensado imaginar una sociedad que no esté conectada mediante algún sistema “inalámbrico”. Estos sistemas utilizan la propagación electromagnética para transmitir energía de un punto a otro a través del espacio. Tal es el caso de la radiodifusión AM, FM, estaciones de TV, telefonía fija inalámbrica, telefonía celular, enlaces de microondas y WiFi, entre otros, por lo que la exposición a campos se produce en todos los ámbitos de la sociedad: en el hogar, en el trabajo, en las escuelas, en los espacios públicos, etc. El continuo desarrollo tecnológico en las comunicaciones dio aumento de la densidad electromagnética presente en el ambiente, que algunos autores la llaman comúnmente “contaminación electromagnética”, generando preocupación en la sociedad por los posibles riegos adversos para la salud debido a campos electromagnéticos de alta frecuencia.

En este trabajo, se efectuaron mediciones a 76 sitios de telefonía celular instalados en distintas localidades del departamento San Justo de la provincia de Córdoba, con el propósito de evaluar los niveles de densidad de potencia existentes alrededor de los mismos y determinar si cumplen con los valores fijados como seguros por las normativas vigentes tanto a nivel nacional como internacional.

Según los fenómenos físicos que pueden ocasionar las radiaciones, el espectro electromagnético se encuentra dividido en dos regiones: la de radiaciones no-ionizantes, RNI y la de radiaciones ionizantes, RI. Las radiaciones ionizantes son ondas electromagnéticas de frecuencia extremadamente elevada (rayos X y gamma), que contienen energía fotónica suficiente para producir la ionización (conversión de átomos de moléculas en iones con carga eléctrica) mediante la ruptura de los enlaces atómicos, y afectar así el estado natural de los tejidos vivos. Por su parte, las RNI constituyen, la parte del espectro electromagnético cuya energía fotónica es demasiado débil para romper enlaces atómicos, aun cuando sean de alta intensidad de potencia. Entre ellas cabe citar la radiación ultravioleta, la luz visible, la radiación infrarroja, los campos de radiofrecuencias y microondas. [1]

Hasta la actualidad, dentro de los límites recomendados por la OMS, no existen evidencias científicas que permitan afirmar fehacientemente que las RNI produzcan efectos adversos sobre la salud de la población. Por el momento, el único efecto comprobado, cuando se sobrepasan dichos límites, es el calentamiento de los tejidos, el cual desaparece un tiempo después de quitar la fuente de radiación, tal como ocurre con cualquier fuente de calor convencional [2]. De todos modos, por el "principio o enfoque precautorio" [3] distintos organismos gubernamentales han fijado niveles máximos de campo permitidos, basándose en las magnitudes propuestas por la Comisión Internacional para la Protección contra Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP). [4]

El presente trabajo intenta servir como línea de base para que las autoridades públicas o privadas puedan mostrar a la población cuales son las mediciones reales de los niveles de radiación existentes en las localidades en comparación con las tolerancias máximas y no sólo que se estimen mediante cálculos matemáticos. Se recalca que el alcance de esta investigación no abarca el estudio de los efectos en la salud de las ondas electromagnéticas ni se tuvo como objetivo determinar la relación entre las antenas existentes y los niveles de densidad de potencia medidos. Las tareas de campo se desarrollaron con rigurosidad metodológica, implementando procedimientos de medición de acuerdo a recomendaciones y normas de referencia.

Materiales y métodos

- **Análisis de Normativas**

Según lo expresado, las medidas obtenidas se comparan con las magnitudes de referencia para satisfacer los requerimientos normativos para el cuidado de la salud de la población. Corresponde entonces, hacer un análisis previo de las normas que rigen la actividad.

Con el objeto de asegurar que la exposición humana a los campos electromagnéticos no tenga efectos perjudiciales para la salud, se han adoptado diversas directrices y normas internacionales. El contexto normativo de nuestro país sobre los niveles de Máxima Exposición Poblacional (MEP) a las RNI, se apoya en las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS). La OMS basa sus recomendaciones en los estudios de la Comisión Internacional para la Protección contra las Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP) que provee pautas y recomendaciones sobre los peligros para la salud de la exposición a las RNI.

A nivel nacional, la Resolución 530/2000 [5] emitida por la Secretaria de Comunicaciones, adopta como norma los límites fijados por el Ministerio de Salud, Resolución 202/1995 [6] (Tabla 1) y dispone su aplicación obligatoria a todos los Sistemas y/o Servicios de Comunicaciones Radioeléctricos que irradian en frecuencias comprendidas entre 100 KHz y 300 GHz.

Asimismo, la Resolución 3690/2004 de la CNC [7] establece el protocolo para la evaluación de las radiaciones no ionizantes. Los niveles y procedimientos se basan en la normativa internacional en la materia, tal como la ICNIRP; la Unión Internacional de Telecomunicaciones, UIT, organismo especializado de las Naciones Unidas (ONU) para las TIC´s, como ser la Recomendación UIT-T K.52 [8] que presenta orientación general, un método de cálculo y un procedimiento de evaluación

de las instalaciones y la UIT-T K.61[9] que fija directrices sobre la medición y la predicción numérica de los campos electromagnéticos, para comprobar que las instalaciones de Telecomunicaciones cumplen con los límites de exposición de las personas. Otros organismos de referencia son el IEEE, la FCC, entre otros. A nivel provincial, la ley N° 9055 obliga a toda antena para estaciones de base de telefonía celular a ser sometida a un control de emisión de energía radiada en forma periódica. A nivel municipal, las reglamentaciones solo imponen exigencias en cuanto a las infraestructuras de las torres y en algunos casos a la presentación de predicción de niveles para la autorización de instalación sin mencionar los controles posteriores.

Tabla 1- Límites de exposición poblacional a campos electromagnético de radiofrecuencia

Región de frecuencias (MHz)	Intensidad del campo eléctrico RMS no perturbado (V/m)	Intensidad del campo magnético RMS no perturbado (A/m)	Densidad de potencia equivalente para onda plana (mW/cm^2)
0,3-3	275	0,73	20
3-30	$[3.764\ (180/f^2)]^{1/2}$	$[0,03\ (180/f^2)]^{1/2}$	$180/f^2$ *
30-400	27,5	0,073	0,2
400-2.000	$1,375\ f^{1/2}$	$0,0037\ f^{1/2}$	f/2000
2.000-300.000	61,35	0,16	1

Fuente: Resolución 202/95 MSyAS

La figura 1 proporciona una representación gráfica de los niveles de referencia del público en general para duraciones prolongadas de exposición (> 6 min) fijados por ICNIRP en las últimas directrices (año 2020) para limitar la exposición a campos electromagnéticos de 100 KHz a 300 GHz.

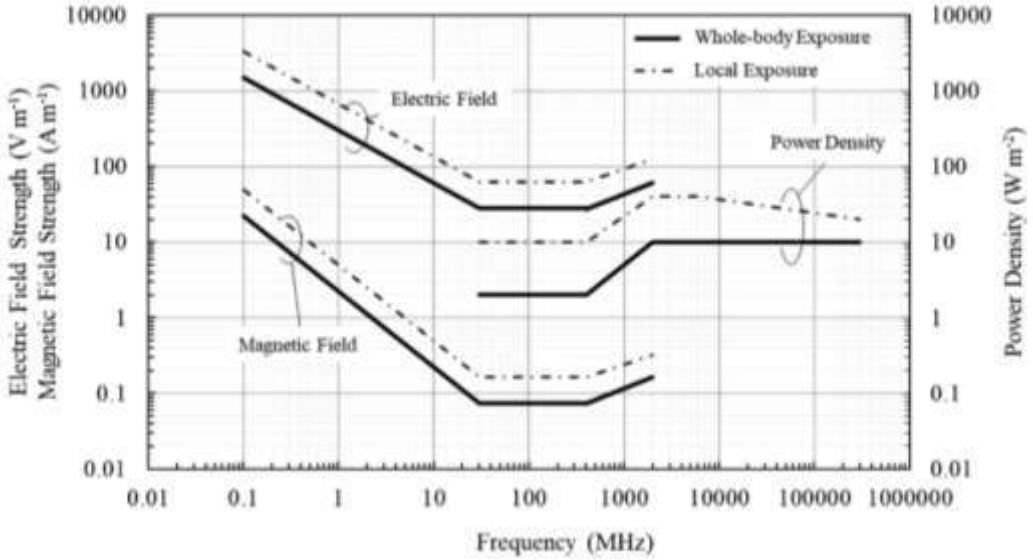


Fig. 1. Niveles de referencia para exposiciones del público en general

Debido a que los límites máximos permitidos por el Ministerio de Salud Pública de la Nación son similares, o levemente más exigentes en algunas bandas importantes, como la de los 10 a los 400 MHz, podemos afirmar que la normativa vigente en nuestro país sobre la exposición poblacional a las ondas electromagnéticas o Radiaciones No Ionizantes (RNI), es análoga a la recomendada por los estándares internacionales.

- **Magnitudes y unidades**

La mayoría de los documentos proporcionan límites de seguridad en términos de restricciones básicas y niveles de referencia (o derivados). Las restricciones básicas abordan las cantidades

fundamentales que determinan la respuesta fisiológica del cuerpo humano a los campos electromagnéticos.
La magnitud (escalar) fundamental que se utiliza para cuantificar la interacción entre la energía electromagnética transportada por los campos y los sistemas biológicos es el SAR (Specific Absortion Rate) o Tasa de absorción específica. El SAR es la derivada temporal de la energía incremental (∂W) absorbida por (disipada en) una masa incremental (∂m) contenida en un elemento de volumen (∂V) de una densidad de masa dada (ρm).

$$SAR = \frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{1}{\rho m}\frac{\partial W}{\partial V}\right) \quad (1)$$

SAR se expresa en unidades de vatios por kilogramo [W/kg].

El SAR se constituye en una medida claramente estadística, pues se comprueba que la absorción específica depende no solamente de la parte del cuerpo que se considere, sino que, también, sufre grandes variaciones con la frecuencia de la señal de RF, la edad y el sexo de las personas entre otros factores. De lo mencionado precedentemente, surge el interés por conocer, un Nivel Aceptable de la Tasa de Absorción Específica (SAR) que, para una frecuencia determinada, no conllevará efectos adversos para la salud. El conocimiento de este valor límite, permitirá establecer luego, lo que más adelante llamaremos valores de Máxima Exposición Permitida (MEP).
Las pautas toman un SAR promediado sobre toda la masa corporal de 4 W/kg en un intervalo de 30 minutos, como el nivel de exposición correspondiente al umbral operacional de efectos adversos para la salud. Se aplicó un factor de reducción de 10 a este umbral de exposición para tener en cuenta la incertidumbre científica, así como las diferencias en la fisiología térmica entre la población y la variabilidad en las condiciones ambientales.
Este nivel se fija para el *entorno ocupacional*, que es aquel integrado por trabajadores que están expuestos un tiempo limitado por la jornada laboral (8 o 6 Hs.), que poseen entrenamiento y conocimiento sobre RNI, y de ser necesarias, las contramedidas adecuadas para disminuir el nivel de exposición al que están sometidos.
Para las personas del público general, *entorno poblacional,* que residen en un determinado lugar y no tienen porque estar informados sobre exposición a RNI, ni sus riesgos asociados y por lo tanto deben poder estar expuestos las 24 horas, todos los días, sin consecuencia alguna, se asignan valores de MEP unas 5 veces menor que el límite ocupacional [10]. La figura 2 muestra gráficamente los valores antes mencionados.

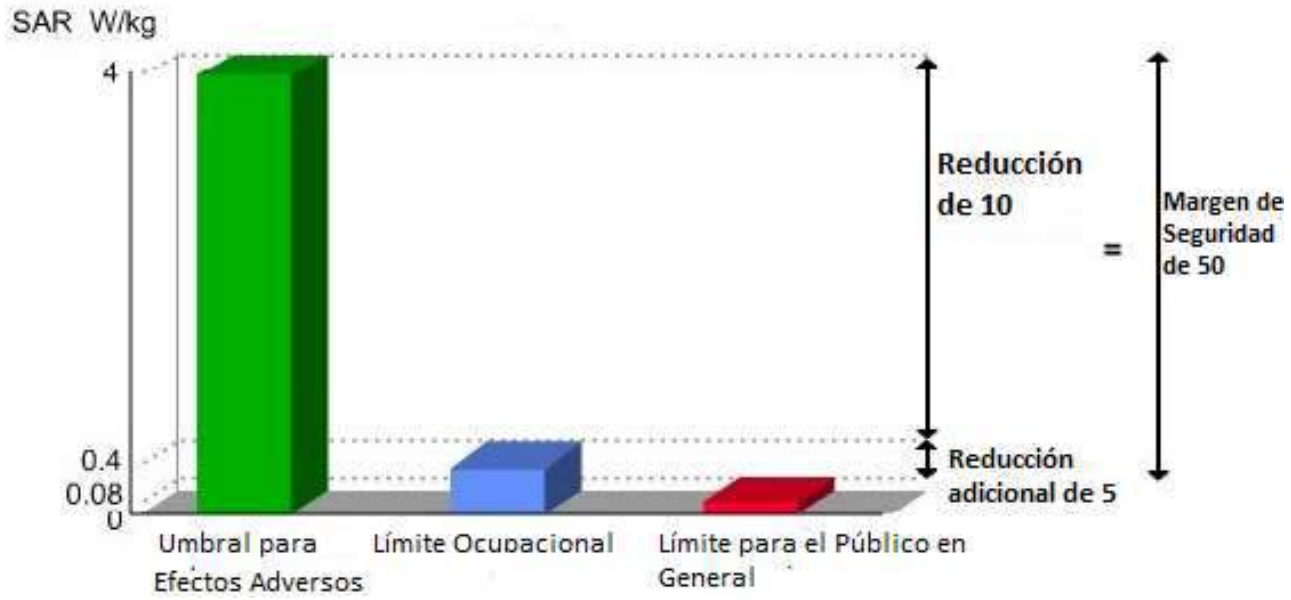


Fig. 2. Límites de Tasa de Absorción Específica (SAR). [11]

Como las magnitudes de las restricciones básicas son difíciles de medir directamente, se proporcionan *niveles de referencia* derivados. Los niveles de referencia se han obtenido de una combinación de estudios computacionales y de medición para proporcionar un medio para demostrar el cumplimiento utilizando cantidades que se evalúan más fácilmente y proporcionan un nivel de protección equivalente para los peores escenarios de exposición. Es así, entonces, que las normativas indican los valores de MEP con las unidades físicas de *Intensidad de campo Eléctrico [V/m], Intensidad de campo magnético [A/m] y Densidad de Potencia [W/m^2] o [mW/cm^2]*

- **Análisis de Infraestructuras instaladas**

Para el desarrollo del estudio, en primera instancia, con datos recolectados de organismos gubernamentales, se determinan las ubicaciones de las torres de telefonía celular existentes en el departamento San Justo. Con estos datos, se pudo armar un mapa de cobertura de las antenas irradiantes (figura 3). Además, al momento de las mediciones se tienen en cuentan otras fuentes de emisión, como ser servicios de radiodifusión AM o FM. Existen también otros montajes de estructuras de comunicaciones que por las características o potencia de irradiación no se tienen en cuenta, ya que los valores que aportan a la densidad electromagnética total es despreciable. Dentro de esta categoría se encuentran los enlaces de microondas punto a punto o routers WIFI, por ejemplo.

Fig. 3- Ubicación de antenas instaladas en el departamento San Justo. Fuente: Google Earth

Los tipos de estructuras existentes son variadas, como ser: arriostradas, monopostes, en edificio, camufladas, autosoportadas, en pedestales; algunas con más impacto visual que otras. Las figuras 4 a 8 muestran algunas torres utilizadas por las empresas de telecomunicaciones. La altura promedio de torres es de 45 metros. Los tipos de antenas predominantes (figura 9) son tipo sectorial 120° que conforman un diagrama omnidireccional.

Los criterios indicados para determinar si una instalación es normalmente conforme comprenden tres características fundamentales: la accesibilidad, la directividad de la antena y la frecuencia del campo radiado. Los sitios evaluados se encuadran dentro de las categorías B.1/K.52, B.4/K.52 y B.5/K.52 de la norma de referencia [8].

Fig. 4- Torre autosoportada

Fig. 5- Monoposte

Fig 6- Torre Arriostrada

Fig 7- En edificio/pedestal

Fig 8- Camuflada

Fig. 9- Paneles sectoriales

Fuente: propia (año 2023)

- **Instrumento utilizado**

En este proyecto se emplea un medidor de intensidad de campo de banda ancha (DC a 60 GHz) de la marca Wavecontrol, modelo SMP2 (figura 10). Este medidor ofrece, entre sus muchas funciones, moderna tecnología y buenas herramientas de generación de informes. La sonda utilizada es el modelo WPF8 con ancho de banda de 100 KHz a 8 GHz. Es una sonda isotrópica de campo eléctrico, que consiste en una sonda triaxial con los sensores de cada eje ubicados de forma ortogonal, esta geometría permite medir el campo electromagnético total sin necesidad de mover la sonda para cubrir todas las direcciones y la polarización del emisor. Todo el conjunto, medidor más sonda, posee calibración extendida por el fabricante con fecha vigente.

Fig. 10- Instrumental utilizado

- **Método de medición**

La evaluación de las antenas se realiza según dos metodologías: predicción y medición.

El método predictivo se utiliza para el caso de una antena única (sitio mono-antena) y calcula matemáticamente hasta que distancia de la antena el valor de densidad electromagnética supera la Máxima Exposición Permitida (MEP). El cálculo se puede realizar a partir de las ecuaciones (2) o (3), que, si bien son solamente válidas para los cálculos en el campo lejano de una antena, pueden utilizarse para predecir el peor de los casos.

$$S = \frac{PRA * 1{,}64 * 2{,}56 * F^2}{2 * \pi * r^2} \quad (2)$$

o

$$S = \frac{PIRE * 2{,}56 * F^2}{2 * \pi * r^2} \quad (3)$$

Donde:
S = Densidad de Potencia [W/m^2]
PRA = Potencia Radiada Aparente [W]
F = atenuación en veces de la radiación para un cierto ángulo de incidencia en el plano vertical. Si es desconocido, adoptar F=1
2,56 es un factor de reflexión empírico, que tiene en cuenta la posibilidad de que se puedan adicionar campos reflejados en fase con el campo incidente directo.
R = distancia desde la antena [m]
PIRE = Potencia Isotrópica Radiada Aparente [W]

De donde surge que la distancia mínima a la antena a ser considerada para el límite de exposición poblacional estará dada por la ecuación:

$$r = \sqrt{\frac{PRA * 1{,}64 * 2{,}56 * F^2}{2 * \pi * S}} \quad (4)$$

o

$$r = \sqrt{\frac{PIRE * 2{,}56 * F^2}{2 * \pi * S}} \quad (5)$$

Si se cumple que la distancia desde la antena a todo punto accesible por el público es mayor que el valor calculado, no se requerirá verificar el sitio mediante mediciones.

Para efectos de esta investigación, todos los sitios poseen más de una antena, además de que no se dispone los datos de potencia de transmisión o ganancia de elementos montados, por lo que no se cumplen los requerimientos para el uso del método y se debe proceder a efectuar las mediciones de campo.

Una consideración importante para la aplicación de niveles de referencia es, en qué medida las utilizadas para evaluar el cumplimiento de los niveles de referencia (E, H o S), predicen adecuadamente las cantidades utilizadas para evaluar el cumplimiento de las restricciones básicas. La adecuación depende en gran medida de que si los campos electromagnéticos (CEM) externos pueden considerarse dentro del campo lejano, campo cercano radiativos o zona reactiva de campo cercano. En consecuencia, en la mayoría de los casos, se han establecido diferentes reglas de evaluación del nivel de referencia en función de si se encuentran dentro de campo lejano o zona de campo cercano radiativo o reactivo. Es importante, entonces, conocer los límites de cada región de campo.

La *zona de campo cercano reactivo* es la parte de la región de campo cercano que rodea inmediatamente a la antena y donde predomina el campo reactivo. Se supone comúnmente que esta región se extiende a una distancia de una longitud de onda desde la antena.
En el límite de la zona reactiva de campo cercano, se puede definir una región de transición en la que el campo radiante comienza a ser importante en comparación con el componente reactivo, es la *zona de campo cercano radiativo.* Esta región exterior se extiende a unas pocas (por ejemplo, 3) longitudes de onda desde la fuente electromagnética.
Si la dimensión máxima D de la antena es grande en comparación la longitud de onda λ, existe la *zona radiante de campo cercano (Fresnel)*, que es la región del campo entre el campo cercano reactivo y la región del campo lejano, en la que predomina el campo de radiación. Aunque la radiación no se propaga como una onda plana, los componentes eléctricos y magnéticos pueden considerarse localmente normales.
Por último, la *zona de campo lejano* es la región del campo donde la distribución angular del campo es esencialmente independiente de la distancia desde la antena y la densidad de potencia radiada [W/m^2] es constante, comportándose como una onda plana. El limite interior de la región de campo lejano radiante se define por el valor más grande entre 3 λ y 2D^2/λ.
Las regiones anteriores se muestran en la Figura 11 (donde se supone que D es grande en comparación con la longitud de onda).

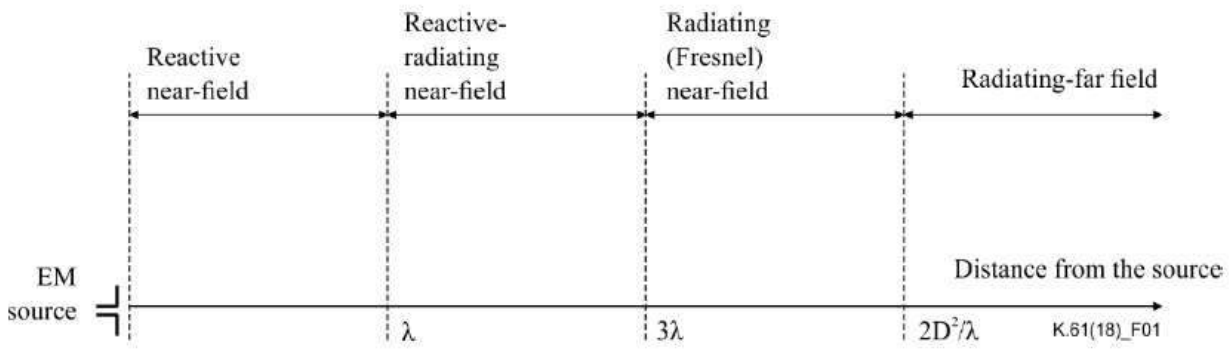


Fig. 11- Regiones de campo alrededor de una fuente electromagnética

Además, para una onda plana, la densidad de potencia está relacionada con el campo eléctrico (E) y el magnético (H) por la impedancia del espacio libre Zo = 377 Ω, ecuación 6, por lo que midiendo una sola de las variables, podemos conocer las demás.

$$S = \frac{E^2}{Z_0} = H^2 * Z_0 \quad (6)$$

La magnitud evaluada en nuestro estudio es intensidad de campo eléctrico, E, en voltios/metro [V/m]. Considerando las frecuencias de trabajo del sistema de telefonía celular, las mediciones deben realizarse a distancias mayores a los 15 metros de los sistemas irradiantes, distancia ampliamente superada en todos los puntos de medición elegidos.
El tipo de medición realizado es de inmisión, donde el campo electromagnético obtenido es la suma del aporte de múltiples fuentes de radiofrecuencia, que operan a distintas frecuencias. Se adopta este tipo de medición ya que las personas están expuestas simultáneamente a muchas fuentes de radiación sin importar de donde provenga dicha energía.

Al ser una medida de inmisión, en la cual no se discriminan las fuentes de radiación, se toma como valor de referencia de MEP el menor de todos los valores aceptados, aun cuando este no corresponda para las frecuencias evaluadas, tomando como referencia para contrastar con nuestras mediciones el valor de S = 0,2 mw/cm^2.

El procedimiento utilizado en la toma de datos, en total concordancia con la normativa CNC3690/04 [7], es el siguiente:

- Relevamiento visual del lugar de instalación con toma de datos de ubicación geográfica, tipo de torre o estructura, altura de las antenas, accesibilidad al público, si posee o no balizamiento, cerco perimetral e identificación. Se hace registro fotográfico de todo lo relevado.
- Selección de los puntos de medición: para sistemas omnidireccionales se deberán seleccionar como mínimo 16 puntos, ubicados convenientemente sobre el terreno. Las mediciones deben considerar las cuatro direcciones ortogonales a partir de la estación base. Se da prioridad a escuelas, hospitales, plazas, clubes, etc., próximos al sitio evaluado. A efectos de evitar posibles acoplamientos capacitivos, los puntos de medición deben encontrarse a una distancia no inferior a 100 cm de cualquier objeto conductor. Estos puntos se geo-referencian para poder incorporar su posición en los informes.
- En cada punto seleccionado se realiza la medición de la intensidad de campo eléctrico, en V/m, a una altura de 1,80 m con una promediación temporal del valor eficaz a lo largo de un periodo de 1 minuto, tomando muestras cada 1 segundo.

Concluidas todas las mediciones se elabora un informe donde se indica: fecha y hora de medición, características del sitio, croquis con las ubicaciones de los puntos de medición, fotos, tabla con los valores medidos, instrumentos y sondas utilizados con sus certificados de calibración.

Resultados y discusiones

Los resultados obtenidos de las mediciones desarrolladas en cada uno de los sitios se analizaron mediante estadística descriptiva, esto es, almacenar, ordenar, realizar tablas o gráficos y calcular parámetros básicos sobre un conjunto de datos que nos ofrezcan información sobre un determinado asunto [12]. Se realizaron un total de 1370 mediciones con un promedio de 18 medidas por antena. Las distancias desde la base de la torre a los puntos seleccionados varían desde los 8 a los 600 metros. En el gráfico 1 se visualiza la cantidad de medidas respecto a la distancia a la torre.

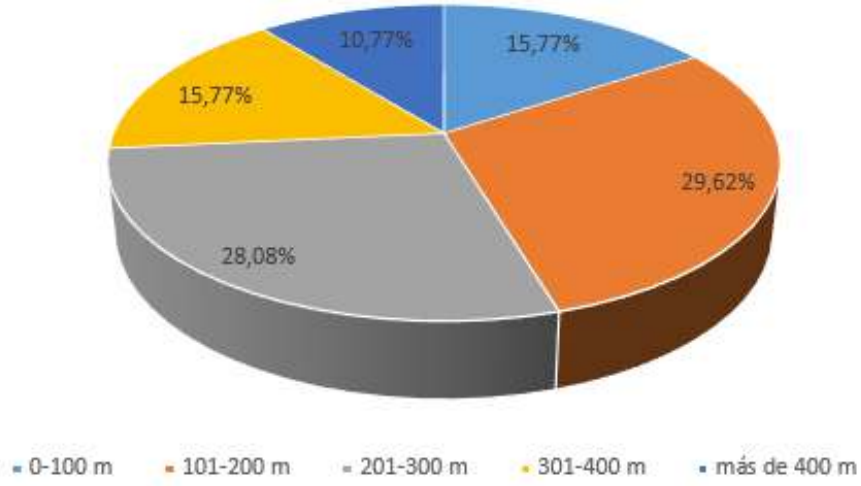


Gráfico 1- Cantidad de medidas vs. Distancia

En la figura 12 se presenta un ejemplo de la variación de la intensidad de campo eléctrico en función del tiempo, obtenida para un punto en particular y el grafico 2 muestra los valores promedios de todas mediciones realizadas a un sitio.

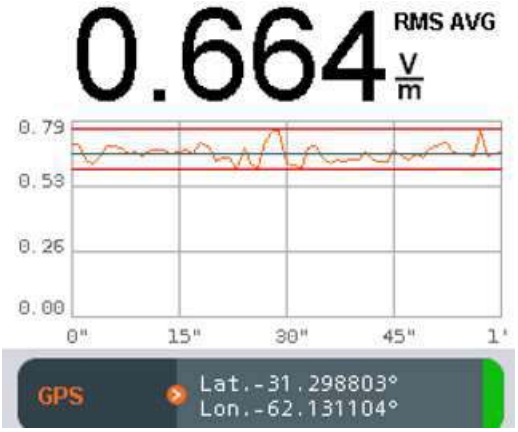


Fig. 12- Campo eléctrico medido en función del tiempo para un punto de un sitio
Fuente: Wavecontrol SMP2

Grafico 2 - Valores de ERMS medidos para todos los puntos de un sitio

El grafico 3 muestra la distribución de mediciones como una relación al límite de 27,5 V/m o 0,2 mW/cm^2

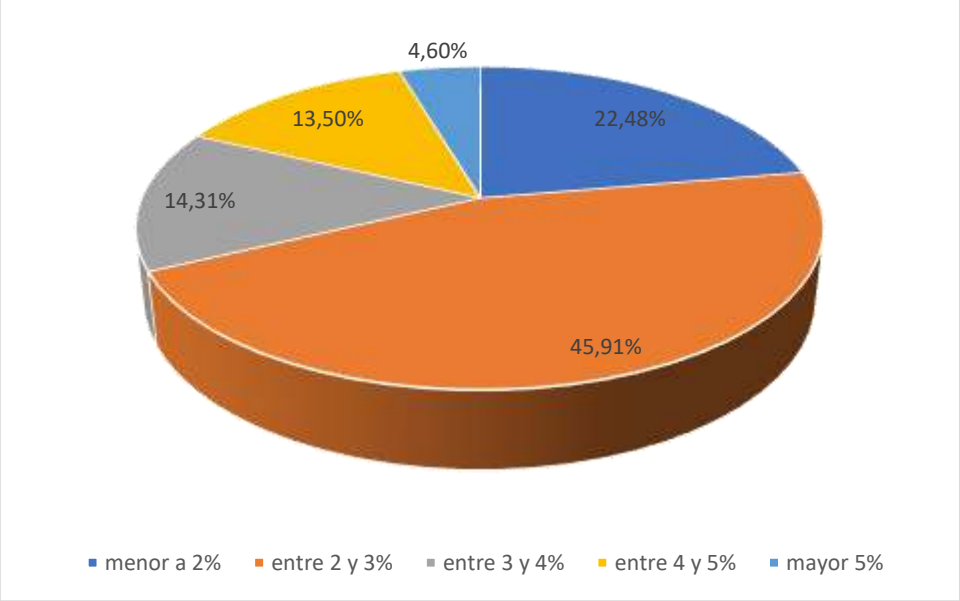


Grafico 3- Valores medidos respecto al MEP

Los valores registrados para la totalidad de las mediciones efectuadas comprenden un rango entre 0,40 y 4,35 V/m, a excepción de un solo valor que está en 11,49 V/m. La relación de estas cifras contra el nivel indicado en las normas (ver tabla I) nos arroja un porcentaje entre el 1 y 15% del MEP permitido. Se observa que el 96,2 % de las magnitudes están por debajo del 5 % del máximo permitido, y que ningún valor supera el 15%.

Conclusiones

El método de medición permitió cuantificar la densidad de potencia electromagnética irradiada por las antenas de estaciones base de telefonía celular en el departamento San Justo de la provincia de Córdoba. Las 76 estaciones evaluadas se encuentran muy por debajo de los límites permisibles establecidos en las directrices nacionales, Res. 202/95 e internacionales ICNIRP. Al utilizar sondas de banda ancha, el estudio también involucra otro tipo de radiaciones de radiofrecuencia, por lo que la investigación tiene la amplitud necesaria para corroborar que los niveles de radiación obtenidos, no influyen en daños a la salud porque estos valores son realmente bajos. A pesar de que existe un incremento en el número de radio bases de telefonía celular por la demanda de los usuarios, la revisión periódica de las mismas y la divulgación de los resultados permite mitigar la preocupación de la población al respecto.

Referencias

[1]Radiaciones No Ionizantes. Ing. Víctor Daniel Frizzera.
Recuperado de: https: //www.enacom.gob.ar
[2] Análisis de la radiación no ionizante (RNI) transmitidas por radio bases de telefonía celular de la ciudad de Daule. Guncay Roldan, Evelyn Virginia. Recuperado de: http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/9208.
[3] Resumen de La Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo en su "Declaración de Rio". Recuperado de: https://www.cepal.org/es/publicaciones/6377-principio-precautorio-derecho-la-politica-internacional
[4] ICNIRP Guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields 2020 (100 kHz to 300 GHz). Recuperado de: https://www.icnirp.org/en/publications/article/rf-guidelines-2020.html
[5] Resolución SC 530/2000. Recuperado de: https://www.enacom.gob.ar/multimedia/normativas/2000/Resolucion%20530_00.pdf
[6] Resolución MS 202/1995 Recuperado de: https://www.enacom.gob.ar/multimedia/normativas/1995/Resolucion%20202_95%20MS.pdf

[7] Resolución CNC 3690/2004. Recuperado de: https://www.enacom.gob.ar/multimedia/normativas/2004/Resolucion%203690_04%20CNC.pdf
[8] UIT-T K.52 - Orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos
[9] UIT-T K.61 - Orientación sobre medición y predicción numérica de campos electromagnéticos para el cumplimiento de los límites de exposición humana para instalaciones de telecomunicaciones
[10] Introducción al problema de las Radiaciones no Ionizantes provenientes de las Radiobases del Sistema de Telefonía Móvil. Ing. Aníbal Aguirre. Recuperado de https://www.cepetel.org.ar
[12] Estadística Descriptiva. Liliana Orellana. Recuperado de: https://www.dm.uba.ar/materias/estadistica_Q/2011/1/modulo%20descriptiva.pdf

CONECTANDO A LA COMUNIDAD UNIVERSITARIA Y TRANSFORMANDO LA EXPERIENCIA EDUCATIVA. UNLPAM MOVIL

Mg. José L. Filippi[1], Mg. Carlos Ballesteros[1], Lic. Pablo G. Etcheverry[1]

[1]GIAU – Grupo de Investigación de Ambientes Ubicuos, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Pampa, Calle 7 Esq. 110

filippij@ing.unlpam.edu.ar

Resumen

En la actualidad, la tecnología ha revolucionado la forma en que nos comunicamos, interactuamos y accedemos a la información. Las aplicaciones móviles, en particular, se han convertido en herramientas indispensables en nuestra vida cotidiana, brindando acceso a una amplia gama de servicios y conocimientos.

En el ámbito de la educación superior, la necesidad de que los estudiantes conformen una comunidad académica es imprescindible para desplegar un buen desempeño académico. El acceso oportuno a información, eventos y recursos permite a los estudiantes mantenerse al tanto de las oportunidades y optimizar su experiencia universitaria.

Conjuntamente, impulsar las relaciones interpersonales con compañeros, profesores y personal administrativo crea un entorno solidario y colaborativo, creando una red que se extiende más allá de la universidad.

En este artículo presentamos evidencia del desarrollo tecnológico efectuado para mejorar la experiencia universitaria incorporando el uso de una aplicación móvil desarrollada por el Grupo de Investigación de Ambientes Ubicuos (GIAU) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Pampa.

En conclusión, la implementación estratégica y efectiva de la aplicación móvil representa un salto cualitativo en la comunicación interna y la gestión de la información, impactando positivamente en la experiencia educativa de todos los miembros de la comunidad universitaria. Centraliza de manera eficiente las noticias, eventos y actividades de todas las Unidades Académicas en una única plataforma, eliminando la fragmentación de la información y facilitando el acceso a la misma de forma rápida y sencilla.

Palabras Clave: Comunidad Universitaria. Aprendizaje Colaborativo. Accesibilidad.

Introducción

Las universidades desempeñan un papel multifacético en la sociedad, que se extiende más allá del ámbito de la instrucción académica para fomentar profesionales socialmente responsables y comprometidos. Esta relación entre la universidad y su comunidad genera un espacio de colaboración mutua. A medida que el mundo continúa evolucionando a un ritmo sin precedentes, impulsado por los avances tecnológicos, las universidades deben adoptar la innovación para seguir siendo relevantes y efectivas en la preparación de los estudiantes para las demandas de la era moderna. [2]

La proliferación de dispositivos móviles ha revolucionado nuestra vida cotidiana, alterando fundamentalmente la forma en que nos comunicamos, aprendemos e interactuamos con el mundo que nos rodea. [3] Este cambio transformador se ha extendido al contexto universitario, donde los dispositivos móviles se han vuelto omnipresentes entre estudiantes, profesores y personal. [4]

Reconociendo el potencial de la tecnología móvil para mejorar la experiencia educativa, la Universidad Nacional de La Pampa (UNLPam) a través del GIAU (Grupo de Investigación de Ambientes Ubicuos) se ha encauzado en el desarrollo de una aplicación móvil innovadora. [5]

La aplicación móvil que se exhibe tiene como objetivo cerrar la brecha de información dentro de la comunidad universitaria al proporcionar información y actualizaciones en tiempo real y relevantes de cada una de las unidades académicas de nuestra universidad. Esta plataforma centralizada servirá como un recurso invaluable para estudiantes, profesores y demás personal, manteniéndolos notificados sobre el acontecer diario: eventos, oportunidades académicas, actividades extracurriculares y crónicas transcendentales; al garantizar que todos estén conectados a la UNLPam móvil.

La aplicación móvil va más allá de la mera difusión de información; empodera a los estudiantes al proporcionarles contenido personalizado y facilitar conexiones con sus compañeros, profesores y personal. Este entorno interactivo los conduce a participar en discusiones, compartir ideas y colaborar en proyectos, fomentando un sentir comunitario.

La aplicación móvil es una demostración del poder transformador de la tecnología en la educación superior. Al integrar la tecnología móvil en la experiencia universitaria, la aplicación aborda una necesidad crítica de información oportuna y relevante, promueve el compromiso y la colaboración, y empodera a los educandos para prosperar académica y personalmente. Se plantea aprovechar el poder de la tecnología para mejorar la experiencia educativa y fomentar un entorno de aprendizaje profundamente conectado e informado.

Metodología

En el panorama educativo actual, la tecnología juega un papel fundamental en la configuración de la experiencia de aprendizaje. Reconociendo el potencial transformador de las aplicaciones móviles, la Universidad Nacional de La Pampa (UNLPam) ha emprendido el desarrollo de una aplicación móvil diseñada para mejorar la comunicación, promover el compromiso y enriquecer la experiencia universitaria; fundados en nuevos estudios sobre la utilización de dispositivos móviles en las universidades, alguno de los cuales sirvieron de inspiración para el presente trabajo. [6] [7]

Abordando la Necesidad de Información Oportuna y Relevante

La aplicación propuesta aborda una necesidad crítica dentro de la comunidad universitaria al proporcionar a estudiantes, profesores, directivos y demás actores que deambulan por la institución educativa, información oportuna y relevante de todas las unidades académicas. Esta plataforma centralizada, elimina la necesidad de suscripciones individuales a las listas de correo electrónico de cada unidad académica, lo que agiliza el acceso a la información. Además, la interfaz intuitiva y las funciones fácil de usar garantizan que todos los miembros de la comunidad universitaria puedan acceder y utilizar fácilmente este valioso recurso. Figura 1

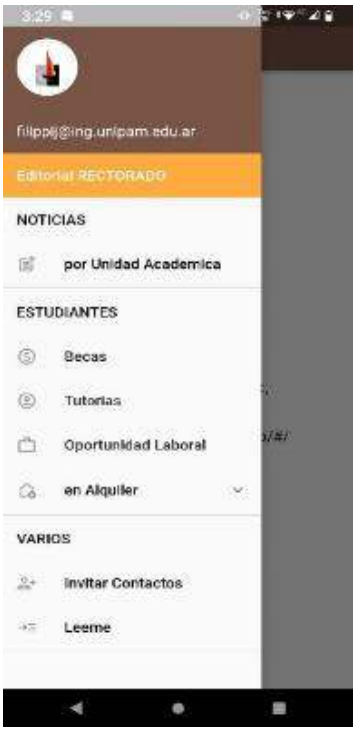


Figura 1. Menú principal de la aplicación.

Los dispositivos móviles se han convertido en una herramienta necesaria para los estudiantes, cambiando por completo el paradigma de la educación, desafiando la creatividad de los educandos con la investigación y aprendizaje autónomo, con una dinámica distinta, utilizando menos recursos físicos, con fácil acceso, uso y portabilidad, ofreciendo ventajas de comunicación, aprendizaje y desarrollo de destrezas. Con la nueva normalidad los medios que dan resultados para conectarse y organizar el tiempo ya no son vistos únicamente como medios para distraerse y comunicarse sino también para aprender. [8]

Mejora de la Comunicación y la Colaboración

La aplicación que se promueve sirve como un puente entre los diversos grupos de interés de la universidad, fomentando la comunicación y la colaboración entre facultades, departamentos y grupos de estudiantes. Al proporcionar una plataforma centralizada para la difusión de crónicas y anuncios de eventos, la aplicación promueve un sentido de comunidad y fomenta el compromiso interdisciplinario. Además, la función de notificaciones garantiza que los usuarios se mantengan informados sobre plazos importantes, oportunidades y próximos eventos. [9]

La aplicación móvil permite filtrar y visualizar las noticias catalogadas por Unidad Académica, y así, estar al tanto de todo lo que sucede en cada una. En las siguientes imágenes se observan las noticias que se distribuyen catalogadas en diferentes Unidades Académicas, por ejemplo, Facultad de Ingeniería, Facultad de Ciencias de la Salud, Facultad de Agronomía, Facultad de Ciencias Humanas, entre otras. Figuras 2 y 3

Figura 2 y 3. Unidades Académicas.

En la parte inferior derecha se observa un icono (home) solo visible para el encargado de gestionar la aplicación. Esta opción permite agregar nuevas unidades académicas que deseen crear su propio foro de noticias. Figura 4

Figura 4. Formulario para ingresar una nueva Unidad Académica.

Promoción del Aprendizaje y el Compromiso Personalizados

Más allá de la mera distribución de información; empodera activamente a los estudiantes permitiéndoles personalizar su experiencia. Los diferentes actores que transitan por la universidad pueden seleccionar las unidades académicas de su interés, asegurando que solo reciban información y notificaciones relevantes. Este enfoque personalizado fomenta un sentido más profundo de conexión con el campo de estudio de cada uno y alienta la participación activa en la vida académica.

Por ejemplo, la sección Biblioteca puede ser especialmente útil para los estudiantes, ya que pueden encontrar información selecta sobre el acceso a los materiales de estudio, referencias a contenidos digitales, horarios, acceso al campus virtual, y otros temas relacionados con la vida universitaria.

Para Arias Coello, Simón Blas y Simón Martín (2014) la biblioteca es un servicio estratégico ya que atiende las necesidades de los tres tipos básicos de usuarios: estudiantes, profesores e investigadores. [10]

Además, permite a los estudiantes que necesitan estar al tanto de eventos que se despliegan en la universidad, como conferencias, talleres y otras actividades extracurriculares. Mantenerse notificado sobre estos sucesos puede ayudar a los estudiantes a aprovechar al máximo su experiencia universitaria y a conectarse con otros estudiantes y profesores que comparten sus intereses. Figura 5.

Figura 5. Acceso a la Biblioteca Gral. Pico.

Ahorro de tiempo y acceso inmediato a la información

La aplicación móvil, además, representa una herramienta valiosa para optimizar el tiempo y el acceso a la información tanto para estudiantes como para docentes. La posibilidad de recibir novedades de la universidad de manera instantánea, sin necesidad de desplazarse físicamente, es un gran beneficio que agiliza la comunicación y mantiene a todos los actores de la comunidad educativa informados. A continuación, se exponen tres figuras que representan el flujo de información que se envía de cada Unidad Académica a los diferentes actores que transitan la universidad. A modo de ejemplo se exhibe la figura 6 y 7 que muestran las publicaciones efectuadas por Rectorado UNLPam y la Facultad de Ciencias Veterinarias respectivamente.

Figura 6 y 7. Noticias publicadas por Rectorado UNLPam y Facultad de Cs. Veterinarias.

La figura 7 muestra adicionalmente un icono (+) que no se observa en la figura 6. Esto sucede porque el usuario que está visualizando las noticias es además el editor responsable de las publicaciones para esa Unidad Académica, por ello en Figura 7 aparecen dos nuevos iconos, uno rojo, que permite borrar algunas de las publicaciones y el otro icono con un signo más (+), que permite agregar una nueva publicación. Figura 8.

Figura 8. Formulario para agregar una nueva publicación.

Fomentando la participación activa de los estudiantes.

Desde la perspectiva de un docente con experiencia en la educación contemporánea, esta aplicación, es una herramienta que permite fomentar la participación activa de los estudiantes en la vida universitaria. Su capacidad para conectar a los estudiantes con la información relevante, facilitar la comunicación y proporcionar espacios para la expresión individual y colectiva la convierte en un recurso fundamental para fortalecer el sentido de pertenencia y promover el desarrollo integral de los estudiantes. Les brinda además la oportunidad de expresar sus ideas, opiniones y propuestas a través de la creación de foros de noticias y la publicación de contenidos propios. Esta posibilidad de expresión individual y colectiva fomenta la creatividad, el pensamiento crítico y la participación activa en la vida universitaria. [11]

Los beneficios que obtiene tanto la universidad como los diferentes actores que transitan el ámbito académico son múltiples: la información es analizada en tiempo real en un dispositivo móvil, llega a todos los usuarios sin importar donde se encuentren físicamente, es un canal único sin el ruido de otros canales de comunicación, ofrece información segmentada por unidad académica asegurando que el contenido llega a los usuarios correctos, bajo costo, es una herramienta que impulsa la comunicación y el sentido de pertenencia en la comunidad universitaria. [12]

Superando la fragmentación de la información

La distribución de noticias por correo electrónico implica una fragmentación considerable, obligando a los usuarios a suscribirse individualmente a cada una de las Facultades de la UNLPam. Este sistema resulta inconveniente y tedioso, especialmente para aquellos que deseaban estar al tanto de las novedades en diversas áreas académicas (Rectorado, Facultades, Biblioteca, Centro de Estudiantes, etc.). Al centralizar las noticias en una única aplicación, la universidad elimina esta fragmentación y ofrece una experiencia de acceso a la información más fluida y eficiente.

De esta forma permite a los estudiantes personalizar su experiencia seleccionando las Unidades Académicas de su interés. Solo reciben notificaciones y visualizan las noticias relevantes para ellos, evitando la saturación con información no pertinente. Además, las notificaciones instantáneas sobre eventos importantes, convocatorias y novedades aseguran que los educandos estén siempre informados sobre las últimas noticias de la universidad. [13]

Accesibilidad para Todos

La aplicación móvil está comprometida con garantizar la accesibilidad para todos los usuarios. Incorpora un componente TextToSpeech (TTS) que convierte el texto escrito en voz natural, logrando que las noticias sean accesibles para personas con discapacidad visual. Esta función se alinea con los valores de inclusión y equidad que la Universidad Nacional de La Pampa resguarda, asegurando que todos los miembros de la comunidad puedan beneficiarse del rico contenido que se distribuye. [14]

Evaluación y Mejora Permanente

Para evaluar el impacto de la aplicación en la comunidad universitaria, se empleará un enfoque de evaluación de métodos mixtos. Este enfoque implicará la recopilación de datos cualitativos y cuantitativos a través de encuestas, entrevistas y análisis de uso. Los datos recopilados se analizarán para evaluar la efectividad de la aplicación para mejorar la comunicación, promover el compromiso y mejorar la experiencia universitaria en general. Con base en los hallazgos de la evaluación, la aplicación se depurará y actualizará con nuevas secciones para garantizar que satisfaga las necesidades cambiantes de la comunidad universitaria.

Conclusión

La implementación estratégica y efectiva de la aplicación móvil representa un salto cualitativo en la comunicación interna y la gestión de la información, impactando positivamente en la experiencia educativa de todos los miembros de la comunidad universitaria.

La aplicación móvil centraliza de manera eficiente las noticias, eventos y actividades de todas las Unidades Académicas en una única plataforma, eliminando la fragmentación de la información y facilitando el acceso a la misma de forma rápida y sencilla. Esta centralización permite a los usuarios, a través de notificaciones personalizadas y una interfaz intuitiva, estar siempre informados sobre las últimas novedades de la universidad, desde eventos académicos y conferencias hasta oportunidades de becas, convocatorias a concursos y actividades culturales.

Brinda además la posibilidad de crear secciones específicas (Centro de Estudiantes) donde los estudiantes pueden publicar anuncios sobre clubes estudiantiles, grupos de estudio o proyectos de investigación en los que estén interesados. Esta funcionalidad fomenta la formación de comunidades temáticas dentro de la aplicación, facilitando el encuentro de personas con intereses similares y creando un espacio para el intercambio de ideas, la colaboración y el desarrollo de proyectos conjuntos.

La aplicación no se limita al ámbito académico, sino que también busca enriquecer la experiencia universitaria en su conjunto. La aplicación incluye secciones dedicadas a la promoción de eventos sociales y culturales, como conciertos, exposiciones, obras de teatro o proyecciones de cine organizadas por la universidad. Esta función permite a los estudiantes descubrir y participar en actividades que fomentan el sentido de comunidad, el intercambio cultural y el esparcimiento, contribuyendo a un desarrollo integral de los estudiantes más allá del aula. [15]

En conclusión, la aplicación móvil se presenta como una herramienta de gran valor para la Universidad Nacional de La Pampa, al fortalecer la conectividad entre los diferentes actores, fomentar la participación activa, facilitar el acceso a la información y recursos académicos.

Su implementación, acompañada de estrategias adecuadas de promoción, capacitación y evaluación, tiene el potencial de enriquecer la experiencia educativa de la comunidad universitaria y posicionar a la Universidad Nacional de La Pampa como una institución comprometida con el desarrollo integral de sus estudiantes.

Si bien el presente artículo no tiene como objetivo profundizar en los aspectos técnicos de la aplicación móvil de la Universidad Nacional de La Pampa, es importante destacar que su desarrollo se ha basado en tecnologías de vanguardia que garantizan su eficiencia, escalabilidad y seguridad.

La aplicación se ha desarrollado utilizando Flutter, un framework de código abierto creado por Google para la creación de interfaces de usuario nativas. Esta tecnología permite construir aplicaciones móviles con una única base de código, lo que reduce significativamente los tiempos de desarrollo y garantiza una experiencia de usuario consistente en diferentes dispositivos, independientemente del sistema operativo que utilicen (Android o iOS).

Para la gestión de datos y la comunicación con el servidor, la aplicación utiliza Firebase, una plataforma en la nube desarrollada por Google. Firebase ofrece una amplia gama de servicios, incluyendo bases de datos, autenticación, almacenamiento de archivos y análisis, que permiten a la aplicación funcionar de manera eficiente y segura. La escalabilidad de Firebase garantiza que la aplicación pueda adaptarse al crecimiento de la comunidad universitaria sin comprometer su rendimiento.

La elección de Flutter y Firebase como tecnologías base para el desarrollo de la aplicación móvil demuestra el compromiso de la Universidad Nacional de La Pampa con la innovación y la adopción de herramientas tecnológicas de vanguardia. En el futuro, se espera que GIAU (Grupo de

Investigacion de Ambientes Ubicuos) perteneciente a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Pampa, profundice en la exploración del potencial de estas tecnologías para mejorar aún más la funcionalidad y la experiencia del usuario de la aplicación.

Bibliografía

[1] Red de Universidades ANAHUAC. (2019). La influencia de la tecnología en nuestra vida cotidiana. Recuperado de https://www.anahuac.mx/generacion-anahuac/la-influencia-de-la-tecnologia-en-nuestra-vida-cotidiana

[2] Tonon G. (2012). Las relaciones universidad-comunidad: un espacio de reconfiguración de lo público. POLIS [en linea], 32 | 2012. Recuperado de https://journals.openedition.org/polis/6691

[3] Smith, J. (2019). Impacto de las nuevas tecnologías en la sociedad. Revista de Estudios Tecnológicos, 15(2), 45-60.

[4] Jones, A., Brown, K., & Johnson, M. (2020). Transformación social a través de los dispositivos móviles. Journal of Communication Technology, 25(3), 120-135.

[5] Ruíz Rivera M.E., Dávila G.T., Lizama E.R. (2021). Diseño y desarrollo de un aplicativo móvil educativo para optimizar la comunicación e interacción entre los miembros de las instituciones educativas en tiempo real. Recuperado de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810-99932021000100277&script=sci_arttext

[6] Fernández Muñoz C., García F. (2016). The use of mobile phones as tools for access and knowledge exchange by students in Spain when studying. Revista Prisma Social. Nº Especial 1, 190-208. Recuperado de http://revistaprismasocial.es/article/view/1318/1382

[7] Hernández Ramos, J. P., Martínez Abad, F. (2017). El empleo del Smartphone en el aula universitaria como herramienta para la gamificación de la docencia. Blog Conference Edunovatic 2017, 2nd Virtual International Conference on Education, Innovation and ICT. Recuperado de https://cutt.ly/Deu6ylV

[8] Osorio-Arrascue, E. D., Malpartida Gutiérrez, J. N., Ávila Morales, H., & Valenzuela Muñoz, A. (2021). Aplicaciones móviles: incorporación en procesos de enseñanza en tiempos de covid-19 [Mobile applications: incorporation into teaching processes in times of covid-19]. Revista Venezolana De Gerencia, 26(93), 65-77. Recuperado de https://doi.org/10.52080/rvg93.06

[9] Paredes-Parada, W. (2019). Brecha en el uso de tecnologías de la información y comunicación (TIC) básicas y modernas entre estudiantes y docentes en universidades ecuatorianas. Revista Educación,43(1). Recuperado de https://doi.org/10.15517/revedu.v43i1.27423

[10] Arias Coello, A., Simón Blas, C., y Simón Martín, J. (2014). Competencias profesionales de los postgraduados en el Máster de Gestión de la Documentación, Bibliotecas y Archivos desde la perspectiva de empleadores, estudiantes y profesores. Revista española de Documentación Científica, 37 (3). doi: https://doi.org/10.3989/redc.2014.3.1121

[11] Ventosa, V. J. (2016). Didáctica de la participación. Teoría, metodología y práctica. Madrid: Narcea. Recuperado de https://www.perlego.com/es/sign-up

[12] TWEEM. (2021). Porque las empresas eligen las aplicaciones de comunicación interna. Recuperado de https://tweem.com/detalle-noticia/dynacontent/por-que-las-empresas-eligen-las-aplicaciones-de-comunicaci-n-interna-.html

[13] Zendesk. (2023). Automatización de procesos y sus beneficios. Recuperado de https://www.zendesk.com.mx/blog/automatizacion-de-procesos/

[14] Pawar, S. S., Gawade, S. V. (2016). Mobile Application Accessibility for Visually Impaired People. International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering, 4(4), 1236-1241.

[15] Mato D. (2019). Repensar las universidades a partir de su vínculo con la sociedad. Recuperado de https://www.conicet.gov.ar/75618-2/

SOFTWARE DE CONTROL Y PROCESAMIENTO PARA UN SISTEMA DE MEDICIÓN DE FUNCIONES DE TRANSFERENCIA DE CABEZA INDIVIDUALES

Catalina Benegas[1], R. Martín Guido[1], G. Agustín Cravero[1], Fermin Scaliti[1], Fabián C. Tommasini[1*]

[1] Centro de Investigación y Transferencia en Acústica (CINTRA), CONICET, Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Córdoba, Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina.
* ftommasini@frc.utn.edu.ar

Resumen

El audio inmersivo tridimensional se utiliza actualmente en muchas áreas, que van desde la realidad virtual hasta investigaciones en audición binaural. Para lograr el audio 3D se aplica la técnica de síntesis binaural, que utiliza filtros que incluyen todas las claves auditivas que permiten localizar una fuente sonora en el espacio. Estos filtros son conocidos como funciones de transferencia de cabeza (head-related transfer functions, HRTFs) y se deben obtener, idealmente, de las mismas personas que utilizarán la aplicación de audio inmersivo (HRTFs individuales), o bien, a partir de una cabeza maniquí (HRTFs genéricas). Estos filtros no solo varían con el individuo, sino que también lo hacen con la posición espacial. Por esto, la adquisición de un conjunto de HRTFs se realiza mediante complejos sistemas de medición de múltiples altavoces especialmente diseñados. Este es uno de los principales factores limitantes para su uso generalizado. Solo existen aproximadamente 10 sistemas de medición alrededor del mundo, y están ubicados en EE.UU., Europa y Asia. En el CINTRA, CONICET, UTN FRC, Argentina, se construyó el primer sistema para medir HRTFs individuales de Latinoamérica. Este sistema, llamado AONI, es capaz de obtener hasta 11520 HRTFs de diferentes posiciones espaciales. Consta de hardware especializado, siendo algunos de desarrollo propio, como un arco soporte de 32 altavoces, una plataforma rotativa y un dispositivo demultiplexor-amplificador de audio; y también de un software de control y procesamiento. Este trabajo presenta la nueva versión de dicho software, llamada AONIpy, el cual permite administrar y automatizar completamente el sistema, reduciendo el tiempo necesario para el proceso de medición. Fue escrito completamente en Python y se compone de siete módulos. Los resultados demostraron que AONIpy permitió disminuir significativamente los tiempos de medición con respecto a la versión anterior. Además, estos valores se compararon con otros sistemas existentes de características similares.

Palabras clave: HRTF, Python, Audio inmersivo

Introducción

La tecnología binaural es un conjunto de técnicas de grabación, almacenamiento y/o reproducción de dos señales sonoras de manera que provean una impresión espacial tridimensional al ser escuchadas por un oyente (Paul, 2009). Permite crear una imagen auditiva virtual de una fuente sonora real cuando son reproducidas mediante auriculares, logrando una inmersión en un espacio tridimensional. Este audio inmersivo 3D se utiliza actualmente en muchas áreas, que van desde desarrollos con realidad virtual hasta investigaciones en audición binaural. Para generarlo se aplica la técnica de síntesis binaural, que utiliza filtros que incluyen todas las claves auditivas que ayudan a localizar una fuente sonora en el espacio. Esto filtros son las llamadas funciones de transferencia de cabeza (head-related transfer functions, HRTFs) en el dominio de la frecuencia, o las respuestas impulsivas de cabeza (head-related impulse responses, HRIRs) en el dominio del tiempo (Guido et al., 2019). Una señal monoaural anecoica (libre de reflexiones) puede ser filtrada por estas funciones para obtener una señal binaural, la cual contendrá toda la información necesaria para que un oyente perciba una fuente sonora virtual en una posición específica del espacio (Kleiner et al., 1993; Middlebrooks, 1999; Wightman & Kistler, 1989).

Las HRTFs se generan por la dispersión que la onda sonora produce al incidir en el cuerpo humano, especialmente en la cabeza y en los pabellones auriculares. Esto implica que son únicas para cada individuo, debido a que la transformación depende de su propia anatomía (Li & Peissig, 2020).

Además, varían con la posición espacial de la fuente sonora. Sin embargo, para realizar simulaciones de entornos acústicos virtuales es más extendido el uso de HRTF *no-individuales* o *genéricas* (medidas a una persona diferente que la que está realizando la escucha o a una cabeza maniquí). Esto suele producir serias distorsiones perceptuales, como confusiones delante-detrás y errores de elevación (Wenzel et al., 1993). Dichos errores se ven reducidos al utilizar HRTFs *individuales*, es decir, medidas al propio individuo que luego escuchará la simulación. Se ha demostrado que la precisión para localizar una fuentes sonora virtual simulada con HRTFs individuales es muy similar a hacerlo con fuentes reales (Hartmann & Wittenberg, 1996; Kulkarni & Colburn, 1998; Langendijk & Bronkhorst, 2000; Zotkin et al., 2006).

El uso extendido de HRTFs genéricas se debe a que la obtención de medidas individuales es un proceso complejo. Una de las principales limitantes en su uso generalizado en aplicaciones de tecnología binaural es que la obtención de un conjunto de HRTFs individuales con alta resolución debe realizarse en un tiempo prudencialmente corto. Esto se debe a que los participantes deben permanecer inmóviles durante la medición. Para cumplir con este requisito, es necesario el uso de complejos y costosos sistemas de medición que son construidos ad-hoc. En el mundo, solo existen aproximadamente 10 sistemas de medición de este tipo, automatizados y con múltiples altavoces. Se encuentran ubicados principalmente en EE. UU., Europa y Asia.

Desde hace varios años, en el CINTRA, CONICET, UTN FRC, se está investigando sobre HRTFs individuales y en la posibilidad de construir un sistema para medirlas. El primer desarrollo que se realizó poseía un solo altavoz, era de operación manual (Tommasini et al., 2017) y poseía tiempos de medición elevados que lo hacían inviable para obtener HRTFs de personas con alta resolución. Luego, se comenzó con un nuevo diseño multi-altavoz y con capacidad de automatización. Este nuevo sistema de medición, llamado AONI, terminó siendo una herramienta única en su tipo en Argentina y en Latinoamérica, y está compuesto por diferentes dispositivos de hardware, como así también de un software de control y procesamiento (Guido et al., 2023).

No obstante, dicho software inicialmente estaba constituido por diferentes aplicaciones heredadas que limitaban la automatización del sistema y, de esta manera, la reducción de los tiempos para medir. En este trabajo se presenta una nueva versión del software de control y procesamiento, el cual fue reescrito completamente para lograr una mejora sustancial en la duración de las sesiones de medición.

Sistema de medición de HRTFs individuales: AONI

El hardware del sistema de medición se compone principalmente de un arco soporte de altavoces, un dispositivo demultiplexor-amplificador (llamado AuDemux) conectado a una interfaz de sonido que permite administrar independientemente 32 altavoces, micrófonos binaurales, una plataforma rotativa para el movimiento angular de los participantes, y sensores para el monitoreo de movimientos de estos. El arco de soporte y la plataforma rotativa se encuentran montados en una cámara semi-anecoica (un recinto parcialmente libre de reflexiones acústicas) (Fig. 1a), contigua a una sala de control donde se aloja el resto del hardware y se opera al sistema (Fig. 1b).

El arco semicircular vertical cubre un ángulo de 137.95º, mide 1.05 m de radio y está sostenido por un brazo de soporte fijo metálico (Mendez et al., 2020). Está compuesto de 32 cajas acústicas distribuidas cada 4.45º (desde -53.40º hasta 84.55º en el plano vertical) específicamente diseñadas para obtener una respuesta en frecuencia relativamente plana (±4 dB entre 200-20000 Hz) (Cravero et al., 2020). En cada una de estas cajas acústicas se ubicó un altavoz AuraSound NSW1-205-8A de 1” de rango extendido.

(a) (b)

Fig. 1. (a) Sistema de medición en cámara semi-anecoica, y (b) dispositivos de hardware que se encuentran en la sala de control.

Para la reproducción de las señales de excitación, los altavoces no requieren ser activados de manera simultánea, por lo cual se administran a partir de cuatro canales utilizando el AuDemux (Scaliti et al., 2019). Este dispositivo contiene una placa demultiplexora por canal, que se encarga de realizar la demultiplexación (mediante circuito integrado Nexperia 74HC4051) y la amplificación (mediante amplificadores Texas Instruments TPA3118D2) de las señales de audio. Cada placa posee 8 salidas, logrando un total de 32 salidas de potencia. Consta también de una placa auxiliar que contiene un módulo microcontrolador Espressif Systems ESP32 donde se encuentra embebido el software de control del dispositivo (Scaliti et al., 2020). El AuDemux está conectado a una interfaz de sonido profesional PreSonus Studio 26, de 4 canales de salida y 2 de entrada.

La captura de audio es posible realizarla de dos formas, según sea necesario medir un simulador de cabeza y torso (head and torso simulator, HATS) o una persona. En el primer caso, se utilizan los micrófonos internos del HATS Brüel & Kjaer 4128 directamente conectados a las entradas de la interfaz PreSonus. En el segundo caso, en su lugar se utiliza una placa de adquisición DAQ NI 9234 de National Instruments, que captura señales de micrófonos binaurales Brüel & Kjaer 4101 mediante tecnología CCLD (Constant Current Line Drive) compatible con IEPE (Integrated Electronics Piezo Electric).

Una plataforma rotativa controlable desarrollada en el CINTRA fue adaptada para su utilización en el sistema de medición (Ferreyra et al., 2017; Mendez et al., 2021). Está formada por una base circular superior y una inferior realizadas en MDF (Medium Density Fibreboard), un motor paso a paso conectado a un reductor mecánico, un sistema mecánico de deslizamiento, y una unidad de potencia y control. Esta plataforma permite el giro azimutal del participante para la realización de mediciones alrededor de toda su cabeza. A partir de la resolución de 1º que posee (360 posiciones en azimut) y los 32 altavoces del arco vertical, AONI es capaz de obtener hasta 11520 HRTFs de diferentes posiciones espaciales.

Los movimientos de la cabeza del participante son monitoreados durante la sesión de medición. Se utilizan un par de sensores inerciales Movella MTw Awinda montados sobre una vincha que lleva el participante. Además, se utiliza una cámara de video para que el operador supervise la sesión desde la sala de control.

Aplicaciones y librerías heredadas

Previamente, el sistema funcionaba con una alta tasa de intervención del operador. Su trabajo consistía en administrar manualmente un conjunto de diferentes aplicaciones heredadas y desarrolladas en diferentes lenguajes de programación, donde cada una se encargaba de una parte o dispositivo del sistema.

Por un lado, se utilizaba una modificación del software abierto ScanIR v2 de la Universidad de Nueva York (Vanasse et al., 2019) escrito en Matlab para realizar las mediciones mediante la interfaz PreSonus; una librería propia en Python para el control del dispositivo AuDemux; el software SAMSoft programado en Matlab para el control de la plataforma rotativa (Ferreyra et al., 2018), y el paquete comercial MT Software Suite 2022.2 for Awinda para el monitoreo de los movimientos de cabeza.

Nuevo software de control y procesamiento: AONIpy

Con el objetivo de unificar las funcionalidades, automatizar el sistema, liberar de carga al operador y reducir el tiempo necesario para el proceso de medición, se trabajó en desarrollar desde cero un nuevo software de control y procesamiento para administración y automatización completa del sistema, el cual llamamos AONIpy.

AONIpy permite configurar una sesión de medición y automatizar de forma completa el proceso de obtención de HRTFs individuales. Este nuevo software está diseñado de manera modular para encapsular las distintas funcionalidades y minimizar las dependencias entre ellas, lo que facilita la escalabilidad y el mantenimiento del sistema. Está escrito íntegramente en lenguaje Python 3.10 y, aunque fue desarrollado y testeado bajo sistema operativo Linux con un kernel de baja latencia, tiene la característica de ser multiplataforma.

Como se muestra en la Fig. 2, está compuesto por siete módulos: a) control de la plataforma rotativa; b) control del dispositivo demultiplexor-amplificador; c) control de entrada y salida de audio; d) procesamiento de mediciones; e) monitoreo de movimientos; f) administrador de sesión, e g) intérprete de comandos. Los módulos trabajan en conjunto y se comunican con el hardware de AONI para generar una base de datos de HRTF por cada sesión de medición.

Control de plataforma rotativa

El control de la plataforma rotativa se realiza mediante comandos específicos enviados por puerto USB, con el que se interactúa mediante la librería *pyserial* v3.5. Este módulo permite manipular al motor determinando la cantidad de pasos a girar, como también el sentido del movimiento. Convierte la información de grados azimutales a pasos, y brinda la posibilidad de indicar el ángulo de giro tanto de manera relativa como absoluta. Mediante la rotación relativa se puede indicar el sentido de rotación con el signo del ángulo (positivo para rotar en sentido horario y negativo para sentido antihorario). Al utilizar la rotación absoluta, el software detecta el sentido de giro óptimo para llegar a la posición deseada.

Además, tiene otras funcionalidades, como determinar la posición actual de la plataforma tanto en pasos como en grados, realizar pruebas de conexión y controlar si la plataforma se encuentra en movimiento.

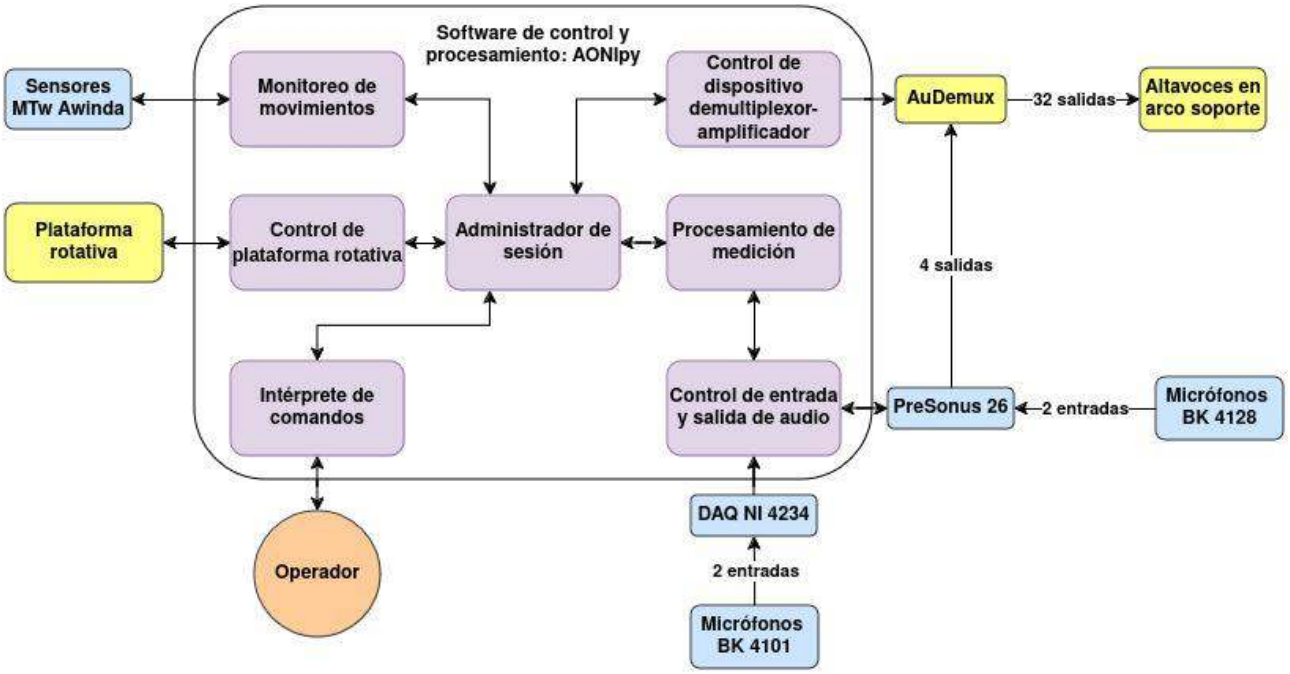


Fig. 2. Diagrama de AONI con los módulos de software de AONIpy (en el recuadro). Fuera del recuadro se muestran los dispositivos de hardware externos. En color amarillo se resaltan los desarrollos de hardware realizados en el CINTRA.

Control de dispositivo demultiplexor-amplificador

Este módulo realiza la conexión y el control del dispositivo demultiplexor-amplificador AuDemux a través de una conexión USB.

Se comunica a través de un protocolo propio que permite activar y desactivar canales de salida. Dichos canales se encuentran conectados a los altavoces. Es posible la activación o desactivación de hasta cuatro altavoces en simultáneo.

Control de entrada y salida de audio

La conexión con los dispositivos de entrada y salida (E/S) de audio es gestionada por este módulo. Los dispositivos son tratados de manera independiente, es decir, permite utilizar dispositivos diferentes para reproducir y para capturar las señales de medición. También la cantidad de canales de entrada y de salida a utilizar es parametrizable.

Para la salida del audio se utiliza la placa de sonido PreSonus Studio 26, que se encuentra conectada al dispositivo AuDemux, y luego al arco soporte que contiene los altavoces.

La adquisición de la señal de audio puede realizarse utilizando la nombrada interfaz de sonido, o bien utilizando el DAQ NI 9234 de National Instruments, que captura señales de unos micrófonos binaurales Brüel & Kjaer 4101. El dispositivo de entrada se selecciona desde un archivo de configuración y el funcionamiento resultante es transparente al operador.

La gestión de la E/S de la interfaz de sonido se realiza mediante el paquete *sounddevice* v0.4.6 (Geier, 2015/2024). Para la captura mediante el DAQ se utiliza el paquete *nidaqmx* v0.8.0 para Python provisto por el fabricante, el cual contiene una API (Application Programming Interface) para interactuar con el controlador NI-DAQmx v2023 Q4. Las señales de E/S son manejadas como *arrays* del paquete científico *NumPy* v1.26.2 (Harris et al., 2020).

Procesamiento de medición

Este módulo controla la medición para una posición: a partir de una frecuencia de muestreo determinada genera la señal de excitación de barrido sinusoidal exponencial (e-sweep) (Farina, 2000) con un rango de frecuencias (usualmente entre 200 y 22000 Hz) y una duración configurables. Luego, se comunica con el módulo de control de E/S de audio para su reproducción y captura simultánea, y realiza el posprocesamiento de la medición para la obtención de la HRIR y la HRTF en dicha posición. Cada medición se almacena en formato WAVE.

Este módulo está basado en los paquetes *pyfar* v0.6.1 (Brinkmann et al., 2020/2024), *SciPy* v1.11.4 (Virtanen et al., 2020) y *NumPy*.

Monitoreo de movimientos

Procesa la información enviada por un par de sensores Movella MTw Awinda con el objetivo de monitorear el movimiento de la cabeza de la persona participante durante la sesión de medición. En caso de un movimiento mayor a un umbral predeterminado (usualmente ±2º) con respecto a la posición de medición actual, el sistema notifica al operador y permite repetir dicha medición.

Para la adquisición de datos crudos de los sensores inerciales se utiliza la API *XSensDevice*, v2022.2.0, provista por el fabricante. Luego se realiza un procesamiento para la calibración inicial y la detección de los umbrales. También este módulo brinda una realimentación visual acerca de la orientación que posee la cabeza.

Administrador de sesión de medición

El módulo administrador de sesión gestiona todo el proceso de medición para la creación de la base de datos de HRTFs individuales resultante de la sesión de medición. Se encarga de administrar la ejecución de los módulos anteriormente mencionados.

En primer lugar, elabora un plan de medición combinando las posiciones en azimut y elevación que se desean medir declaradas en el archivo de configuración. En este mismo archivo, de formato TOML (administrado por el paquete *toml* v0.10.2), se establecen los dispositivos de E/S seleccionados, la calibración de la cadena electroacústica y los parámetros para la grabación de las mediciones. Este plan de medición es almacenado en un *dataframe* de *pandas* v2.1.3 (McKinney, 2010) y contiene información de la secuencia de mediciones a realizar en la sesión, como por ejemplo, la posición del altavoz, el ajuste de ganancias y el archivo final donde se almacena la HRIR en cada punto. Las mediciones se ejecutan de manera secuencial, siguiendo este plan.

Una vez finalizado el proceso de medición, la base de datos de HRTFs individuales generada junto con toda la información de la sesión es almacenada en una carpeta específica.

Intérprete de comandos

El software permite la interacción con el operador a través de un intérprete de comandos, desarrollado en base al paquete *cmd2* v2.4.3.

Permite indicar el archivo de configuración de mediciones de formato TOML mencionado anteriormente y darle inicio al proceso utilizando el comando `run`. Durante la medición, se permite su monitoreo, como también la visualización de las HRIRs y HRTFs que se están obteniendo, la comprobación de presencia de errores, o la interrupción de la sesión de medición en caso de ser necesario.

También es posible interactuar de forma independiente con todos los dispositivos de hardware, a través de comandos específicos, como, por ejemplo, rotación relativa (comando `rotatein`) o absoluta (`rotateto`) de la plataforma y la activación o desactivación de altavoces a través del AuDemux, (`activatesp`).

Además, este módulo permite graficar mediciones ya realizadas mediante el comando `plot`. A modo de ejemplo, en la Fig. 3 se puede observar la HRIR (dominio del tiempo) y la correspondiente HRTF (dominio de la frecuencia) de una señal binaural obtenida, para la posición 0º de azimut y 44.5º de elevación.

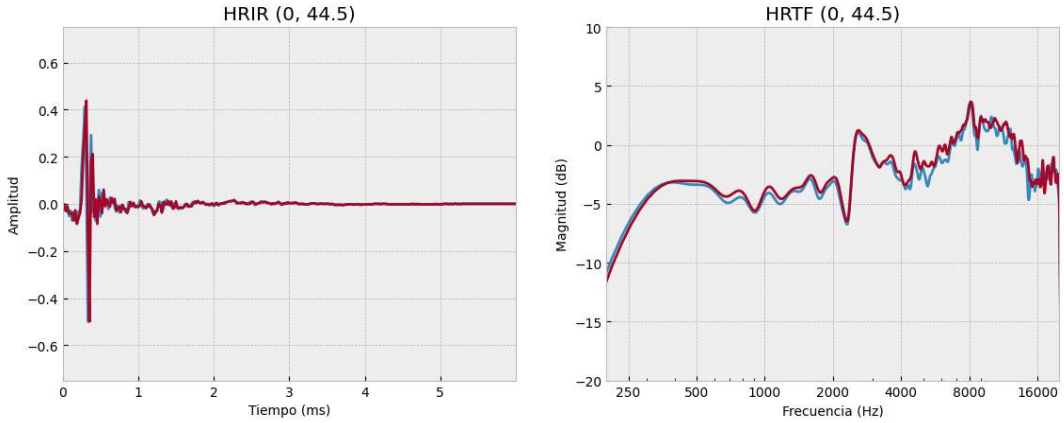


Fig. 3. Ejemplo de HRIR y HRTF para posición (0º, 44.5º) medidas y graficadas por AONIpy.

Resultados

Comparación de tiempos de medición con versión anterior

Con fines de evaluar los tiempos de medición, se planificó una base de datos de HRTFs medida a un HATS Brüel & Kjaer 4128. Está compuesta por 2304 puntos de medición, distribuidos en 32 posiciones de elevación (desde -53.40º hasta 84.55º, con una diferencia de 4.45º entre posiciones) y 72 posiciones azimutales (con una resolución de 5º), a un radio de 1.05 m del centro de la cabeza (Fig. 4). Como señal de excitación se utilizó el método de e-sweep, entre un rango de frecuencias de 200 Hz a 22000 Hz y una duración de 1500 ms.

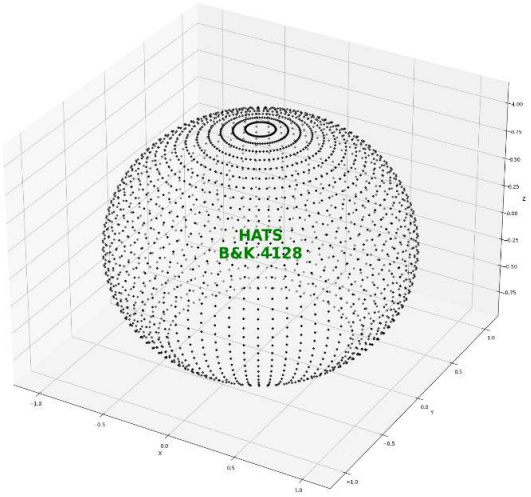


Fig. 4. Esfera con los 2304 puntos de medición de la base de datos de HRTFs.

Para construir esta base de datos la versión de software anterior consumió un total de aproximadamente 500 minutos (8.33 horas), dando un promedio de 13 s por punto de medición. El proceso de medición se realizó en tres sesiones con pausas debido a su extensión.

Con el nuevo software AONIpy, se generó la misma base de datos con las mismas características en un tiempo de 88 min en una única sesión con pausas. Se logró un tiempo de medición promedio de 2.3 s por punto. Esto constituye una reducción considerable, haciendo que el nuevo software acelere los tiempos en una proporción de 5.6x.

Comparación de tiempos de medición con otros sistemas

El rendimiento del sistema de medición AONI se comparó con el de otros sistemas de medición de HRTFs individuales de características similares, esto es, que sean de adquisición automatizada, con múltiples parlantes y de resolución ajustable de los puntos de medición mediante pasos discretos de rotación en azimut. Debido a la alta variabilidad en las resoluciones de los diferentes sistemas, se utilizó el tiempo promedio por punto de medición como valor de comparativa.

En la Tabla 1 se muestran aquellos sistemas que cumplen con el criterio mencionado y posean datos publicados sobre los tiempos de medición. Se detalla el laboratorio y el país donde se encuentra el sistema, la cantidad de altavoces que posee, la resolución en azimut y la cantidad de posiciones de medición. Además, se indica la señal de excitación que utiliza, el tiempo total de medición y la estimación del tiempo promedio por posición.

Tabla 1. Comparativa de rendimiento de sistemas de medición de HRTFs individuales seleccionados.

Laboratorio	Altavoces	Azimut	Posiciones	Señal de excitación	Tiempo total	Tiempo por posición	Referencia
ARI, Austria	22	Δ2.5º - Δ5º	1550	Múltiple e-sweep (1729 ms)	20 min	0.8 s	Majdak et al. (2010)
RIEC, Tohoku University, Japón	35	Δ5º	865	OATSP (170 ms)	60 - 90 min	4.2 - 6.2 s	Watanabe et al. (2014)
IRCAM, Francia	4	Δ6º	1680	E-sweep (683 ms)	90 min	3.2 s	Carpentier et al. (2014)
IHTA, RWTH Aachen University, Alemania	64	Δ10º	2304	Múltiple e-sweep (657 ms)	7 - 8 min	0.2 s	Richter et al. (2016)
Acoustic Laboratory, SCUT, China	30	Δ5º	685	E-sweep	20 min	1.8 s	Yu et al. (2018)
AXD, Imperial College London, Reino Unido	23	Δ5º	793	Múltiple e-sweep (500 ms)	5 min	0.4 s	Engel et al. (2023)

En la Fig. 5 se muestran los tiempos estimados por medición de los sistemas mencionados junto al de AONI utilizando AONIpy (marcado con recuadro negro). Los diferentes colores indican los diferentes métodos de excitación.

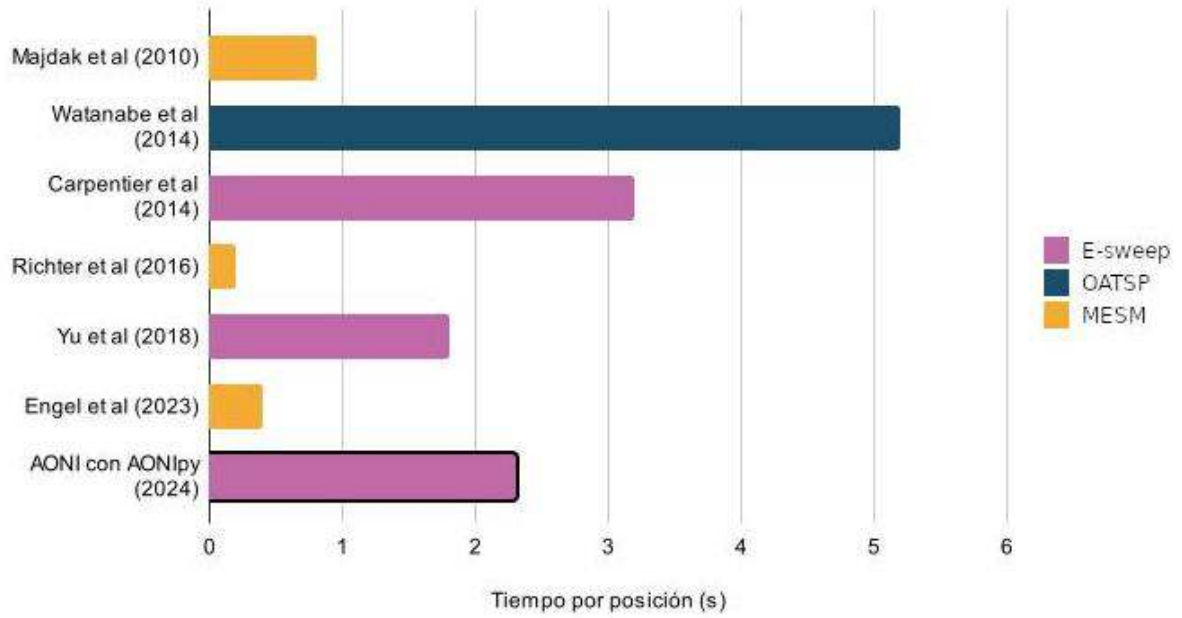


Fig. 5. Comparación de tiempos de medición por posición según el método de excitación.

Se puede observar que el que mayor tiempo por posición posee es el sistema del laboratorio RIEC (Japón) (Watanabe et al., 2014), con un tiempo de medición de entre 4.2 y 6.2 s. Utiliza una señal de excitación poco convencional conocida como OATSP (Optimized Aoshima's Time Stretched Pulse) (Suzuki et al., 1995).

Los sistemas que utilizan e-sweep como el de Acoustic Laboratory (China) (Yu et al., 2018) y el de IRCAM (Francia) (Carpentier et al., 2014), tienen tiempos de medición por punto que varían entre 1.8 y 3.2 s respectivamente. Los valores alcanzados por AONI utilizando AONIpy se encuentran también dentro de este rango, haciéndolo viable para la obtención de HRTFs en personas.

Existen sistemas con tiempos de medición por punto menores al segundo, como es el caso de los sistemas de ARI (Austria) (Majdak et al., 2010), IHTA (Alemania) (Richter et al., 2016) y AXD (Inglaterra) (Engel et al., 2023). La razón principal es el método de excitación que utilizan: método de barrido exponencial múltiple (Multiple Exponential Sweep Method, MESM) (Majdak et al., 2007). Esta técnica es más compleja de implementar, pero permite reducir los tiempos de medición por punto a menos del largo del e-sweep. Para lograrlo realiza un intercalado y una superposición de e-sweeps de una manera optimizada. De esta manera, se presentan las señales de excitación de manera casi simultánea.

Conclusiones

Se ha desarrollado un software de control y procesamiento (AONIpy) para automatizar las funcionalidades del sistema de medición AONI y optimizar los tiempos necesarios para realizar mediciones de conjuntos de HRTFs individuales de alta resolución espacial. Su implementación significó una mejoría en términos de carga del operador y de rendimiento en comparación con el software que se utilizaba anteriormente, el cual constaba de aplicaciones y librerías heredadas.

Para construir una base de datos de HRTFs de 2304 puntos de medición (32 posiciones de elevación y 72 de azimut) utilizando una señal e-sweep de 1500 ms como método de excitación, AONIpy tardó prácticamente un sexto del tiempo que la versión anterior. Considerando los tiempos

de medición promedio por punto, nuestro sistema posee un valor comparable (2.3 s) con otros sistemas similares que utilizan la misma técnica de excitación para obtener HRTFs individuales. Esto lo hace aceptable para la obtención de mediciones en personas.

Es importante considerar que aún es posible lograr optimizaciones para reducir estos tiempos de medición. Como trabajo a futuro, se pretende evaluar la reducción de la longitud de la señal de excitación y los tiempos de espera entre altavoces. Además, la aplicación de técnicas más rápidas de obtención de HRTFs como MESM también podría ser implementada, dado que el diseño de los componentes de hardware de AONI lo soportaría (activación de hasta 4 altavoces en simultáneo, por ejemplo). Por último, sería importante incorporar la funcionalidad de almacenar las bases de datos en formato SOFA (Spatially Oriented Format for Acoustics) (Majdak et al., 2013), para adherir con el estándar AES69-2022 establecido por la AES (Audio Engineering Society) (AES Standard, 2022).

Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por la Universidad Tecnológica Nacional, Argentina (PID 8663); y la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Provincia de Córdoba, Argentina (proyecto Jóvenes en Ciencia 0279-012610/2022).

Referencias

AES Standard. (2022). AES69-2022: AES standard for file exchange—Spatial acoustic data file format. https://www.aes.org/publications/standards/search.cfm?docID=99

Brinkmann, F., Berzborn, M., Kersten, S., & Heimes, A. (2024). Pyfar [Python]. pyfar. https://github.com/pyfar/pyfar (Obra original publicada en 2020)

Carpentier, T., Bahu, H., Noisternig, M., & Warusfel, O. (2014, septiembre). Measurement of a head-related transfer function database with high spatial resolution. 7th Forum Acusticum(EAA). https://hal.science/hal-01247583

Cravero, G. A., Tommasini, F. C., Guido, R. M., & Scaliti, F. (2020). Diseño de caja acústica para sistema de medición de funciones de transferencia de cabeza. 117-118.

Engel, I., Daugintis, R., Vicente, T., Hogg, A., Pauwels, J., Tournier, A., & Picinali, L. (2023). The SONICOM HRTF Dataset. Journal of the Audio Engineering Society, 71, 241-253. https://doi.org/10.17743/jaes.2022.0066

Farina, A. (2000). Simultaneous Measurement of Impulse Response and Distortion With a Swept-Sine Technique.

Ferreyra, S. P., Moreno, A. M., Budde, L., Novillo, D., Cravero, G. A., Longoni, H. C., López, J. F., Morales, J. I., Tommasini, F. C., & Ramos, O. A. (2018). SAMSoft: Acoustical devices automatic measurement system software. Proceedings of Meetings on Acoustics, 28(1), 055009. https://doi.org/10.1121/2.0000776

Ferreyra, S. P., Moreno, A. M., Morales, J. I., Novillo, D. A., López, J. F., Gelerstein, S. I., Simes, J. Y., Rametta, J., Cravero, G. A., & Gilberto, L. G. (2017). Diseño de plataforma rotativa para medición de dispositivos acústicos. XXIII Congreso de Métodos Numéricos y sus Aplicaciones (ENIEF) (La Plata, noviembre 2017). http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/94199

Geier, M. (2024). Sounddevice [Python]. spatialaudio.net. https://github.com/spatialaudio/python-sounddevice (Obra original publicada en 2015)

Guido, R. M., Pucheta, M. A., Tommasini, F. C., Vergara, R. O., & Scaliti, F. (2019). Sistemas de Medición de HRTFS Individuales: Revisión del Estado del Arte y Desarrollos en Argentina. Mecánica Computacional, 37(5), Article 5.

Guido, R. M., Scaliti, F., Benegas, C., D'Amelio, L., & Tommasini, F. C. (2023, diciembre 6). Sistema de medición de funciones de transferencia de cabeza individuales. XVIII Congreso Argentino de Acústica 2023 (AdAA 2023), Bernal, Buenos Aires.

Harris, C. R., Millman, K. J., van der Walt, S. J., Gommers, R., Virtanen, P., Cournapeau, D., Wieser, E., Taylor, J., Berg, S., Smith, N. J., Kern, R., Picus, M., Hoyer, S., van Kerkwijk, M. H., Brett, M., Haldane, A., del Río, J. F., Wiebe, M., Peterson, P., … Oliphant, T. E. (2020). Array programming with NumPy. Nature, 585(7825), 357-362. https://doi.org/10.1038/s41586-020-2649-2

Hartmann, W. M., & Wittenberg, A. (1996). On the externalization of sound images. The Journal of the Acoustical Society of America, 99(6), 3678-3688. https://doi.org/10.1121/1.414965
Kleiner, M., Dalenbäck, B.-I., & Svensson, P. (1993). Auralization-An Overview. Journal of the Audio Engineering Society, 41(11), 861-875.

Kulkarni, A., & Colburn, H. S. (1998). Role of spectral detail in sound-source localization. Nature, 396(6713), 747-749. https://doi.org/10.1038/25526

Langendijk, E. H., & Bronkhorst, A. W. (2000). Fidelity of three-dimensional-sound reproduction using a virtual auditory display. The Journal of the Acoustical Society of America, 107(1), 528-537. https://doi.org/10.1121/1.428321

Li, S., & Peissig, J. (2020). Measurement of Head-Related Transfer Functions: A Review. Applied Sciences, 10(14), Article 14. https://doi.org/10.3390/app10145014

Majdak, P., Balazs, P., & Laback, B. (2007). Multiple Exponential Sweep Method for Fast Measurement of Head-Related Transfer Functions. Journal of the Audio Engineering Society, 55(7/8), 623-637.

Majdak, P., Goupell, M. J., & Laback, B. (2010). 3-D localization of virtual sound sources: Effects of visual environment, pointing method, and training. Attention, Perception, & Psychophysics, 72(2), 454-469. https://doi.org/10.3758/APP.72.2.454

Majdak, P., Nicol, R., Carpentier, T., Suzuki, Y., Wierstorf, H., Ziegelwanger, H., & Noisternig, M. (2013). Spatially Oriented Format for Acoustics: A Data Exchange Format Representing Head-Related Transfer Functions. 134th Convention of the Audio Engineering Society. https://hal.science/hal-01106833

McKinney, W. (2010). Data Structures for Statistical Computing in Python. Proceedings of the 9th Python in Science Conference, 56-61. Proceedings of the 9th Python in Science Conference. https://doi.org/10.25080/Majora-92bf1922-00a

Mendez, M., Tommasini, F. C., Ferreyra, S. P., Guido, R. M., Bordón, J. C., & Scaliti, F. (2021). Optimización de plataforma con movimiento rotacional horizontal controlable para un sistema de medición de funciones de transferencia de cabeza. Revista Tecnología y Ciencia, 42, Article 42. https://doi.org/10.33414/rtyc.42.12-26.2021

Middlebrooks, J. C. (1999). Virtual localization improved by scaling nonindividualized external-ear transfer functions in frequency. The Journal of the Acoustical Society of America, 106(3 Pt 1), 1493-1510. https://doi.org/10.1121/1.427147

Paul, S. (2009). Binaural Recording Technology: A Historical Review and Possible Future Developments. Acta Acustica united with Acustica, 95(5), 767-788. https://doi.org/10.3813/AAA.918208

Richter, J.-G., Behler, G., & Fels, J. (2016). Evaluation of a Fast HRTF Measurement System.

Scaliti, F., Rametta, J., Marcel, E., Guido, R. M., & Tommasini, F. C. (2020). Control de sistema demultiplexoramplificador de audio basado en módulo microcontrolador ESP32. 185-187.

Suzuki, Y., Asano, F., Kim, H., & Sone, T. (1995). An optimum computer-generated pulse signal suitable for the measurement of very long impulse responses. The Journal of the Acoustical Society of America, 97(2), 1119-1123. https://doi.org/10.1121/1.412224

Tommasini, F. C., Guido, R. M., Ramos, O. A., Cravero, G. A., Ferreyra, S. P., & Pérez, J. (2017). Individual head-related impulse response measurement system with 3D scanning of pinnae. Proceedings of Meetings on Acoustics, 28(1), 055007. https://doi.org/10.1121/2.0000519

Vanasse, J., Genovese, A., & Roginska, A. (2019). Multichannel impulse response measurements in MATLAB: 2019 AES International Conference on Immersive and Interactive Audio: Creating the Next Dimension of Sound Experience. http://www.scopus.com/inward/record.url?scp=85067883335&partnerID=8YFLogxK

Virtanen, P., Gommers, R., Oliphant, T. E., Haberland, M., Reddy, T., Cournapeau, D., Burovski, E., Peterson, P., Weckesser, W., Bright, J., van der Walt, S. J., Brett, M., Wilson, J., Millman, K. J., Mayorov, N., Nelson, A. R. J., Jones, E., Kern, R., Larson, E., … SciPy 1. 0 Contributors. (2020). SciPy 1.0: Fundamental algorithms for scientific computing in Python. Nature Methods, 17, 261-272. https://doi.org/10.1038/s41592-019-0686-2

Watanabe, K., Iwaya, Y., Suzuki, Y., Takane, S., & Sato, S. (2014). Dataset of head-related transfer functions measured with a circular loudspeaker array. Acoustical Science and Technology, 35(3), 159-165. https://doi.org/10.1250/ast.35.159

Wenzel, E. M., Arruda, M., Kistler, D. J., & Wightman, F. L. (1993). Localization using nonindividualized head-related transfer functions. The Journal of the Acoustical Society of America, 94(1), 111-123. https://doi.org/10.1121/1.407089

Wightman, F. L., & Kistler, D. J. (1989). Headphone simulation of free-field listening. I: Stimulus synthesis. The Journal of the Acoustical Society of America, 85(2), 858-867. https://doi.org/10.1121/1.397557

Yu, G., Wu, R., Liu, Y., & Xie, B. (2018). Near-field head-related transfer-function measurement and database of human subjects. The Journal of the Acoustical Society of America, 143(3), EL194-EL198. https://doi.org/10.1121/1.5027019

Zotkin, D. N., Duraiswami, R., Grassi, E., & Gumerov, N. A. (2006). Fast head-related transfer function measurement via reciprocity. The Journal of the Acoustical Society of America, 120(4), 2202-2215. https://doi.org/10.1121/1.2207578

EFECTO DEL SECADO CONVECTIVO EN LAS PROPIEDADES TECNOFUNCIONALES Y ANTIOXIDANTES DE HARINA DE QUINOA (CHENOPODIUM QUINOA WILLD.)

Lucrecia Pozzo[1], Julia Luisetti[1], María F. Balzarini[1]

[1]Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnología de los Alimentos (CIDTA), Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Rosario, Zeballos 1341
julialuisetti@yahoo.com.ar

Resumen

El objetivo de este trabajo fue estudiar el efecto de la temperatura del aire de secado en las propiedades tecnofuncionales y antioxidantes de harina integral de quinoa (Chenopodium quinoa Willd.). Los granos previamente desaponificados fueron deshidratados en un secadero convectivo a dos temperaturas (40°C y 60°C). El producto seco fue molido en un molino de cuchillas y posteriormente tamizado hasta lograr un material retenido correspondiente a una malla 50 clasificado como afrecho según PROINPA. Se estudiaron la capacidad de absorción de agua (CAA) y capacidad de retención de agua (CRA) a dos temperaturas de baño térmico (20 y 100°C) en la harina obtenida de los granos deshidratados (HD) y sin tratar térmicamente (H). Se determinó el color de las mismas mediante el software ImageJ (National Institutes of Health, Bethesda, MD, USA) y una cámara digital calibrada para la captación de las imágenes en una cabina de medición de color GTI Mini Matcher (GTI Graphic Technology, NY, EEUU) que permitió establecer las condiciones de iluminación requeridas. Sobre los extractos hidroalcoholicos (50 % etanol) se evaluaron el contenido de polifenoles totales (CPT) con el reactivo de Folin Ciocalteau y la capacidad antioxidante (CA) según Shimada. Se observó un aumento de CAA y CRA con las temperaturas del aire de secado y del baño térmico. Tanto el CPT como la CA mostraron un incremento con la temperatura del aire de secado. La harina obtenida de granos deshidratados a 60°C presentó mejores cualidades para ser incorporada como ingrediente en la elaboración de diversos productos alimenticios.

Palabras Clave: Quinoa, Secado, Propiedades tecnofuncionales y antioxidantes

Introducción

La quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) es un pseudocereal muy utilizado en los últimos años en la producción de alimentos sin gluten. Sus harinas integrales son buena fuente de energía, fibra, lípidos (Luisetti, 2023) y sus proteínas son ricas en lisina (Shotts, 2018). Sus características nutricionales permiten su inclusión en diversas matrices alimenticias y su uso para la elaboración de recetas a partir de cereales no tradicionales (Bermúdez Naranjo, 2017).

En general, los granos de cereales y pseudocereales son expuestos a operaciones de acondicionamiento, como secado y molienda, que permiten obtener un producto alimenticio cuyas propiedades funcionales resulten aceptables para los consumidores. El aprovechamiento eficiente del material obtenido, requiere del estudio las mismas, las cuales influyen en las características sensoriales, físicas y químicas del producto final. Es importante destacar que la granulometría de la harina producto de la molienda del grano, puede influir en sus propiedades tecnológicas (Pecoroni, 2017).

Al someter los cereales a un proceso de cocción, independientemente del método empleado, tiene lugar la gelatinización del almidón. El mayor componente orgánico de las harinas vegetales son los almidones, los cuales son ricos en amilosa y amilopectina, que le otorgan propiedades de gelificación, alta capacidad de absorción de agua y elevado porcentaje de solubilidad (Contreras *et al.,* 2019, Chen *et al*., 2017). Otras propiedades funcionales de las harinas, son el poder de hinchamiento, el índice de absorción de agua y capacidad de retención de agua (Chaparro *et al.* 2011).

El %S es un indicador in vitro de buena digestibilidad del almidón, ya que implica el grado de gelatinización y dextrinización (Villarroel *et al.,* 2018). Además, se relaciona con el grado de

conversión de almidón durante la cocción, que corresponde a la cantidad de polisacárido soluble liberado del gránulo de almidón (Horianski, 2019). El IAA es un índice que indica el volumen de agua que el almidón gelificado es capaz de absorber y retener durante su hidratación (Romero García, 2022). La disminución de este parámetro por el aumento de la temperatura podría deberse a la descomposición o degradación del almidón (Astudillo Heras y Sánchez Salamea, 2019). Elevados porcentajes de solubilidad (%S), poder de hinchamiento (PH) e índice de absorción de agua (IAA) de las harinas de origen vegetal, indican mayor facilidad en la formación de geles (Dun et al., 2020; Ekielski et al., 2020). El IAA y PH están relacionados con el grado de modificación de los almidones por tratamientos termomecánicos (Correa *et al.,* 2017). Esto es importante para la industria alimenticia, ya que se tiene como objetivo el aumento de su volumen después de la cocción por la absorción de agua (García-Jiménez y Vásquez, 2016). Alegret *et al.* (2004), define a la CRA como el comportamiento de los alimentos para retener agua en diferentes condiciones. Para la industria de los alimentos, la importancia de este parámetro radica en la capacidad de la harina para formar una masa visco elástica. Según Rivera (2006), es un indicador empleado para estudiar potenciales ingredientes en carnes embutidas, salchichas, panificación y geles alimenticios. Por otro lado, la CAA es un factor importante en el proceso de panificación ya que relaciona la calidad y vida de anaquel del producto con el rendimiento del proceso (Cerda-Mejía *et al*., 2017).
De acuerdo con Chandra *et al*. (2015) y Feitosa *et al*. (2024), debido a las propiedades tecnofuncionales que han demostrado presentar las harinas obtenidas a partir de granos de quinoa, permiten su aplicación en diversas matrices alimentarias, ya que se pueden incorporar como ingrediente en la producción de una gran variedad de productos de panadería (pan, galletitas, tortas, barritas, fideos) y alimentos para bebés, entre otros.
Por lo antes expuesto, el objetivo de este estudio se basó en la evaluación de las propiedades tecnofuncionales de harinas integrales de quinoa, obtenidas de distintos tratamientos para ser utilizadas como ingrediente en diversas formulaciones alimenticias.

Materiales y métodos

Materia prima

Las semillas de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd. var Hualhuas) fueron provistas por la Distribuidora Zucchi (Rosario, Santa Fe). EL lote adquirido, fue almacenado en bolsas de plástico hasta su uso.

Secado convectivo

Los tratamientos de secado se realizaron utilizando una estufa de convección forzada (Tecno Dalvo, Modelo CHC/F/I, Argentina). Las muestras se colocaron en una bandeja de malla de acero inoxidable para facilitar la circulación del flujo de aire y las temperaturas de secado empleadas fueron 40°C y 60°C. El rango de temperatura fue seleccionado de acuerdo a los antecedentes publicados por Ramos Gómez y Peña Rivera (2019) y Ninaraqui (2015). La experiencia de secado se realizó por triplicado.

Molienda y tamizado

Para la molienda del grano, se utilizó un molino seco de cuchillas (IKA, Alemania). Los granos se procesaron durante 15 segundos y la harina obtenida se reservó en bolsas herméticas de plástico hasta su uso. Para determinar la granulometría de las harinas se empleó un tamizador RoTap (Tyler, EE.UU.). Las mallas utilizadas fueron de 16 (1000 µm), 25 (679 µm), 50 (289 µm), 100 (149 µm), 200 (74 µm) y 270 (53 mm) U.S. El tamizado se realizó tomando muestras de 100 g y agitándolo durante 5 min, para realizar la separación de las partículas. Finalmente se pesaron las fracciones de harinas retenidas en cada tamiz y se calculó el porcentaje de retención. El valor del tamaño medio final de cada harina fue obtenido por triplicado.

Determinación de las propiedades de hidratación: Poder de Hinchamiento (PH), Porcentaje de Solubilidad (%S) e Índice de Absorción de Agua (IAA).

Se pesaron 0,35 ± 0,01 g de harina, luego se colocaron en tubos de centrífuga y se añadió 12,5 mL de agua destilada. El tubo tapado se agitó en un vórtex y se colocó en un baño de agua a distintas temperaturas (55, 75 y 95°C). La mezcla se homogeneizó invirtiendo los tubos dos veces cada 20 segundos durante 15 min. Posteriormente se enfriaron en un baño de agua a 25°C y centrifugaron a 3000 rpm durante 20 min. El sobrenadante fue evaporado a 105°C durante 24 h y el gel formado se pesó en balanza analítica. Las determinaciones se realizaron por triplicado. Los valores de Porcentaje de Solubilidad (%S), Poder de Hinchamiento (PH) e Índice de Absorción de Agua (IAA) fueron calculados según Ahamed et al. (1996).

$$\% S = \frac{P_{SS}}{P_{Sm}} x\ 100 \quad (1)$$

$$PH = \frac{P_g}{P_m - P_{SS}} x\ 100 \quad (2)$$

$$IAA = \frac{P_g}{P_m} \quad (3)$$

Dónde:
Pss: peso seco del sobrenadante, g
Psm: peso seco de la muestra, g
Pg: peso del gel, g
Pm: peso de la muestra, g

Capacidad de retención de agua (CRA)

La CRA es la capacidad que tiene la harina para retener el agua añadida sin ser sometida a ninguna fuerza externa se determinó según el método propuesto por Nelson (2001) sujeto a modificaciones. 2 ± 0,01 g de harina (PH) fueron colocados en tubos de falcón previamente pesados (PF). Luego se añadieron 20 mL de agua destilada y se dejaron en reposo durante 24 horas. Posteriormente, se desechó el sobrenadante cuidadosamente y se pesó el tubo con el sedimento (PS). Los resultados fueron determinados por triplicado y expresados g de agua retenida/g de muestra seca como el valor promedio ± desvío estándar. La capacidad de retención de agua se calculó como:

$$CRA = \frac{PS - PF}{PH} \quad (4)$$

Capacidad de absorción de agua (CAA)

La CAA se determinó según Beuchat (1977). 2 g ± 0,01 g de harina de cada muestra (PH) se coloraron en tubos de falcón previamente pesados (PF). Se añadieron 20 mL de agua destilada y se agitó en vórtex durante 30 segundos. Se dejó reposar 10 minutos y se volvió a agitar durante 30 segundos. A continuación, se centrifugó durante 25 minutos a 3000 g. Luego se desechó el sobrenadante, se colocaron los tubos girados sin tapón en un ángulo de 15 a 20º respecto a la horizontal y se introdujeron en una estufa a 50ºC durante 25 minutos. Por último, se pesaron los tubos (PT). Los resultados fueron determinados por triplicado y expresados g de agua absorbida/g de muestra seca como el valor promedio ± desvío estándar. La capacidad de absorción de agua se calculó como:

$$CAA = \frac{PT - PF}{PH} \quad (5)$$

Resultados y discusiones

El mayor porcentaje de harina fue retenida en el tamiz malla 50 (tamaño mínimo de gránulos de 297µm). Según PROINPA (2011), corresponde a la clasificación de afrecho (tamaño de gránulos entre 487 y 230 µm). Esto posibilita su uso para alimentos balanceados, panes integrales, panificación, bizcochería, pastas, purés, sopas y cremas.

Los valores obtenidos para %S variaron entre 9.30 ± 0.08 g sobrenadante seco/100 g agua y 14.59 ± 0.10 g sobrenadante seco/100 g agua correspondiente a la harina cruda (HC) expuesta a un baño de 55ºC y la harina obtenida del secado de granos a 60ºC para un baño a 85ºC (Fig 1a). No se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) con respecto a la temperatura del baño térmico y la de secado. La harina presentó mayor %S en agua al aumentar la temperatura del baño térmico. Como consecuencia del calentamiento, las moléculas de almidón vibran vigorosamente rompiéndose los enlaces intermoleculares y separándose fragmentos de la cadena de almidón, facilitando la formación de uniones puente hidrógeno con el agua. Además, se registraron valores mayores de este parámetro con el aumento de la temperatura de secado. El incremento del %S con la temperatura de secado, podría deberse al desdoblamiento de las cadenas proteicas y su mayor interacción con el agua. Dussan-Sarria *et al.* (2019), estudiaron las propiedades funcionales de la harina de quinoa obtenida a partir de granos deshidratados en estufa convectiva a 60°C durante 4 horas. Hallaron un %S de 11.18 ± 0.49 g sobrenadante seco/100 g agua. Valores menores fueron informados por Rodríguez-Sandoval *et al.* (2012), quienes reportaron 5,10 ± 0,12 g sobrenadante seco/100 g agua.

Los valores de PH oscilaron entre 4.76 ± 0.11 y 8.59 ± 0.14 g gel/g almidón correspondiente a la HC expuesta a un baño térmico de 55ºC y la harina obtenida del secado a 60ºC y un baño de 85 ºC (Fig 1b). Se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) para la temperatura del baño a 55ºC respecto de las demás ensayadas. Valores inferiores fueron obtenidos por otros autores. Los valores obtenidos en el presente estudio fueron superiores a los reportados por otros investigadores. Dussan-Sarria *et al.* (2019) reportaron 2.64 ± 0,10 g gel/ g almidón, mientras que Rodríguez-Sandoval *et al.* (2012) informaron 2.43 ± 0,10 g gel/ g almidón. Esta diferencia, puede deberse al tamaño de partícula alcanzado en la molienda. A menor tamaño de partícula es mayor la superficie expuesta lo que permite la exudación de un mayor número de componentes moleculares a la dispersión (Techeira *et al.* 2014).

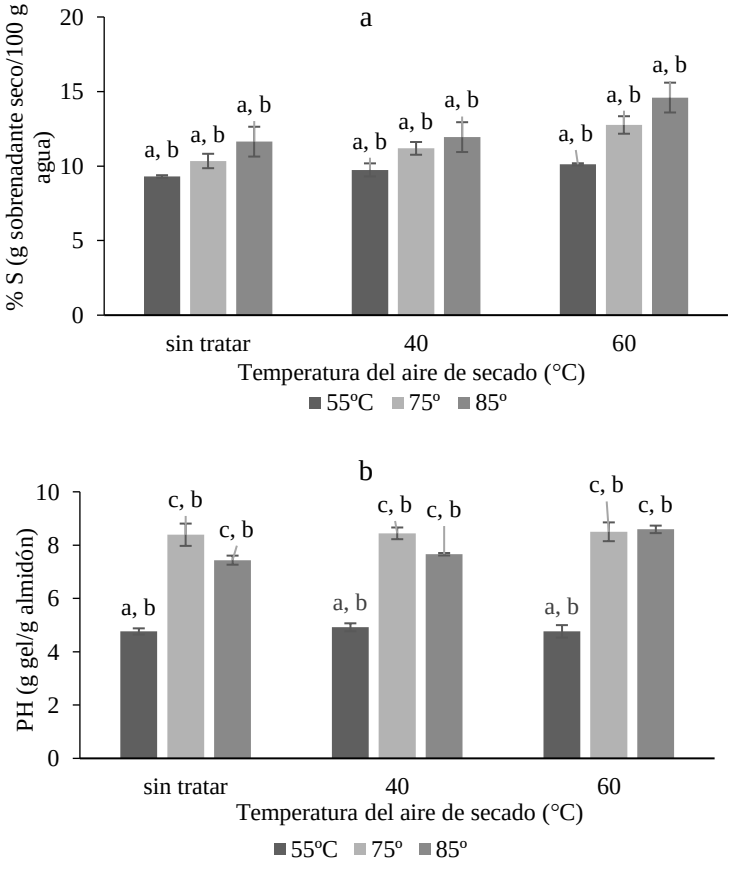
Los valores obtenidos para el IAA se encontraron entre 4.29 ± 0.11 g gel/g muestra seca (baño térmico a 55°C y sin tratamiento térmico) y 7.95 ± 0.17 g gel/g muestra seca (baño térmico a 75°C y temperatura de secado de 40°C, Fig 1c). Se hallaron diferencias significativas ($p < 0.05$) respecto de las tres temperaturas del baño ensayadas. Sin embargo, no se hallaron diferencias significativas ($p > 0.05$) respecto de la temperatura de secado. Otros autores en sus estudios informaron valores menores para el IAA. Rodríguez-Sandoval *et al*. (2012), reportaron un valor de 2,31 ± 0,08 g gel/g muestra seca en la quinoa variedad Tuncahuán mientras que Dussan-Sarria *et al.* (2019) obtuvieron un 2,35 ± 0,10 g gel/g muestra seca.

Los valores %S e IAA pueden verse afectados indirectamente por el tamaño inicial de las partículas de la harina y otras propiedades físicas (Al-Rabadi et al., 2011). Los comportamientos de IAA y PH respecto de la temperatura del baño fueron similares. Se registró un aumento de dichos parámetros hasta 75ºC y una disminución a 85ºC. Esto ocurre porque la gelatinización del almidón de quinoa tiene lugar entre los 54,5° C a 69,3° C (Abugoch James, 2009). Más allá de dicha temperatura, los complejos de amilosa-lípido son superiores por lo que adquieren mayor importancia (Villarroel *et al.,* 2018), por esto no se producen variaciones en las propiedades de hidratación. La interrelación entre el contenido de agua, la temperatura y el tiempo de calentamiento jugó un papel importante en la determinación del grado de gelatinización del almidón (Liu *et al.,* 2019). Sin embargo, ésta podría verse afectada por otros componentes del grano, como contenido de aceite y agua (Xu *et al*., 2020) ya que, durante el proceso de calentamiento, las emulsiones formadas se distribuyen alrededor de los gránulos de almidón, restringiendo el hinchamiento de los gránulos. A sí mismo, se dificulta la aplicación de este producto en matrices alimentarias que en su proceso productivo integren temperaturas bajas, como, por ejemplo: en bebidas lácteas fermentadas tipo yogurt.

Respecto de los valores obtenidos para la CAA, no se hallaron diferencias significativas ($p > 0.05$) respecto a las temperaturas de secado, sin embargo, si se encontraron ($p < 0.05$) entre las ensayadas para el baño térmico (Fig 2a). Los valores obtenidos oscilaron entre 2.50 ± 0.02 g agua

absorbida/g muestra seca correspondiente a la harina deshidratada a 60°C, con posterior exposición a un baño a 20°C; y 6,16 ± 0.08 g agua/g muestra seca para la HC y expuesta a un baño térmico a 100°C. La CAA de una muestra es función tanto de su contenido proteico como no proteico. Este indicador depende de la presencia de carbohidratos (Chandra *et al.*, 2015, Fernández Salvador, 2017) interacciones agua-proteínas y agua-agua, y efectos de capilaridad. Un aumento de la CAA puede deberse a la retención de agua en la nueva estructura generada por la agregación proteica (Vivas *et al.* 2023, Butt y Batool, 2010, Chaparro *et al.* 2011).

Para la CRA, se reportaron valores entre 2.92 ± 0.01 g agua retenida/ g muestra seca y 7.61 ± 0.35 g agua retenida/g muestra seca para el tratamiento de secado a 60°C expuestas a un baño de 20°C y 100°C, respectivamente (Fig 2b). Se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) con respecto a la temperatura del baño térmico, mientras que no se encontraron ($p > 0.05$) con la temperatura de secado. Según Zhu & Li (2019) la capacidad de retención de agua está relacionada con el contenido de amilopectina que se encuentra en los almidones, la cual consta de ramificaciones laterales que le confieren la capacidad de retener agua en los espacios intermoleculares. El baño a 100°C contribuye a la gelatinización del almidón, siendo mayor la CRA obtenida (Montañez Soto y Ruiz García, 2008). La operación de molienda genera daños en los gránulos de almidón provocando un aumento en la capacidad de absorción de agua (Bitik *et al*., 2019). En sus estudios realizados en granos de quinoa deshidratados por secado convectivo Bermudez Naranjo (2017), obtuvieron valores de CRA de 3,5 ± 0,10 g agua retenida/ g muestra seca y 3,4 ± 0,09 g agua retenida/ g muestra seca para las temperaturas de secado de 100°C y 120°C correspondientemente.



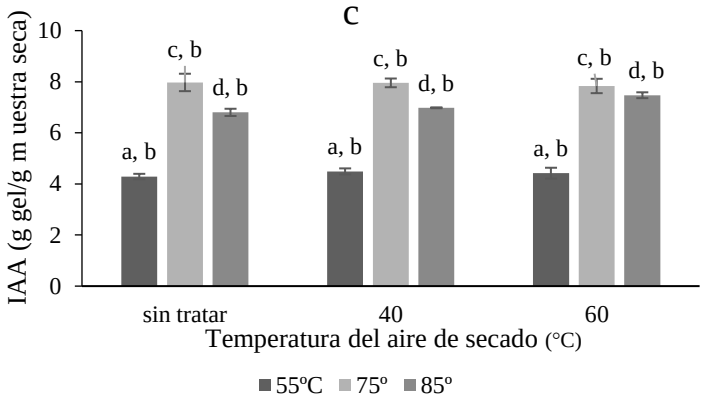


Fig 1. Propiedades de hidratación de harina sin tratar y harina obtenida a partir de granos deshidratados a 40°C y 60°C, sometidas a diferentes temperaturas de baño térmico (55°C, 75°C y 85°C). a) Porcentaje de solubilidad (%S). b) Índice de absorción de agua (IAA). c) Poder de hinchamiento (PH).

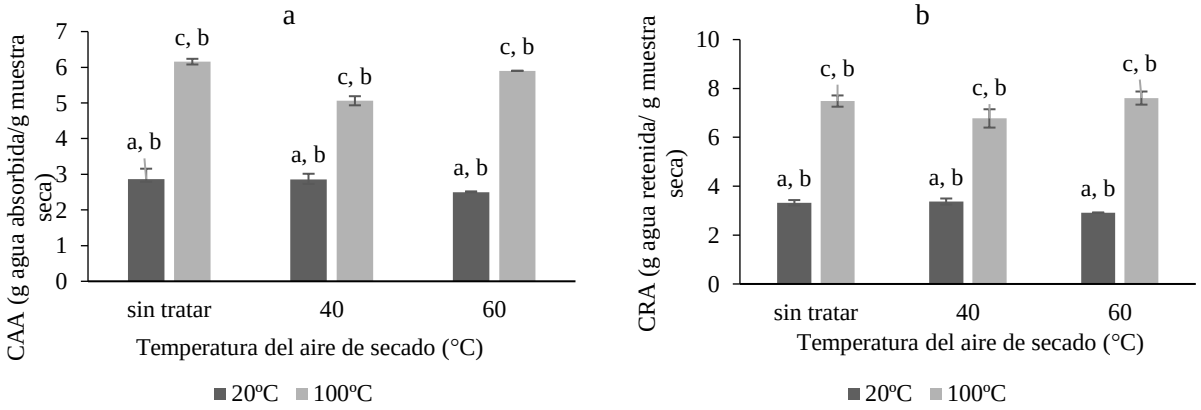


Fig 2. Propiedades de hidratación de harina sin tratar y harina obtenida a partir de granos deshidratados a 40°C y 60°C, sometidas a diferentes temperaturas de baño térmico (20°C y 100°C). a) Capacidad de absorción de agua (CAA). b) Capacidad de retención de agua (CRA).

Conclusiones

Los resultados obtenidos para las propiedades funcionales analizadas, presentaron mayores valores de %S, CAA y CRA a mayor temperatura del baño térmico, el mismo comportamiento se observe para IAA y PH hasta el punto de gelificación del almidón. Esto permite que durante el proceso de cocción los gránulos de almidón mejoren sus propiedades de hidratación, favoreciendo la textura lograda del alimento permitiendo su uso para alimentos balanceados, panes integrales, panificación, bizcochería, pastas, purés, sopas y cremas.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo financiero de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN) Facultad Regional Rosario

Referencias

Abugoch James, L. (2009). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd): Composition, Chemistry, Nutritional, and Functional Properties. *Advances in Food and Nutrition Research*, 58, 1-31. https://doi.org/10.1016/S1043-4526(09)58001-1

Ahamed T. N., Singhal, R., Kulkarni, P. & Pal, M. (1996). Physicochemical and functional properties of Chenopodium quinoa starch. *Carbohydrate Polymers*, 31, 99-103. https://doi.org/10.1016/S0144-8617(96)00034-3

Alegret López, P., Boatella Riera, J. y Codony Salcedo, R. (2004). Química y Bioquímica de los alimentos II (eBook). Edicions Universitat Barcelona.

Al-Rabadi, G. J., Torley, P. J., Williams, B. A., Bryden, W. L., Gidley, M. (2011). Effect of extrusion temperature and pre-extrusion particle size on starch digestion kinetics in barley and sorghum grain extrudates. Animal Feed Science and Technology, 168(3), 267-279. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.097

Astudillo Heras, L. L. y Sánchez Salamea, A. L. (2019). Extracción de Almidón a partir del banano (plátano) de categoría II (Musa paradisiaca) en estado verde, para la elaboración de colada instantánea fortificada y utilización de su fibra para balanceado de ganado porcino (Tesis de grado). Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Químicas. Ecuador.

Bermúdez Naranjo, D. (2017). Evaluación tecnológica de la harina de quinua (Quenopodium quinoa) variedad piartal como espesante alimentario obtenida bajo diferentes condiciones de proceso. Facultad de Ingeniería, Universidad de La Salle, Bogotá (Tesis de grado). Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_alimentos/76.

Beuchat, L. R. (1977). Functional and Electrophoretic Characteristics of Succinylated Peanut Flour Protein. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 25, 258-261. http://dx.doi.org/10.1021/jf60210a044

Bitik, A., Sumnu, G., Oztop, M. (2019). Physicochemical and structural characterization of microfluidized and sonicated legume starches. Food and Bioprocess Technology. 12, 1144–1156 https://doi.org/10.1007/s11947-019-02264-4

Butt, M. S. & Batool, R. (2010). Nutritional and functional properties of some promising legumes proteins isolates. Pakistan Journal of Nutrition 9(4), 373–379. https://doi.org/10.3923/pjn.2010.373.379

Cerda-Mejía, L., Cerda-Mejía, V. R., Plamala-Rosales, A., Morneo-Miranda, C., & Pérez-Martínez, A. (2017). Proteína de harinas de maíz, cebada, quinua, trigo nacional y papa: características y funcionalidad como sustitutos de la proteína de harina de trigo. Revista Amazónica Ciencia y Tecnología 6(3), 201-216. https://revistas.uea. edu.ec/index.php/racyt/article/view/82/86

Chandra, S., Singh, S., Kumari, D. (2015). Evaluation of functional properties of composite flours and sensorial attributes of composite flour biscuits. Journal Food Science Technology, 52(6): 3681-8. https://doi.org/10.1007/s13197-014-1427-2

Chaparro, A., Sandra P., Gil G., Jesús H.; Aristizábal T., Iván D. (2011). Efecto de la hidratación y la cocción en las propiedades físicas y funcionales de la harina de vitabosa (Mucuna deeringiana). Vitae, 18(2): 133-143.

Contreras-Jiménez, B., Torres-Vargas, O. L., & Rodríguez-García, M. E. (2019). Physicochemical characterization of quinoa (Chenopodium quinoa) flour and isolated starch. Food Chemistry, 298, 1-7. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.124982

Correa, D., Castaño, M. F., Montoya, J. (2017). Influencia del método de extracción en las propiedades funcionales de almidón de plátano dominico hartón (musa paradisiaca l.). UG Ciecnia, 23, 88-91. https://doi.org/10.18634/ugcj.23v.0i.792

Dun, H., Liang, H., Zhan, F., Wey, X., Chen, Y., Wan, J., Ren, Y., Hu, L., Li, B. (2020). Influence of O/W emulsion on gelatinization and retrogradation properties of rice starch. Food Hydrocolloids, 103: 105-152. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105652

Dussán-Sarria, S., Hurtado-Hurtado, D. L., & Camacho-Tamayo, J. H. (2019). Granulometry, Functional Properties and Color Properties of Quinoa and Peach Palm Fruit Flour. *Información tecnológica*, 30(5), 3-10. https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000500003

Feitosa, B. F., Barros, J. H. T., Feitoza, J. V. F. (2024). Pseudocereals – A bibliometric analysis and literature review on the potential for manufacturing flours, bakery products and milk analogues. NFS Journal, 34:100163. https://doi.org/10.1016/j.nfs.2024.100163

Fernández Salvador, N. (2017). Propiedades funcionales y químicas de harinas de distintas variedades de trigo sarraceno y TEF (Tesis de maestría). E.T.S. Ingenierías Agrarias, Universidad de Valladolid, España.

Horianski, M. A. (2019). Digestibilidad in vitro y propiedades fisicoquímicas del almidón de mandioca modificado por la combinación de tratamientos hidrotérmicos y químicos (Tesis de Doctorado). Universidad Nacional de Misiones. Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales.

Liu, Y., Yu, J., Copeland, L., Wang, S., Wang, S. (2019). Gelatinization behavior of starch: Reflecting beyond the endotherm measured by differential scanning calorimetry. *Food Chemistry,* 284, 53-59. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.095

Luisetti, J. (2023). Optimización de las condiciones del proceso de acondicionamiento y obtención de harina integral del grano de quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) en relación a su capacidad antioxidante y antimicrobiana (Tesis doctoral). Universidad Nacional Rosario, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura.

Montañez Soto, J. L., Ruiz García, I. (2008). Parcial caracterización de nuevos almidones obtenidos del tubérculo de camote del cerro (Dioscorea spp). Rev. Iber Tecnología Postcosecha, 9(1): 81-88

Nelson, A. L. (2001). Properties of high-fiber ingredients. Cereal Foods World, 46(3), 93-97.

Ninaraqui, R. (2015). Efecto del escaldado y temperatura en la cinético de secado de las hojas de quinua (Chenopodium quinoa Willd), variedad Salcedo Ini (Tesis de grado para optar el título de Ingeniero Industrial). Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ciencias Agrarias.

Pecoroni Herguedas, M. (2017). Modificación de la molienda de arroz: Efectos en la calidad de las harinas y en su adecuación a procesos de panificación (Tesis de Maestría). Universidad de Valladolid. http://uvadoc.uva.es/handle/10324/29325.

Ramos Gómez J. F., Peña Rivera, A. O. (2019). Quinoa dehydration (Chenopodium quinoa Willd) assisted by infrared. Infinitum, 9 (2), 99-105. https://doi.org/10.51431/infinitum.v9i2.576

Rivera, M. (2006). Obtención, caracterización estructural y determinación de las propiedades funcionales de un aislado proteico de quinua orgánica. Recuperado el 27 de mayo de 2017 de http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/105605

Romero García, M. I. (2022). Efecto de los ciclos de extrusión y la fuente de almidón sobre la formación de almidón resistente tipo III (Tesis de maestría). Universidad autónoma de Querétaro Facultad de química, México.

Shotts, M. L., Pujolras, M. P., Rossell, C., & Rodriguez-Saona, L. (2018). Authentication of indigenous flours (Quinoa, Amaranth and kañiwa) from the Andean region using a portable ATR-Infrared device in combination with pattern recognition analysis. Journal of Cereal Science. 82: 65-72. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2018.04.005

Techeira, N., Sívoli, L., Perdomo, B., Ramírez, A. y Sosa, F. (2014). Caracterizacion fisicoquímica, funcional y nutricional de harinas crudas obtenidas a partir de diferentes variedades de yuca (Manihot esculenta Crantz), batata (Ipomoea batatas Lam) y ñame (Discorea alata), cultivadas en Venezuela. Interciencia, 39 (3): 191-197.

Villarroel, P., Gómez, C., Vera, C., y Torres, J. (2018). Almidón resistente: Características tecnológicas e intereses fisiológicos. Revista chilena de nutrición, 45(3), 271-278. https://dx.doi.org/10.4067/s0717-75182018000400271

Vivas, O., Vielma, R., Matheus, D., Rocco, V. (2023). Nutritional value and functional properties of the whole fruit of chachafruto (Erythrina edulis). Revista de la Facultad de Farmacia, 65(1): 18-27. https://doi.org/10.53766/REFA/2023.65.1.04

Xu, J., Blennow, A., Li, X., Cheng, L. & Liu, X. (2020). Gelatinization dynamics of starch in dependence of its lamellar structure, crystalline polymorphs and amylose content. *Carbohydrate Polymers,* 229, 115-181. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115481

Zhu, F., & Li, H. (2019). Modification of quinoa flour functionality using ultrasound. Ultrasonics - Sonochemistry, 52, 305–310. https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.11.027

FORMACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE ÓXIDOS SUPERFICIALES EN UN ALAMBRÓN LAMINADO DE BAJO CARBONO

Mykhaylo Romanyuk[1], Martina Avalos[2], Elena Brandaleze[1]

[1]Línea Tecnología de Procesos, Departamento Metalurgia DEYTEMA, Facultad Regional San Nicolás, Universidad Tecnológica Nacional, Colón 332 – San Nicolás
[2]IFIR-CONICET, Universidad Nacional de Rosario, Esmeralda y Ocampo, Rosario
mromanyuk@frsn.utn.edu.ar

Resumen

La cascarilla que se genera en la superficie de un alambrón de acero durante el proceso de laminación en caliente, después de la exposición a altas temperaturas en una atmósfera oxidante, está constituida por una capa de diferentes óxidos de hierro. Estos óxidos promueven la pérdida de metal en el producto final y afectan la eficiencia de los procesos posteriores. Por esta razón, la industria necesita profundizar en el conocimiento del desarrollo de la cascarilla para controlar las variables que inciden en el proceso de oxidación durante la operación y lograr una capa de óxido adecuada.

El alambrón se fabrica bajo un proceso de deformación termomecánica mediante laminación en caliente y luego se somete a un proceso de enfriamiento, que promueve el proceso de crecimiento del laminillo. Las condiciones del proceso son las que determinan la formación de las diferentes capas de óxido, las fases presentes, la morfología y la naturaleza cristalográfica de los granos en la cascarilla.

El objetivo principal de este trabajo es presentar los resultados del estudio de caracterización de laminillo generado en un alambrón de bajo contenido de carbono, utilizando diferentes técnicas de microscopía óptica y microscopía electrónica de barrido con análisis EDS y EBSD, con el fin de desarrollar un procedimiento para la identificación de los óxidos.

La integración de las técnicas de microscopía óptica y electrónica permite determinar los espesores de cada capa de óxido. Además, mediante EBSD se llevó a cabo la identificación de todas las fases de óxidos presentes (como wüstita y magnetita) a través de la naturaleza cristalográfica. También se determinaron los aspectos asociados a las interfaces entre los límites de grano del acero y los granos de los óxidos. Los resultados obtenidos se correlacionaron con la simulación termodinámica, realizada mediante FactSage 8.1, y las condiciones de procesamiento industrial del material.

Palabras Clave: Alambrón, Óxidos, Deformación en Caliente, Microscopía Electrónica.

Introducción

La cascarilla formada por óxidos que se genera en la superficie del alambrón de acero durante el proceso de laminación en caliente se considera un punto de importancia para su estudio para garantizar una superficie libre de defectos con el fin de evitar problemas de calidad en el producto final. El alambrón constituye la materia prima para los procesos posteriores de trefilado.

Uno de los principales problemas tecnológicos asociados a este proceso de conformado es obtener un adecuado y correcto laminillo, con un buen comportamiento mecánico en la superficie del producto siderúrgico, como resultado de la exposición a altas temperaturas en contacto con una atmósfera oxidante. La rugosidad final de la superficie de los óxidos depende fundamentalmente de la temperatura de oxidación y podría causar efectos de desgaste en el cabezal formador de espiras o problemas durante el proceso posterior de decapado, lo que podría afectar negativamente la calidad del producto final. Por este motivo es importante controlar las condiciones del proceso de laminación en caliente. Durante el laminado en caliente, el alambrón de acero de bajo contenido de carbono es procesado a una Baja Temperatura de Bobinado (LCT – *Low Coiling Temperature*) a lo

largo del transportador Stelmor (entre 800°C – 1000°C). Si la temperatura LCT es de aproximadamente 850 °C, la cascarilla generada en la superficie del alambrón de acero es la más adecuada para el proceso de decapado químico posterior. A temperaturas de LCT más altas (950°C – 1000°C) el laminillo formado es más adecuado para el decapado mecánico; esto se debe a la mínima adherencia de la wüstita (FeO) sobre el sustrato de acero. Es posible acelerar el enfriamiento por aire del alambrón hasta unos 570°C – 400°C mediante ventiladores con el fin de retener la wüstita después del bobinado en el transportador Stelmor y evitar su descomposición en magnetita (Fe_3O_4). La magnetita es una fase adhesiva al sustrato de acero y es difícil de eliminar de la superficie del alambrón por decapado mecánico [1].
Además es importante mencionar que la cascarilla genera una pérdida de masa metálica del producto final, afectando la eficiencia del proceso.

Las capas de laminillo presentan una microestructura compleja, constituidas por diferentes óxidos de hierro, que depende de muchas variables como la composición química del acero, temperatura de proceso, tiempo de proceso, condición de la atmósfera, velocidad de enfriamiento, etc. Los elementos de aleación presentes en el acero afectan críticamente el proceso de oxidación [2-4]. La formación de laminillo está controlada por el proceso de difusión.

Para las condiciones de proceso, en los productos de acero se pueden formar tres capas de óxido de hierro sobre la superficie del alambrón. La capa interna de óxido consiste en una wüstita cúbica (FeO), la capa intermedia de óxido presenta una estructura de magnetita de espinela inversa (Fe_3O_4) y la capa externa de óxido es una hematita romboédrica (α-Fe_2O_3) [3-6] (Fig. 1).

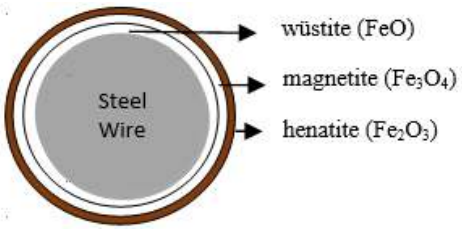


Fig. 1. Distribución de las capas de óxidos en la superficie del alambrón de acero formadas durante el proceso de laminación en caliente.

En particular, la precipitación de Fe_3O_4 podría formar una capa de grano fino en la interfaz FeO/acero, conocida como "vetas de magnetita". En este caso, la morfología de los granos de Fe_3O_4 es fina y equiaxiada. Sin embargo, los granos de Fe_3O_4 de la capa superior presentan una morfología columnar y un crecimiento en la superficie de los granos de la wüstita (FeO).

En alambrón de bajo carbono que contiene silicio, el uso de una temperatura LTC en el rango de 950°C – 1000°C podría formar granos de fayalita (Fe_2SiO_4) en la interfaz wüstita/metal [7].

Uno de los principales aspectos de la caracterización de la cascarilla es la determinación del espesor de la capa de óxidos y el aspecto estructural de cada óxido. Durante el proceso de control de calidad del alambre es difícil identificar con precisión y cuantificar por microscopía óptica el tipo del óxido presente. En general, para diferentes grados de acero, el espesor total de la capa está constituido por ~ 95% de wüstita, ~ 4% de magnetita y ~ 1% de hematita [2, 3]. Los valores de espesor cambian según la calidad del acero y las variables del proceso.

Es importante mencionar que los tres óxidos presentan diferentes valores de microdureza. Durante laminación en caliente la wüstita (FeO) tiene una baja dureza (H_v entre 270 y 350) y muestra un comportamiento lubricante, por lo que ayuda a reducir el grado de desgaste y los coeficientes de fricción. La segunda capa de óxido de magnetita (Fe_3O_4) presenta un valor de dureza intermedio (H_v entre 420 y 500) y también actúa como lubricante. La capa externa de hematita (α-Fe_2O_3) presenta el valor de dureza más alto (H_v ~ 1030) y promueve el desgaste abrasivo del cabezal formador de espiras [3, 4]. El comportamiento tribológico del alambrón también está asociado a la

composición química del acero, la temperatura de formación de las espiras y las condiciones atmosféricas.

Durante el proceso de enfriamiento en el transportador Stelmor, a temperaturas inferiores a 570°C la wüstita (FeO) se transforma parcialmente en magnetita (Fe_3O_4). Sin embargo esta etapa de transformación de fase depende de los procesos de difusión y podría generar una transformación parcial o precipitación localizada de magnetita dentro de la capa de wüstita. Kim et al. en [4] describen que a la temperatura mencionada los mecanismos de oxidación del hierro están bien establecidos. Los cationes Fe^{2+} y los electrones se mueven a través de la capa de wüstita desde la interfaz hierro/wüstita (Fe/W) hacia la interfaz wüstita/magnetita (W/M). En esta última interfaz, la magnetita (Fe_3O_4) se reduce y se forma wüstita (FeO). Los cationes trivalentes y divalentes (Fe^{++} y Fe^{+++}) y los electrones de la capa de magnetita se mueven en la interfaz magnetita/hematita (M/H), donde se genera magnetita (Fe_3O_4) y se reduce la hematita (α-Fe_2O_3). La hematita se forma en la interfase hematita/aire (H/A) o en la interfase magnetita/hematita (M/H). Este fenómeno depende de qué ion posee mayor movilidad. Es decir, si los cationes son más móviles, la hematita se forma en la interfaz H/A, mientras que si los aniones son más móviles, se forma en la interfaz M/H. El mecanismo es aceptable cuando se produce la oxidación isotérmica, pero si hay cambios de temperatura durante la etapa de calentamiento, el mecanismo aún no se ha comprendido completamente. Industrialmente, el mecanismo de oxidación depende del tipo de proceso (isotérmico o no). Sin embargo, estos procesos no deben afectar el comportamiento del acero.

En una línea de producción convencional de laminación en caliente, la cascarilla de óxidos se clasifica en cascarilla primaria, secundaria y terciaria. La cascarilla terciaria se genera durante las últimas pasadas de laminación y el posterior enfriamiento hasta temperatura ambiente y este laminillo debe cumplir con los requisitos mecánicos del producto final [6]. Todos los resultados obtenidos en este trabajo permiten verificar la composición y características estructurales de cascarilla terciaria en un alambrón SAE 1008, proporcionando información importante a la industria para el ajuste de las condiciones de proceso del alambrón.

Materiales y métodos

En este trabajo se utilizó un alambrón de acero SAE 1008, laminado en caliente hasta un diámetro de 6,4 mm con un posterior proceso de enfriamiento mediante transportador Stelmor. Los principales elementos presentes en la composición química del acero se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1. Elementos presentes en la composición química del alambrón de acero 1008.

% C	% Mn	% Si	% P	% S
0,07	0,38	0,13	0,008	0,019

El estudio estructural se realizó mediante microscopia óptica utilizando un microscopio Olympus GX51 integrado con un sistema de análisis de imágenes Material Plus. Además se utilizó microscopía electrónica de barrido (SEM) con análisis EDS. La caracterización de las capas de óxidos del laminillo también se realizó con Difracción de Electrones por Retrodispersión (EBSD), utilizando un microscopio electrónico de barrido FEG Quanta 200 equipado con cámara Digiview EBSD y software EDAX – OIM.

Las prácticas de laminación en caliente del alambrón llevadas a cabo en este trabajo involucran diferentes Temperaturas de Bobinado (LCT) en el transportador Stelmor y condiciones de enfriamiento hasta la temperatura ambiente mediante la ayuda de los ventiladores. Las variables utilizadas para cada muestra se describen en la Tabla 2.

Tabla 2. Condiciones de proceso utilizadas para el alambrón SAE 1008.

Muestra	LTC (°C)	Intensidad del ventilador en el transportador Stelmor (%)
Ab-A (abierto-alta)	970	50
Ce-A (cerrado-alta)	970	0
Ce-B (cerrado-baja)	890	0
Ab-B (abierto-baja)	890	50

Resultados y discusiones

Caracterización estructural del alambrón de acero

Con el fin de determinar el impacto de las condiciones de proceso sobre el alambrón y la cascarilla, se realizó una caracterización estructural por microscopía óptica de las secciones transversales de las muestras Ce-A y Ab-B, para diferentes condiciones de LTC y de aire (apertura del ventilador). Todas las muestras presentan una microestructura formada principalmente por ferrita, con un bajo contenido de perlita (Fig. 2), con tamaño de grano promedio de G=9 según la norma ASTM E112.

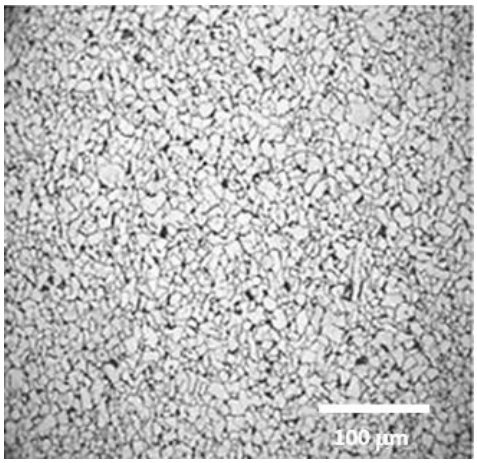
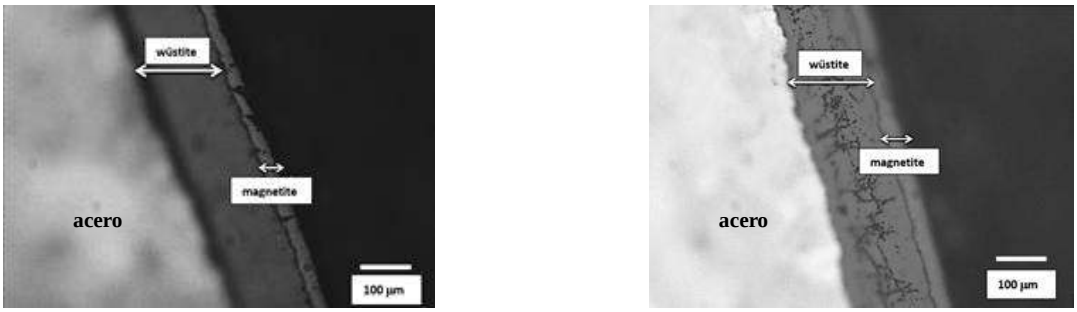


Fig. 2. Estructura de acero SAE 1008 formada por perlita y ferrita

Mediante la observación por microscopía óptica se identifican dos subcapas de diferentes óxidos dentro de la cascarilla: wüstita (FeO) y magnetita (Fe_3O_4), compatibles con el tipo de laminillo terciario [6]. Fig. 3 (a) y (b) presentan una comparación entre los aspectos de las capas de laminillo de las muestras Ce-A y Ab-B. En la muestra Ce-A la capa de wüstita presenta una estructura lisa con bajo contenido de grietas y poros. La capa de magnetita se desarrolló sobre la superficie de wüstita. La condición térmica en este caso implica una temperatura LTC más alta combinada con una condición de velocidad de enfriamiento más lenta como resultado de no usar aire forzado, logrando condiciones de difusión más favorables. Mientras que la muestra Ab-B presenta una cascarilla con una capa de wüstita con considerable cantidad de discontinuidades y porosidad. Las condiciones térmicas en este caso limitaron el proceso de difusión controlando el tamaño de grano de los óxidos, promoviendo la acumulación de tensiones localizadas y la formación de grietas en la subcapa de wüstita.

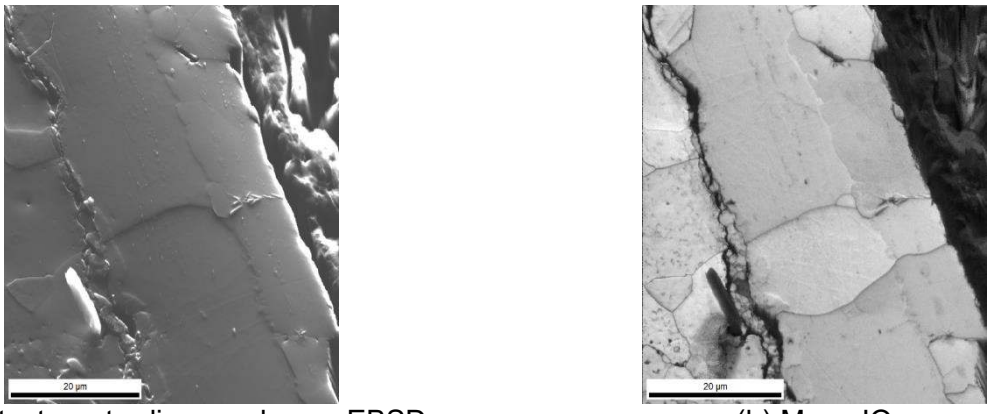


(a) Muestra Ce-A (b) Muestra Ab-B

Fig. 3. Comparación de los aspectos de la estructura de la cascarilla

Identificación de las fases de laminillo por EBSD combinada con análisis EDS

Con el fin de realizar un estudio comparativo sobre la microestructura de las subcapas de óxidos se realizaron barridos sobre diferentes áreas del laminillo, tomando dirección perpendicular al eje principal de deformación. En la Fig. 4 (a) es posible observar un área de aproximadamente 30 µm correspondiente a la muestra Ce-A, en contacto con la superficie del acero (indexada como granos cúbicos de ferrita). La cascarilla se subdivide en subcapas, la subcapa interna (en contacto con el acero) con ~20 µm de espesor y la externa con ~9 µm. Los granos de wüstita (FeO) del laminillo no parecen coincidir con los bordes de grano de la ferrita del sustrato. El mapa CI (Calidad de Imagen) de la muestra proporciona información con más detalle de los aspectos estructurales, los límites de las interfaces y las discontinuidades del grano Fig. 4 (b).



(a) Detector retrodispersado con EBSD (b) Mapa IQ

Fig. 4. Estructura de las capas de laminillo observada en la muestra Ce-A

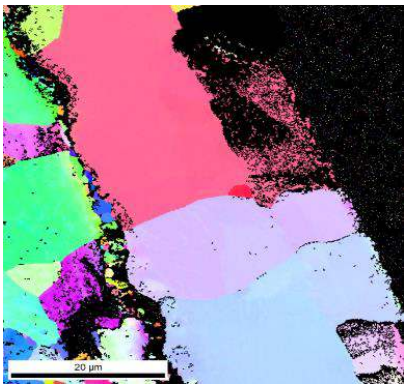
Es evidente que en la interfase FeO/acero se identifica la precipitación de granos equiaxiados muy finos. Se sabe que las distribuciones de las fases de óxido dependen en gran medida de las condiciones térmicas y atmosféricas durante laminación en caliente y de los elementos de aleación en la composición del acero [6]. Según [8], las altas temperaturas son acompañadas por incompatibilidades de crecimiento. En este caso, el uso de LTC=970°C y ventiladores apagados podrían justificar la precipitación de granos de magnetita que se produce sobre la superficie de la capa de wüstita, conservando la misma dirección de crecimiento pero con un tamaño de grano más pequeño. Estos desajustes provocan tensiones internas capaces de deteriorar la eficiencia de protección de las capas superficiales de laminillo. Por otro lado, aunque el contenido de silicio en este acero es bajo (0,13%), es posible la precipitación de fayalita en la interfase del sustrato, aunque no como una capa continua [7].

Con el fin de identificar las fases de óxidos presentes en la cascarilla de la muestra Ce-A y corroborar la estructura cristalina de las mismas, se realizaran mapeos IPF a bajos y altos aumentos. En el mapa IPF se indexaron las fases wüstita (FeO – W) y magnetita (Fe_3O_4 – M) adheridas a la superficie de acero (S), ver Fig. 5. Es posible considerar que las condiciones térmicas proporcionaron posibilidades favorables para desarrollo de una capa de wüstita (W) con granos en dirección de

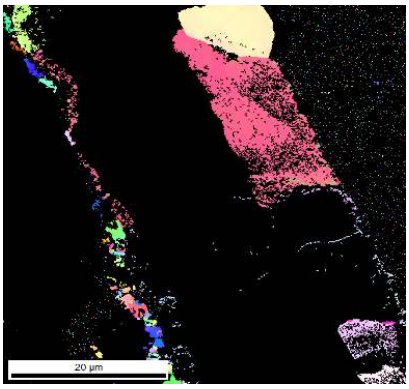
crecimiento normal respecto a la superficie del acero y constituida principalmente por grandes granos columnares. Los granos de magnetita (M) se desarrollan sobre la superficie de la capa de wüstita, conservando la misma dirección de crecimiento pero con un tamaño de grano más pequeño.

Fig. 5. Mapas IPF que indexan las fases de óxidos: wüstite (W) y magnetita (M) adheridas a la superficie de acero (S) de la muestra Ce-A

Para identificar y corroborar la estructura cristalina cúbica de las fases presentes y para aclarar la estructura y naturaleza de la interfase FeO/sustrato de acero, se realizaron mapas IPF a mayores aumentos. En la Fig. 6 (a) se observa que el laminillo de la muestra Ce-A presenta granos finos de wüstita cúbica, localizados entre otros granos grandes y masivos de la misma fase. Sin embargo, los granos de magnetita tienen un tamaño de grano más chico. En esta zona, la capa de wüstita presenta un espesor de aproximadamente 40 µm y la capa de magnetita externa de 9 µm, corroborando la variación de espesor de la cascarilla del alambre en relación con la zona de observación. Generalmente, los límites de grano no muestran continuidad entre ambos óxidos.



(a) Mapa IPF indexando wustita



(b) Mapa IPF indexando magnetita

Fig. 6. Mapas IPF indexando las fases wüstita y magnetita en la muestra Ce-A

La Fig. 6 (b) permite observar los granos indexados de magnetita cúbica, desarrollados sobre los granos de wüstita con tendencia morfológica columnar y tamaño de grano chico. Además, fue posible corroborar la presencia de magnetita con granos muy finos y equiaxiados característicos de la denominada "veta de magnetita" formada en la interfase FeO/sustrato de acero [6]. La condición térmica utilizada durante el procesamiento del alambre Ce-A promovió una microestructura dúplex de la magnetita. Según [6] también considera como una posible fuerza impulsora para la formación de "veta de magnetita" las tensiones acumuladas durante la formación del laminillo como consecuencia del crecimiento de óxidos, el desajuste de expansión térmica y las fuerzas aplicadas durante el procesamiento.

Fig. 7 muestra un mapa IPF que indexa solamente la fase magnetita que permite verificar que en contacto con el sustrato de acero se forman pequeños granos de magnetita para las condiciones de laminación en caliente.

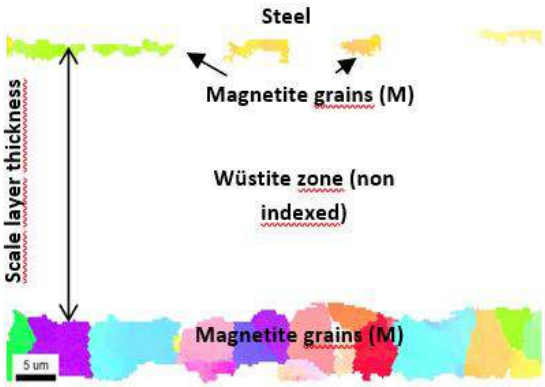


Fig. 7. Mapa IPF indexando solo la fase magnetita de fase (Fe_3O_4 – M) en la muestra Ce-A

Cinética y mecanismos de formación de la cascarilla

En general, a altas temperaturas la oxidación del alambrón ocurre según los siguientes pasos: i) en primer lugar, el oxígeno es absorbido en la superficie del metal, lo que generalmente no es un paso limitante de la velocidad, ii) en segundo lugar, se forma el óxido y cubre la superficie, formando un laminillo de óxidos, iii) finalmente, el espesor del laminillo aumenta a expensas del metal.

Desde el punto de vista de la ingeniería, la tercera etapa es la más relevante porque genera la mayor pérdida de metal. La tasa de densificación de los óxidos de la cascarilla se produce a través de diferentes combinaciones de mecanismos de ganancia de peso en función del tiempo con un comportamiento lineal, parabólico, logarítmico o cúbico. El tipo de relación depende de las propiedades microestructurales de la cascarilla formada. Si la capa de óxido es lo suficientemente porosa, el proceso de difusión es muy rápido, el gas oxidante accede fácilmente al metal y la reacción química en la interfaz controla la velocidad del proceso de oxidación. Cuando el material es una aleación, el proceso de oxidación se vuelve complejo debido al impacto de diferentes elementos en la formación del laminillo. La termoquímica computacional se considera una poderosa herramienta para predecir la evolución de las aleaciones en condiciones de proceso, sin embargo es necesario considerar que los procesos industriales ocurren fuera de equilibrio [9].

La simulación termodinámica de para-equilibrio proporciona información sobre la evolución de las fases del laminillo (Fig. 8) y sobre la evolución de la microestructura de acero SAE 1008 (Fig. 9), ambas en relación con la temperatura. La Fig. 8 permite predecir la evolución de las fases del laminillo en la superficie del alambrón de acero durante laminación en caliente y posterior enfriamiento a temperatura ambiente. Es posible observar que a las temperaturas de proceso de laminación en caliente, la cascarilla en la superficie del acero está formada por wüstita (FeO) como fase principal para todo el rango de temperaturas. Las fases menores que se forman son hematita (Fe_2O_3) y fayalita $FeSiO_3$. Durante el enfriamiento, la fase hematita se vuelve inestable a los 575°C y a los 550°C comienza a formarse la fase de magnetita. Además, a 570°C se inicia un proceso de reordenamiento de los granos del laminillo (recristalización primaria) que ocurre durante la transformación de la wüstita en magnetita [10]. A una temperatura inferior a los 500°C, la wüstita disminuye y compite con la transformación de la fase de magnetita, lo que promueve el aumento de la magnetita en el laminillo.

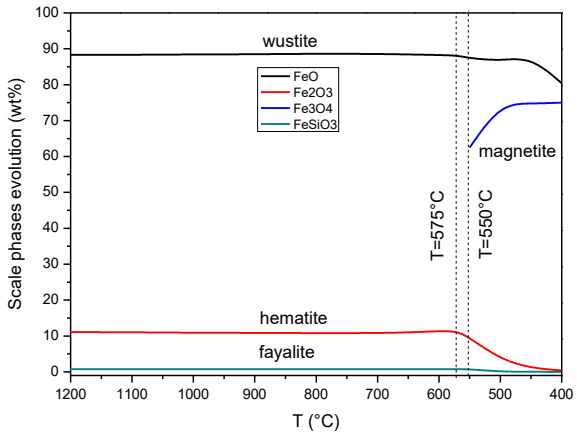


Fig. 8. Evolución de las fases del laminillo durante laminación en caliente

Para una mejor comprensión de la evolución del sistema acero – cascarilla con la temperatura en condiciones de para-equilibrio, es necesario integrar los resultados de las Fig. 8 y Fig. 9. La Fig. 9. permite determinar que las temperaturas de transformación del acero son $T_{\delta\gamma}$ = 1351°C y $T_{\gamma\alpha}$ = 911°C. Para $T_{\delta\gamma}$ = 1351°C se produce la transformación de la solución sólida ferrita α (bcc) en solución sólida austenita γ (fcc). Es posible considerar que al inicio del proceso de laminación en caliente el acero está constituido por fase γ (austenita fcc) y el laminillo en estas condiciones de operación presenta una alta proporción de wüstita (FeO), con un buen comportamiento lubricante, junto con bajos contenidos de hematita (Fe_2O_3) en la capa exterior de la cascarilla y la fayalita ($FeSiO_3$) en la interfaz entre el sustrato de acero y el laminillo. La fase fayalita está presente en este caso debido al contenido del Si en el acero. A temperaturas de ~1177ºC, la fase eutéctica FeO-$FeSiO_3$ se funde y podría infiltrarse en los bordes de grano del acero [7]. La profundidad de penetración en el laminillo aumenta con el contenido de Si. La presencia de fase líquida mejora la adherencia del laminillo para aceros que contienen menos del 0,5% en peso de Si, pero para contenidos de Si más altos (hasta 1,5% en peso) la tendencia se invierte. En este acero el contenido de silicio es del 0,13% y se prevé la primera opción.

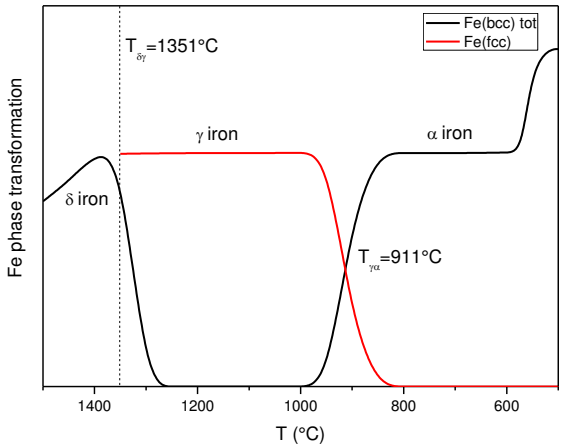


Fig. 9. Evolución de las fases del acero en función de la temperatura en condiciones de laminación en caliente del alambrón

Cuando el alambrón alcanza $T_{\gamma\alpha}$ = 911°C, comienza la transformación de austenita a ferrita + perlita. A estas temperaturas el laminillo presenta una alta proporción de wüstita, un bajo contenido de hematita y fayalita en la interfaz acero – cascarilla. Para T = 575°C, la fase hematita de la capa externa del laminillo se vuelve inestable y por el proceso de difusión se transforma en magnetita. Esta transformación se potencia para T > 550°C. Esta fase se forma en la superficie de wüstita. Durante la etapa final de enfriamiento, el alambrón presenta una microestructura ferrítica – perlítica del acero. La interfase entre el acero y la cascarilla mantiene un bajo contenido de fayalita combinada con granos de magnetita como resultado de la transformación de FeO de la fase

eutéctica generada a altas temperaturas. El laminillo terciario final está constituido por granos de wüstita con una capa superficial de magnetita.

Conclusiones

El aumento de la Temperatura de Bobinado (LTC de 890ºC a 970ºC, con y sin apertura del ventilador de aire), durante el procesamiento del alambrón no ha provocado cambios microestructurales en el producto de acero SAE 1008. Las muestras de acero presentaron la misma estructura ferrítico – perlita con un índice de tamaño de grano G=9. Sobre esta base es posible pensar que las condiciones de operación seleccionadas no afectan el comportamiento mecánico del alambrón.

Los resultados de microscopía óptica y microscopía electrónica de barrido con EBSD permiten identificar con certeza las fases presentes en el laminillo terciario de alambrón SAE 1008. La información obtenida también proporciona la estructura cristalina de las fases wüstita y magnetita y la naturaleza de los bordes de grano en cada muestra. A través de EBSD también se identificaron las “vetas de magnetita” formadas por granos equiaxiados de magnetita en la interfaz entre el acero y la cascarilla. Estas “vetas de magnetita” en ambas muestras se combinan con una fase no continua de fayalita, la cual es promovida por el contenido del silicio en el acero.

La muestra Ce-A procesada a una LTC = 970ºC y 0% de apertura de ventiladores en el transportador Stelmor presenta una mayor proporción de "vetas de magnetita" de granos equiaxiados combinados con fayalita en la interfase entre el acero y la cascarilla, promoviendo un comportamiento diferente en el decapado del producto.

A partir de las características del laminillo obtenido en la muestra Ab-B con una LTC = 890ºC y 50% de apertura de ventiladores en el transportador Stelmor, con las características estructurales del laminillo terciario que presenta una fase wüstita como principal constituyente recubierto con magnetita, se puede afirmar que es adecuada para el proceso de decapado químico posterior.

Según los resultados obtenidos por la caracterización estructural (considerando microscopía óptica y EBSD) y la simulación termodinámica, es posible considerar que la mejor condición de procesamiento del alambrón SAE 1008 para desarrollar la mejor cascarilla para el decapado químico corresponde a la temperatura LTC 890ºC en el transportador Stelmor y con un 50% de apertura de los ventiladores de aire. La wüstita siempre tiene entre un 5 y un 16 % de defectos (vacantes) de átomos de Fe. Es posible considerar que esto se traduce en que la wüstita es la fase más blanda y la más soluble en ácido de todos los óxidos presentes. La magnetita es insoluble en baño ácido. El laminillo terciario también presenta un espesor y densidad adecuados. Sin embargo, se formaron grietas debidas a las diferencias de contracción térmica entre el sustrato de acero y el laminillo durante el enfriamiento. Además, la historia térmica con aceleración de enfriamiento mediante ventiladores genera la menor proporción de "vetas de magnetita" y fase fayalita en la interfaz, mejorando las propiedades para el decapado. La aceleración del enfriamiento del alambrón mediante ventiladores hasta los 570–400°C ayuda a garantizar la retención de la wüstita evitando su descomposición en magnetita, la cual es altamente adhesiva y provoca una mala eliminación de la cascarilla de la superficie del alambrón. La wüstita en el rango de 570ºC–400ºC antes de la transformación de la magnetita, presenta una variación considerable de la constante de red que induce la concentración de tensiones. Una alta temperatura de LTC (LTC = 970ºC, sin apertura de ventiladores) genera un laminillo con una proporción considerable de "vetas de magnetita" que aumenta la adherencia del laminillo sobre la superficie del alambrón.

Referencias

1. A. B. Sychkov, M. A. Zhigarev, S. Yu. Zhukova, A. V. Perchatkin, y V. I. Gritsaenko. (2013). Ensuring complete scale removal from wire rod before drawing. Steel in Translation, 43, 73–78. https://doi.org/10.3103/S0967091213020174

2. S. Birosca y R.L. Higginson. (2003). Study of Scale Growth on Steel Substrates Using EBSD. Materials Science Forum, 426-432, 3611-3616.
http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.426-432.3611

3. O.A. Zambrano, J.J. Coronado y S.A. Rodríguez. (2015). Mechanical properties and phases determination of low carbon steel oxide scales formed at 1200 °C in air. Surface & Coatings Technology, 282, 155-162.
http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2015.10.028

4. B.K. Kim y J.A. Szpumar. (2001). Orientation imaging microscopy for the study on high temperature oxidation. Scripta Materialia, 44, 2605-2610.
https://doi.org/10.1016/S1359-6462(01)00942-3

5.R.L. Higginson, G.D. West y M.A.E. (2007). The Characterisation of Oxide Scales Grown on Nickel Containing Steel Substrates Using Electron Backscatter Diffraction. Jepson: Materials Science Forum, 539-543, 4482-4487.
http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.539-543.4482

6. X. Yu, Z. Jiang, J. Zhao, D. Wei, J. Zhou, C. Zhou y Q. Huang. (2015). Local strain analysis of the tertiary oxide scale formed on a hot-rolled steel strip via EBSD. Surface & Coatings Technology, 277, 151–159.
http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2015.07.037

7. A.A. Mouayd, A. Koltsov, E. Sutter y B. Tribollet. (2014). Effect of silicon content in steel and oxidation temperature on scale growth and morphology. Materials Chemistry and Phisycs, 143, 3, 996-1004.
https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2013.10.037

8. C. Juricic, H. Pinto, D. Cardinali, M. Klauss, Ch. Genzel y A.R. Pyzalla. (2010). Effect of Substrate Grain Size on the Growth, Texture and Internal Stresses of Iron Oxide Scales Forming at 450 °C. Oxid Met, 73, 15–41.
https://doi.org/10.1007/s11085-009-9162-1

9. J.P. Harvey, F. L. Desilets, J. Marchand, K. Oishi, A.F. Bouara , C.Robelin, A.E. Gheribi y A.D. Pelton. (2020). On the Application of the FactSage Thermochemical Software and Databases in Materials Science and Pyrometallurgy. Processes, 8, 1156-1187;
https://doi.org/10.3390/pr8091156

10. B. Maalem, D. Berdjane, O. Belahssen, L. Tairi, Y. Faci y S. Djemili. (2019). Identification of thermal and microstructural properties of hot rolling scale. Acta Metallurgica Slovaca, 25, 4, 291-296
https://doi.org/10.12776/ams.v25i4.1360

MANTENIMIENTO EFICIENTE DE MOTORES ELÉCTRICOS: GESTIÓN CLAVE PARA LA SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA

Franco N. Giusti[1]. Sergio J. Salinas[1]. Federico E. Conte[1]; Ariel A. Smaia[1]. Mario O. Blume[1]

[1] Grupo GEEE, FRSN, UTN, Colón 332–San Nicolás- Buenos Aires.
mblume@frsn.utn.edu.ar

Resumen

Los sistemas de motores son responsables del mayor consumo eléctrico en el sector industrial. Según un estudio del Institute for Industrial Productivity, aproximadamente 30 millones de nuevos motores eléctricos se venden cada año con fines industriales, los cuales son responsables del 40% de la electricidad a nivel mundial y un 70 % del consumo industrial requerida para impulsar bombas, ventiladores, compresores y una larga variedad de equipos de tracción mecánica. A su vez, el consumo de esta energía eléctrica representa alrededor del 10% de las emisiones globales de CO2. En este artículo se plantean las prácticas disponibles y como impactan en el consumo de equipos de estas características, que involucran ningún o muy bajo nivel adecuado de inversión y que puede verse recompensada a largo plazo con una mayor eficiencia, una vida útil más prolongada, una reducción de los costos operativos y una mayor seguridad llevar a una reducción importante del consumo energético de los motores.

Los beneficios de realizar una gestión mantenimiento adecuada de los motores eléctricos, además de la mejora del rendimiento que nos garantiza un ahorro energético, extensión de la vida útil, reducción del riesgo de averías y, entre otras cosas, mayor seguridad. Implicará, además, correcta planificación y programación con monitoreo objetivo, subjetivo o continúo dada la criticidad equipos, no sólo en el grado de importancia en su servicio sino también en tiempo de funcionamiento y tamaño de los mismos.

Además, estos planes de mantenimiento servirán para evidenciar una correcta gestión de la energía ante una auditoria de la Norma ISO 50.001.

Palabras Clave: ISO 50.001, Motores Eléctricos, Eficiencia Energética

Alcance

El alcance contempla listar algunas de las mejores prácticas que deben aplicarse al mantenimiento de motores eléctricos de inducción trifásicos de baja tensión en plantas industriales con el objeto de garantizar el uso eficiente de la energía.

Evidenciar como impactan estas prácticas en el consumo de equipos de estas características, que involucran ningún o muy bajo nivel adecuado de inversión y que puede verse recompensada a largo plazo con una mayor eficiencia, una vida útil más prolongada, una reducción de los costos operativos y una mayor seguridad llevar a una reducción importante del consumo energético de los motores.

Introducción

Los sistemas de motores son responsables del mayor consumo eléctrico en el sector industrial.

Aproximadamente el 40% de la energía eléctrica consumida responde a la potencia requerida para impulsar bombas, ventiladores, compresores y una larga variedad de equipos de tracción

mecánica. A su vez, el consumo de esta energía eléctrica representa alrededor del 10% de las emisiones globales de CO2

Figura 1: Demanda eléctrica global.

La tecnología del motor ha evolucionado en las últimas décadas. Actualmente se encuentran disponibles productos superiores denominados «premium», listos para cambiar el mercado hacia la eficiencia energética y contribuir a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en todo el mundo.

En este documento se abordarán las mejores prácticas enfocadas desde el punto de vista de los motores de inducción trifásicos, los cuales representan más del 90% de la capacidad instalada de motores en el sector industrial.

Existe un potencial para mejorar la eficiencia energética de los sistemas de motores industriales de un 20% a un 30%.

Los motores eléctricos funcionan durante muchas horas al año y como consecuencia, en el costo del ciclo de vida, el consumo de energía eléctrica toma mayor relevancia frente a los costos de mantenimiento e inversión.

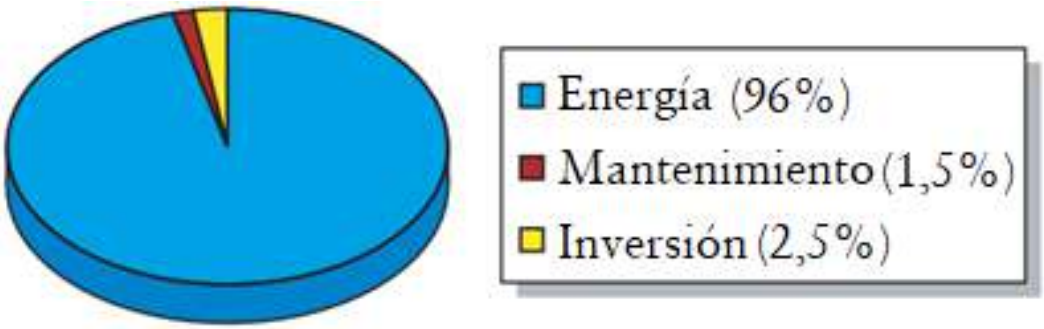


Figura 2: Costo del ciclo de vida de motores eléctricos.

En muchas aplicaciones vale la pena reemplazar los equipos incluso cuando queda una vida útil considerable. Se debe mencionar que los motores eléctricos tienen una vida útil de 20 años o más, respetando las buenas prácticas de mantenimiento rutinario.

De acuerdo con la norma IEC 60.034, la eficiencia (e) de un motor eléctrico es la relación entre la potencia de salida o útil (mecánica) y la potencia de entrada o absorbida (eléctrica). Para obtener el valor de la potencia mecánica en el eje (útil) se puede recurrir al método directo.

Para ello se requiere medir el par motor (T)- mediante un torquímetro- y las revoluciones por minuto (Ω). La potencia útil queda expresada en Watts mediante la siguiente expresión (las unidades de velocidad son “rad/s” y las de torque “Nm”):

$$P_{salida} = \frac{T}{\Omega} \quad (1)$$

Por otra parte, la energía eléctrica absorbida está dada por la expresión:

$$P_{eléctrica}[W] = \sqrt{3} \cdot V_{línea}[V] \cdot I_{línea}[A] \cdot cos\varphi \quad (2)$$

Donde “V” es la tensión de línea en la alimentación, “I” la corriente de línea y “$cos\varphi$” el factor de potencia.

La diferencia entre estas dos potencias considera pérdidas tanto eléctricas como mecánicas. La expresión de la eficiencia del motor resulta:

$$e = \frac{P_{mecánica\ en\ el\ eje\ (útil)}}{P_{eléctrica\ absorbida}} \quad (3)$$

La clase de eficiencia y el rendimiento del motor, determinados de acuerdo con IEC 60.034 a carga nominal pueden encontrarse en la placa característica y en la documentación del motor, así como también en los catálogos del fabricante.

Es importante estudiar y comprender las pérdidas que existen en el funcionamiento de un motor para poder entender como el correcto mantenimiento nos puede ayudar a reducirlas.

En un motor de inducción existen seis tipos de pérdidas con sus factores que las incrementan:

- Pérdidas en el núcleo (hierro) del estator y del rotor:
  - Cambios en la densidad de flujo magnético
  - Excesiva presión radial o axial sobre el núcleo
  - Calentamiento excesivo para el retiro del bobinado dañado
  - Daño mecánico del núcleo

- Pérdidas adicionales de carga:
  - Daños en la superficie de los entrehierros
  - Entrehierro no uniforme (rotor excéntrico con respecto al estator)
  - Cambios en el entrehierro
  - Daños en las láminas externas del núcleo

- Pérdidas resistivas en bobinado del estator:
  - Aumento de la longitud media de las espiras
  - Reducción de la sección/calibre de los alambres del bobinado
  - Cambios realizados en la configuración del bobinado del estator

- Pérdidas resistivas en rotor (para el caso de motores con rotor bobinado):
  - Aumento de la longitud media de las espiras

- Reducción de la sección/calibre de los alambres del bobinado
- Cambios realizados en la configuración del bobinado del rotor.

- Pérdidas por fricción y ventilación. Aumentan debido a cambios realizados en:
  - Rodamientos;
  - Retenes (sellos);
  - Lubricación;
  - Ventilador;
  - Ductos/canales de aire;
  - Temperatura de operación.

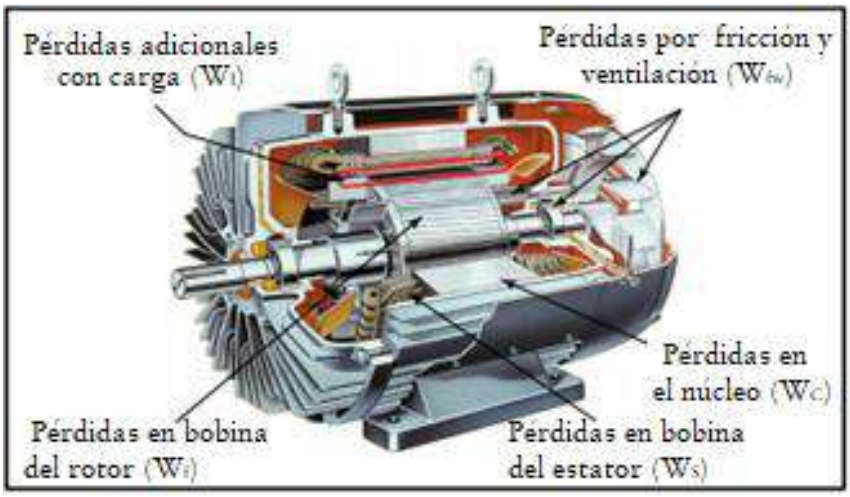


Figura 3: Pérdidas en las diferentes partes del motor con rotor jaula de ardilla

Considerando que el motor trabaja a una frecuencia fija, las pérdidas por fricción, ventilación y en el núcleo no varían significativamente con la carga.

Mejores Practicas

Inspecciones de rutina

Las inspecciones de rutina son fundamentales para garantizar el correcto funcionamiento y prolongar la vida útil de los motores eléctricos. Estas inspecciones permiten detectar a tiempo posibles problemas y evitar fallas inesperadas que pueden generar costosas reparaciones y tiempo de inactividad.

La primera inspección del motor se debe realizar según las especificaciones tras aproximadamente 500 horas de servicio, pero como máximo tras medio año. Se deben comprobar los parámetros eléctricos, temperatura de los cojinetes y ruidos de funcionamiento, y verificar que no haya daños ni hundimiento en los cimientos.

La inspección principal se debe realizar tras aproximadamente 10.000 horas de servicio. Se debe comprobar, junto con lo antes mencionado en la inspección inicial, la alineación del motor, tornillos de sujeción, cables y material de aislamiento.

A continuación, se presentan las principales inspecciones para tener en cuenta en un plan de mantenimiento de motores eléctricos:

- Asegurarse que los motores estén libres de suciedad y residuos

- Asegurarse que el ventilador de refrigeración y las paletas de enfriamiento no se encuentren obstruidos y el flujo de aire sea adecuado
- Verificación de ausencia o bajo nivel de desbalanceo de tensiones (en caso de motores trifásicos)

Para los motores cuya transmisión se realice por correa, las mismas se deben examinar en búsqueda de signos de desgaste excesivo y que su asentamiento sea el correcto en la posición y con tensión adecuada. La mayoría de los motores tienen un sistema de transmisión mediante acople elástico. En dichos casos se deben alinear en función de las recomendaciones de instalación de los fabricantes e inspeccionar regularmente el estado de estos, mediante análisis de vibraciones e imágenes termográficas.

Lubricación y rodamientos:

Los rodamientos de los motores vienen engrasados de fábrica con grasa para rodamientos según la norma DIN 51.825. Como vimos anteriormente, es imprescindible que los motores se mantengan bien lubricados para lograr el buen funcionamiento y con un rendimiento óptimo.

En la siguiente gráfica se puede ver cómo se reducen las pérdidas por fricción y ventilación durante el rodaje inicial de un motor de 60hp bien lubricado:

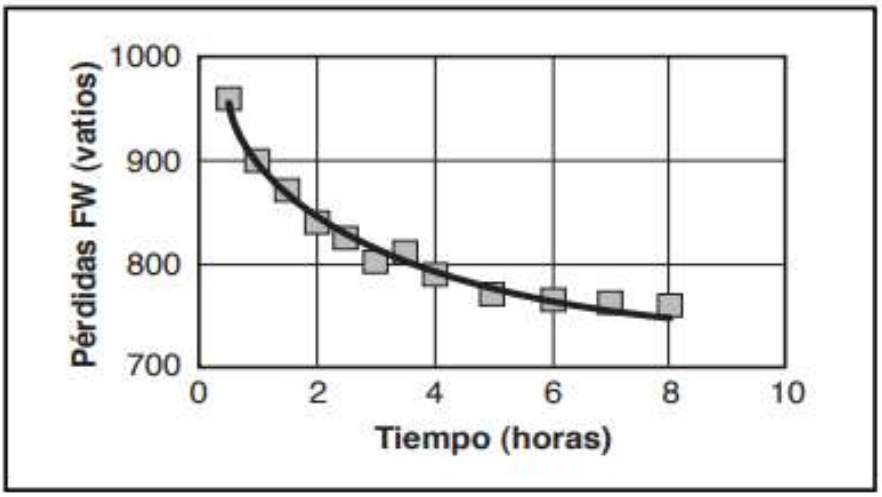


Figura 4: Reducción de pérdidas por fricción y ventilación durante el rodaje inicial de un motor de 60hp bien lubricado.

Bajo esfuerzos y condiciones ambientales normales, la calidad de la grasa permite un servicio de unas 10.000 horas en motores de dos polos y de unas 20.000 para motores de mayor número de polos. Si no se ha acordado otra cosa, estos períodos se entienden con la grasa original, sin renovarla. Pero es aconsejable controlar el estado de esta en períodos más cortos.

La frecuencia de lubricación varía según el tipo de motor, las condiciones de operación y la grasa utilizada. En el caso de los cojinetes de lubricación permanente es imprescindible que se realice, sin importar las horas de servicio, tras aproximadamente 3 años, un cambio de los cojinetes o de la grasa a causa de la disminución de la capacidad de lubricación de esta.

Se debe emplear el mismo tipo de grasa para la reposición. Para la sustitución deben utilizarse solamente las calidades de recambio indicadas por el fabricante del motor. Un punto importante a tener en cuenta es que solamente los dos tercios del espacio libre del rodamiento deben llenarse con grasa.

Un relleno completo de los rodamientos y de las tapas de rodamiento mediante grasa causará un aumento de la temperatura de los rodamientos y con eso un desgaste acelerado. Numerosos estudios han determinado que engrasar excesivamente los rodamientos puede aumentar las pérdidas por fricción, disminuyendo la eficiencia.

Rebobinado de motores

Según estudios disponibles, la mayoría de estos sobre motores pequeños (hasta 30hp), con frecuencia afirman que, al rebobinar un motor, su eficiencia disminuye entre 1% y 5% e inclusive más cuando es rebobinado varias veces.

Las casusas de este fenómeno son:

- Aumento de entrehierro entre motor y estator
- No utilización de controles específicos durante el desmantelado de bobinados o rebobinado
- Aumento de pérdidas en el hierro por disminución de las propiedades ferromagnéticas del núcleo de hierro
- Aumento de las pérdidas en el cobre por no mantener los parámetros originales del bobinado (cantidad de espiras, sección de cobre o calidad de los conductores)

Si se requiere realizar el rebobinado a pesar de las consecuencias mencionadas previamente, se recomienda realizarlo en centros de servicio calificado donde se respeten los parámetros originales (por ejemplo, no aumenten ni disminuyan el número de espiras).

Recambio de motores

Otra forma de generar un ahorro energético desde el mantenimiento es a la hora del recambio de motores por fallas o fin de su vida útil. Esto implica que al momento de cambiar un motor se lo reemplace por modelos de alta eficiencia o de eficiencia superior a la actual.

La Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) publicó, en el 2008, la norma 60.034 para máquinas eléctricas rotativas, replicada en Argentina como la Norma IRAM 62.405, la cual especifica los niveles de eficiencia energética para motores de inducción eléctricos trifásicos de velocidad única, de jaula de ardilla de 2 a 6 polos, 50/60 Hz y potencias de entre 0,75 y 90 kW.

Dicha norma define cuatro clases de eficiencia: IE0, IE1 (eficiencia estándar), IE2 (alta eficiencia) e IE3 (eficiencia premium). A su vez, actualmente se encuentran en desarrollo motores de nuevas tecnologías de muy alta eficiencia, los que se categorizarán como clases IE4 e IE5.

Dicho esto, se puede generar un plan de mantenimiento para la hora del recambio de motores. Lo primero que se hace es bloquear las compras de motores de eficiencia menor a IE3, por ejemplo. Con esto se consigue que cada vez que se necesite un motor se compre uno de una eficiencia alta, mejorando el desempeño energético del sistema en general.

Figura 5: Escalado de eficiencia energética en motores eléctricos según norma IRAM 62405

Con el paso del tiempo, se podrá ir renovando la flota de motores sin la necesidad de una inversión grande en un momento determinado, si no que de forma paulatina y necesaria para volver a poner en servicio el equipo impulsado por el motor.

Conclusiones

Uno de los pilares para poder alcanzar los objetivos mundiales de descarbonización hacia el 2030 es la eficiencia energética, entre otros. Esta no solo está presente con el reemplazo de equipos más eficiente que otros, sino que también hace foco en un correcto uso de la energía. Este puede darse a través de un correcto plan de mantenimiento de motores eléctricos.

Los beneficios de realizar una gestión mantenimiento adecuada de los motores eléctricos, además de la mejora del rendimiento que nos garantiza un ahorro energético, extensión de la vida útil, reducción del riesgo de averías y, entre otras cosas, mayor seguridad. Implicará, además, correcta planificación y programación con monitoreo objetivo, subjetivo o continúo dada la criticidad equipos, no sólo en el grado de importancia en su servicio sino también en tiempo de funcionamiento y tamaño de estos.

Además, estos planes de mantenimiento servirán para evidenciar una correcta gestión de la energía ante una auditoria de la Norma ISO 50.001.

En resumen, el mantenimiento eficiente de motores eléctricos es una inversión que genera múltiples beneficios a largo plazo garantizando el óptimo funcionamiento de los equipos, reduciendo los costos operativos y contribuyendo a la sostenibilidad de los procesos industriales.

Bibliografía

Best Practice Manual for Electric Motors. Devki Energy Consultancy Pvt. Ltd., India, 2006.

Best Practices in Energy Efficient Industrial Technologies: Motor Systems

Doppelbauer, Martin and KG, SEW Eurodrive GmbH&Co. Guide for the selection and Application of Energy-efficient motors. Germany: s.n., August 2009.

El efecto de la reparación/rebobinado en la eficiencia del motor. EASA, AEMT, 2003.

European Commission - Motor Challenge Program - Europump. European guide to single stage centrifugal pumps. February 2009.

Electric Motor MEPS Guide. Boteler, Brunner, De Almeida, Doppelbauer, Hoyt. Zurich, 1st Edition 2009.

The European Motor Challenge Programe. [Online] 2009. www.motor-challenge.eu.

Ferreira, Fernando J.T.E. and De Almeida, Anibal T. Large-Scale Downsizing of induction motors equiring stator rewinding as a low-cost strategy to save energy and extend motors lifetime. Portugal: s.n., August 2009.

IEC 60034-30 (Ed. 1.0): Rotating Electrical Machines - Part 30: Efficiency classes of single-speed, three-phase cage induction motor (IE code). [Online] 2008. www.iec.ch.

APLICACIÓN DE ELECTROCOAGULACIÓN AL AGUA RESIDUAL TRATADA POR LAGUNA FACULTATIVA

Daniel A. Sparvoli[1], Diego G. Semprini[1], Paula V. Sarmiento[1], Graciela N. Marín[1], Mariela M. Tabasso[1], Agustina V. Santo[1], Estefano Giuzio[1], Ángel Sigifredo[1].

[1.] Grupo de I+D en Alimentos e Ingeniería Química (GIDAIQ)
Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Villa María.
Av. Universidad 450. Villa María. (5900)
Email de contacto: gramarin@hotmail.com

Resumen

El desarrollo de nuestra sociedad lleva implícito un elevado coste medioambiental, por ello se investiga la aplicación de diversas tecnologías en la depuración del vertido de efluentes líquidos procedentes de actividades urbanas e industriales, a los medios acuáticos naturales.

Teniendo en cuenta este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo implementar el proceso de electrocoagulación en efluentes provenientes de tratamiento de estabilización por laguna facultativa secundaria, para el mejoramiento de su calidad.

Se realizan ensayos de electrocoagulación en una muestra de agua de laguna facultativa secundaria. Los mismos se desarrollan en las instalaciones de la Planta Piloto de la Facultad Regional Villa María de la UTN. Para esto se definen parámetros de trabajo, como son corriente, voltaje e intervalos de tiempo.

Luego de la aplicación de la Electrocoagulación y con el objeto de evaluar la eficiencia de dichos ensayos, se determinan indicadores de contaminación, como Demanda Química de Oxígeno (DQO), Turbidez, Conductividad y Fosfatos, y se comparan con los valores iniciales muestra sin tratar.

Los resultados muestran que el tiempo de aplicación del tratamiento influye en el porcentaje de remoción de los contaminantes, con un aumento en la eficiencia de remoción a medida que se incrementa del tiempo de aplicación de electrocoagulación.

La eficiencia máxima en la remoción de contaminantes en los distintos ensayos es del 44,8 % para DQO, del 81.69 % para la turbidez, del 96,41 % para fosfatos. Los valores de máxima eficiencia de remoción coinciden para todos los contaminantes y se obtienen para el ensayo de EC de 15 minutos.

Se concluye que la electrocoagulación es un tratamiento adecuado para la remoción de contaminantes en lagunas facultativas secundarias para el caso de los contaminantes analizados.

Palabras Clave: Electrocoagulación, Remoción de contaminantes, Tratamiento de Efluentes.

Introducción

El desarrollo de nuestra sociedad lleva implícito un elevado coste medioambiental, de cuya magnitud el ser humano sólo ha empezado a ser consciente en la última década. El conocimiento, cada vez más profundo, de los complejos mecanismos que rigen la interacción de la actividad humana – medio ambiente y de las tendencias de cambio que sigue nuestro planeta, ha provocado la sensibilización social y ha convertido en la actualidad a la Ingeniería Ambiental en un importante campo de investigación. De este modo, en los últimos años se están desarrollando y aplicando numerosas tecnologías de tratamiento que tienen por objetivo minimizar el impacto

sobre el ambiente ocasionado por los vertidos (sólidos, líquidos y/o gaseosos) generados por las actividades humanas.

Entre los diversos tipos de agresiones al Medio Ambiente, probablemente una de las que más ha centrado la atención del mundo investigador en los últimos años, ha sido el vertido de efluentes líquidos procedentes de actividades urbanas, agroganaderas e industriales a los medios acuáticos naturales. Esto ha sido así porque existe la conciencia de que el agua es un bien escaso, y el conocimiento de que de su correcta gestión depende en gran medida el funcionamiento de nuestra sociedad.

Normalmente, el tratamiento de las aguas, previo a su vertido en medios acuáticos naturales, consiste en la aplicación de una secuencia de operaciones unitarias, que tiene por objetivo eliminar los contaminantes del modo más económico posible. Esta última restricción es importante, dado que para eliminar un mismo contaminante normalmente existirá más de una operación unitaria técnicamente viable, y es el factor económico el que marcará la candidata idónea. De este modo, son comunes en el tratamiento de aguas procesos unitarios físicos, tales como la sedimentación y la filtración; químicos, como la precipitación y la oxidación; y biológicos, tales como la bio-oxidación y la fermentación anaerobia. En los residuos líquidos, una de las principales especies contaminantes son las partículas coloidales, caracterizadas por poseer un tamaño comprendido entre los 1 y 1000 nm, y una composición muy variada, que puede ser tanto orgánica (alimentos, productos de degradación natural de vegetales, etc.) como inorgánica (minerales pulverulentos contenidos en las aguas, etc.) (Matsumoto et al, 2010).

El objetivo de este trabajo es evaluar la aplicación del proceso de electrocoagulación en la remoción de contaminantes, del agua residual proveniente de tratamiento de estabilización por laguna facultativa secundaria.

Las lagunas de estabilización son sistemas de tratamiento relativamente fáciles de construir y operar, capaces de asimilar grandes variaciones en el flujo de aguas residuales, que pueden proporcionar eficiencias de tratamiento similares a las producidas por sistemas convencionales, generando un efluente altamente purificado, a un costo muy inferior que otros tratamientos (Kellner et al., 1998).

En este trabajo, nos encontramos con Lagunas Facultativas secundarias. Este tipo, representa la variante más simple de los sistemas de lagunas de estabilización. Básicamente, son estanques diseñados para producir condiciones que permitan el desarrollo de una población saludable de algas, ya que las dos fuentes de oxígeno son la actividad fotosintética de las algas y la reaireación a través de la superficie. La finalidad de estas lagunas es la estabilización de la materia orgánica en un medio oxigenado proporcionando principalmente por las algas presentes, y de esta manera obtener un efluente de la mayor calidad posible, en el que se haya alcanzado una elevada estabilización de la materia orgánica, y una reducción en el contenido en nutrientes y bacterias coliformes (Metcalf & Eddy,1996).

El conocimiento de la naturaleza del agua residual es fundamental, tanto para la elaboración de un proyecto de diseño, para la explotación de las infraestructuras, además de para el tratamiento y evacuación de las aguas residuales, y la gestión de la calidad del medio ambiental. Las aguas residuales se caracterizan por su composición física, química y biológica. Algunos de los contaminantes de interés en el tratamiento secundarios del agua residual, se basan en las tasas de eliminación de materia orgánica, sólidos en suspensión y patógenos presentes en el agua residual. Además, las exigencias normativas incluyen la eliminación de compuestos orgánicos refractarios, metales pesados y en algunos casos, sólidos inorgánicos disueltos (Metcalf & Eddy,1996).

Se conoce a la Electroquímica Ambiental como disciplina científico-tecnológica integrada en el cuerpo de conocimientos de la Ingeniería Electroquímica, y entre sus principales aplicaciones

comprende procesos de tratamiento de efluentes líquidos; entre los que se incluyen la electrolisis, la electrocoagulación, la electrodeposición y la electrodiálisis (Barrera Díaz, 2014).

Según Barrera Díaz, los procesos electroquímicos de remediación ambiental presentan una serie de ventajas respecto a las tecnologías no electroquímicas, con las que entran en competencia. Entre otras, destacan las siguientes:

- No se utilizan reactivos químicos, dado que el electrón es el único "reactivo" intercambiado. Por lo tanto se evita el transporte y la manipulación de compuestos altamente oxidantes y no se genera ningún tipo de residuos, como sucede en otras tecnologías de remediación.

- Los procesos electroquímicos se suelen desarrollar a presión atmosférica y a temperaturas próximas a la temperatura ambiente.

- El equipo que se requiere para el tratamiento es muy sencillo, siendo el componente central de este equipo es un reactor electroquímico, en el que el agua a tratar entra en contacto con dos electrodos, entre los que se establece una diferencia de potencial por medio de una fuente de alimentación. Esta diferencia de potencial provoca la movilidad de electrones y las correspondientes reacciones de oxidación en uno de los electrodos y de reducción en el otro. La sencillez del equipo y la facilidad de medida de las variables involucradas en los procesos hacen que estos procesos sean fácilmente automatizables.

- El control del potencial puede permitir un tratamiento selectivo de determinadas especies más fácilmente oxidables o reducibles. Ventaja importante respecto a otras tecnologías ambientales, en las que la selectividad es prácticamente nula.

Metodología y desarrollo experimental. Materiales y equipos

Para lograr los objetivos propuestos, se realiza la toma de una muestra de efluente de laguna facultativa, el desarrollo y la aplicación de un procedimiento experimental de electrocoagulación apropiado, y la medición y seguimiento de los parámetros de contaminación, como cuantificación de la efectividad de dicho tratamiento.

Dicha muestra es tomada de una laguna facultativa secundaria correspondiente a la planta de tratamiento de líquidos cloacales e industriales de la ciudad de Villa María.

El muestreo se realiza en el mes de agosto de 2023, a una profundidad de 10 cm por debajo de la superficie, en 3 botellas plásticas boca ancha, de 3 litros. Se resguarda de la luz y refrigera, hasta el comienzo de la determinación, con el objeto de evitar que se modifiquen sus características.

Se realizan los ensayos de Electrocoagulación, evaluando la eficiencia del mismo, a través de la determinación de parámetros físicos, químicos y biológicos como: pH, DBO_5 (demanda bioquímica de oxígeno), DQO (demanda química de oxígeno), SDT, SDF y SDV (sólidos disueltos totales, fijos y volátiles), Turbidez (NTU), Conductividad (mS/cm), PO_4^{3-} (mg/L). Su seguimiento permite cuantificar la acción de la técnica de Electrocoagulación sobre la muestra en estudio. Se aplican las técnicas analíticas estándares del Standard Methods For Examination Of Water And Wastewater 23rd ed. (APHA, 2017).

El desarrollo del ensayo de Electrocoagulación se realiza en la Planta Piloto de la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Villa María, con la muestra proveniente de la laguna facultativa secundaria de la Panta de tratamientos de efluentes de Villa María.

Previo al inicio del ensayo y la medición analítica de parámetros fisicoquímicos y biológicos, se homogeneiza en un único recipiente, y se retienen los sólidos gruesos mediante un colador de acero inoxidable. Se realiza una agitación manual, logrando mezclar de forma uniforme. Se toma

la cantidad de 1 litro de muestra, medido con una probeta de 1 litro, para ser vertido en el recipiente de vidrio o vaso de precipitado, adonde se realizará la electrocoagulación (EC).

Para los ensayos de EC se utilizan dos placas de aluminio que actúan como los electrodos de sacrificio, de dimensiones iguales, 70 x 120 x 2 mm. Dichas placas se separan mediante elementos aislantes a una distancia de 18 mm y se las conecta a fuente de suministro eléctrica, como puede verse en la figura 1.

Figura 1: Disposición de las placas de aluminio y conectores de corriente.

La alimentación de energía se puede realizar fijando, como parámetros de ensayo, tanto los valores de tensión o los de corriente, siendo la otra respectiva variable, de ajuste automático. En cualquiera de esos casos, se utiliza una fuente de energía con la capacidad de inversión de fase en el tiempo como se muestra en la imagen A de la figura 2. Además, para desplazar la porción de muestra que se encuentra sobre la lámina de aluminio, se realiza la agitación de la muestra durante el ensayo, mediante la utilización de un agitador magnético, con el respectivo equipo de agitación, como puede verse en la imagen B de la figura 2.

Dado que una de las variables de control son la tensión y la corriente de ensayo, en cada una de las corridas se utilizaron dos equipos multímetros digitales de 3 dígitos, con el objetivo de realizar el ensayo controlando y registrar estos valores, de forma manual (fig. 2 C). Uno de estos equipos, que se encuentra conectado en serie, mide la corriente que consume las placas de aluminio mientras que el otro equipo conectado en paralelo registra los valores de la diferencia de potencial que tienen entras las placas mientras se realiza el proceso de electrocoagulación (figura 2).

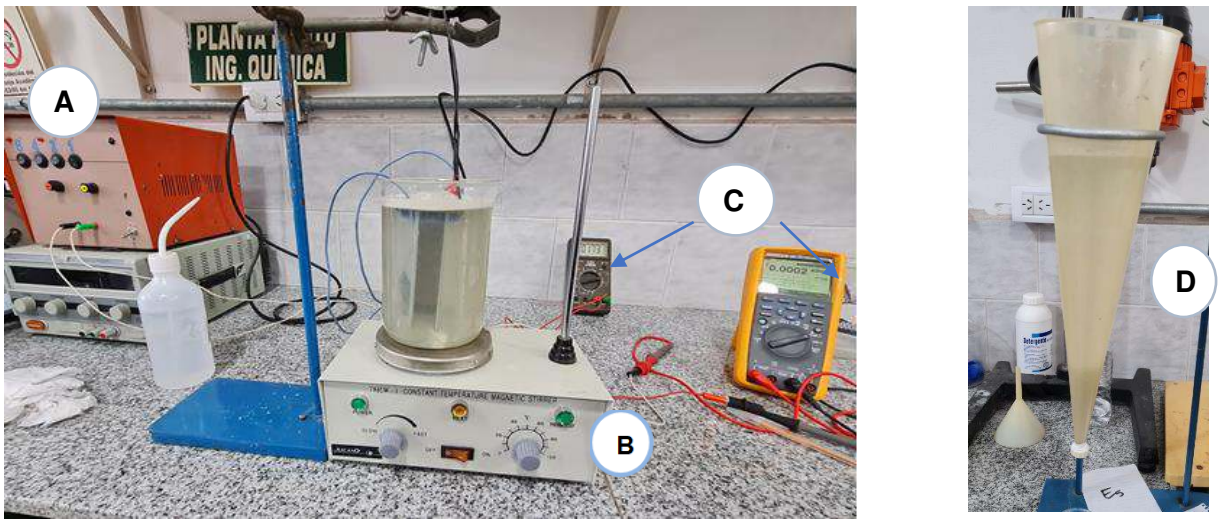


Figura 2: Sistema de materiales y equipos del ensayo de electrocoagulación. Siendo: A Fuente; B equipo de agitación; C multímetros digitales; D Sedimentación en conos de Imhoff.

Luego de la electrocoagulación (EC) y previo a realizar los respectivos ensayos, a una parte de la muestra se la realiza la sedimentación, en conos de sedimentación de Imhoff, para conseguir la eliminación de los sólidos generados en dicho proceso (fig. 2- D). A partir de la aplicación de la EC se generan espumas en la superficie de la muestra tratada. Por esta razón, la muestra para determinación de parámetros se toma del centro del vaso de precipitado El tiempo de sedimentación en el cono se fija en 20 minutos a partir de la finalización de la EC.

Parámetros y variables de ajuste para el ensayo. Denominación de las muestras.

Los parámetros de ajuste que se tienen en cuenta al momento de realizar la electrocoagulación son el tamaño de las placas de aluminio, la distancia de separación entre las placas de aluminio; la cantidad de corriente o de tensión de ensayo; el tiempo de duración del ensayo y el tiempo de inversión de fase de la fuente de alimentación. Para el caso en estudio, se toman los siguientes parámetros de análisis (Tabla 2).

Tabla 2: Valores adoptados de parámetros y variables, en el ensayo.

Parámetros y variables	Valor adoptado
Tamaño de las placas de aluminio	70 x 100 x 1,5 mm
Distancia de separación entre las placas de aluminio	18 mm
Corriente de ensayo	Fija de 1000 mA
Tensión de ensayo	Variable
Tiempo de duración de ensayo	3, 6, 9, 12 y 15 minutos
Tiempo de inversión de fase de la fuente de alimentación	1 minuto
Tiempo de decantación de la muestra	20 minutos

Se realizan una total de 5 corridas de electrocoagulación. La identificación de las muestras se indica en la tabla 3.

Tabla 3: Denominación de las muestras según el tratamiento aplicado.

Denominación	Tratamiento de EC (min)
E0	0 (Inicial sin tratamiento)
E1	3
E2	6
E3	9
E4	12
E5	15

Resultados y discusión

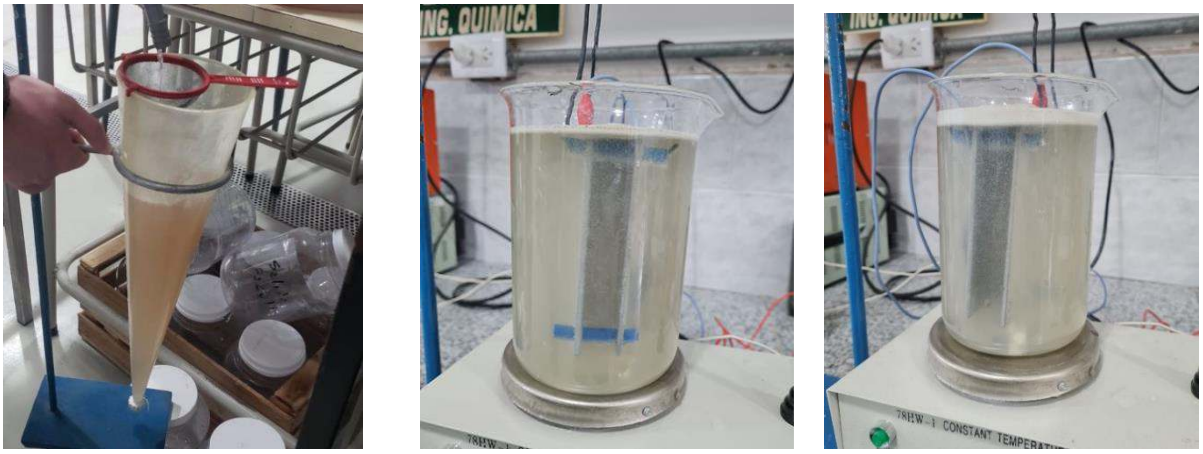
Se exponen a continuación, los resultados obtenidos en cada uno de los ensayos o corridas realizadas, según los tiempos adoptados. Se utilizan dos multímetros digitales, uno para medir los valores de tensión y otro para medir los valores de corriente, cuyos los promedios se observan en la Tabla 4.

Tabla 4: Valores promedios de Tensión y corriente para cada corrida.

	Datos de corrida				
Ensayo	E1	E2	E3	E4	E5
Tiempo de corrida (min)	3	6	9	12	15
Tensión (V) Promedio	14,826	14,33	14,325	14,454	14,288
Corriente (A) Promedio	1.023	1.018	1.0155	1,0165	1.0155

En la figura 3, se muestran las imágenes características del sistema, luego de la aplicación de los tiempos de electrocoagulación, con una corriente fija de 1000 mA.

a) b) c)



d) e) f)

Figura 3: Características del sistema, luego de la aplicación de la electrocoagulación (EC) en a) E0: Inicial, b) E1: 3 minutos, c) E2: 6 minutos, d) E3: 9 minutos, e) E4:12 minutos, f) E5: 15 minutos.

5.1. Resultados parámetros físico- químicos de cada ensayo de EC.

Luego de la aplicación de cada tiempo de tratamiento a la muestra tomada en la laguna facultativa, se evalúan los parámetros fisicoquímicos de las fracciones obtenidas, que se presentan a continuación en la tabla 5.

Tabla 5: Muestra de Laguna Facultativa del 08/08/2023. Seguimiento de DQO, Turbidez, conductividad y Fosfatos, en cada tiempo de EC.

Ensayo	DQO (mg/L)	Remoción DQO (%)	pH	Turbidez (NTU)	Remoción Turbidez (%)	Conductividad (mS/cm)	PO_4^{3-} (mg/L)	Remoción PO_4^{3-} (%)
E0	471,55		7,37	71		1,76	26,49	
E1	384,87	18,4	7,18	62	12,68	1,77	16,78	36,65
E2	335,98	28,8	6,9	51	28,17	1,73	4,69	82,27
E3	304,86	35,3	7,5	49	30,99	1,68	4,83	81,75
E4	264,86	43,8	7,67	22	69,01	1,8	1,37	94,84
E5	260,41	44,8	7,5	13	81,69	1,62	0,95	96,41

A partir de los resultados de encontrados, se realiza el análisis del comportamiento en el tiempo y se pueden observar en la Figura 4 a) para los parámetros de contaminación DQO, Fosfatos, Turbiedad y 4 b) sus respectivos porcentajes % de remoción, considerando como 100 % al valor inicial de la muestra E0, calculado como se muestra en la Ecuación 1.

% Remoción= 100 - (Valor hallado/ Valor inicial) x 100 [1]

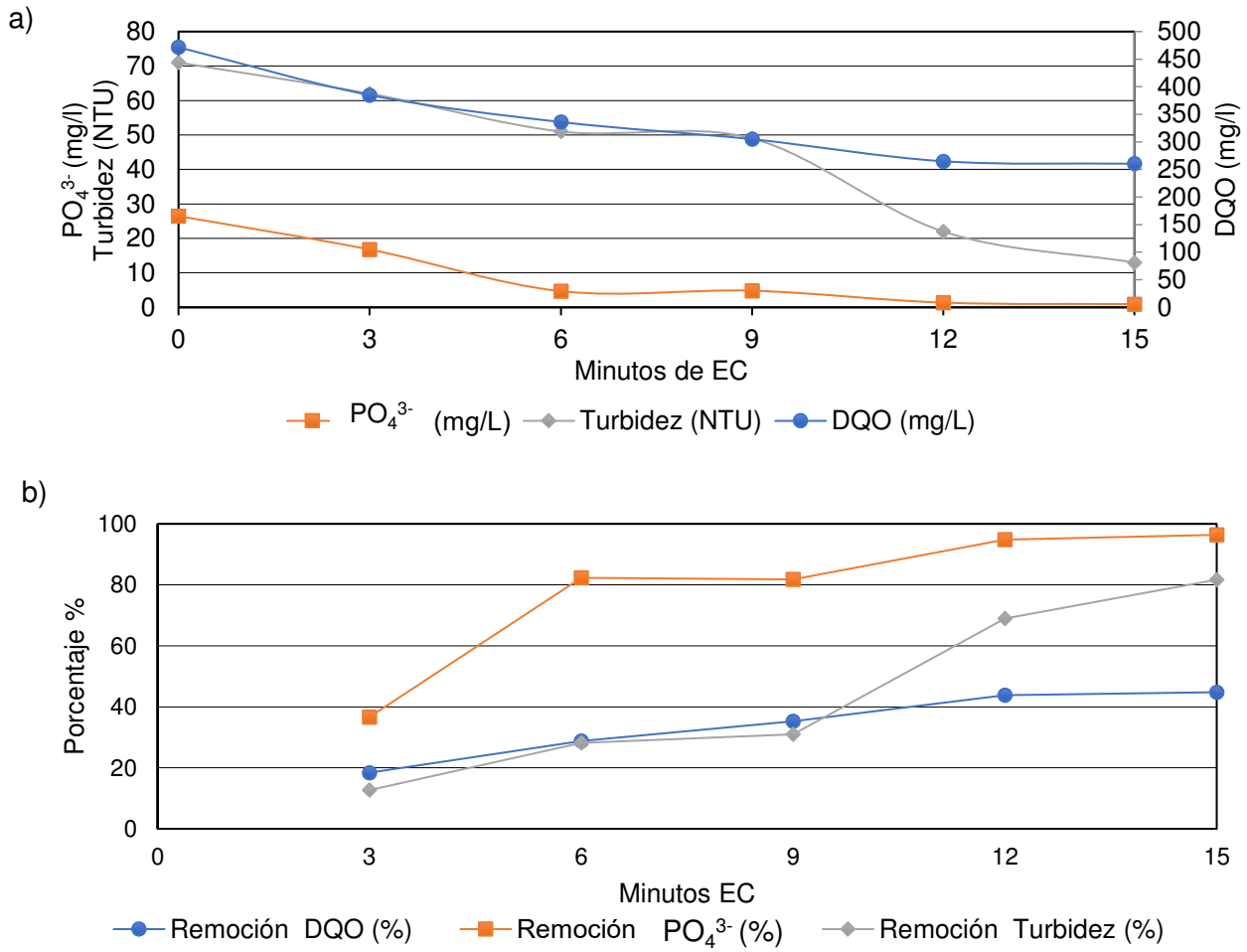


Figura 4: Seguimiento de parámetros de contaminación a) DQO, Fosfatos y Turbiedad, b) Remoción, en %.

De los valores obtenidos del ensayo de Electrocoagulación mostrados en la Tabla 5 y su variación de valores en función del tiempo mostrado en la Figura 4, a una muestra de agua de laguna facultativa, de la planta de tratamiento de efluentes, fijando parámetros de ensayo en 1000 mA de corriente fija, separación de 18 mm entre láminas de aluminio y con distintos tiempos de ensayo se observa que:

Los datos obtenidos y representados en la figura 4 a) muestran que, con el aumento de los tiempos de EC, los valores de concentración de DQO decrecen en todos los casos, siendo el punto de mayor eficiencia para cuando el ensayo se realizó a los 12 minutos. Esto se puede afirmar, ya que al analizar los valores de % de remoción (figura 4 b), en el ensayo siguiente de 15 minutos, solo se incrementa el 1% de valor, siendo este el menor incremento registrado.

Cuando se analiza la variación de concentración de fosfatos (fig. 4 a), se puede observar una respuesta en donde estos los valores no siempre bajan con respecto al tiempo, por lo que deberá analizarse si se produce por una re suspensión de los mismos. Sin embargo, se puede concluir

que el punto de remoción de mayor eficiencia para este contaminante corresponde al ensayo de 6 minutos en donde se logra la remoción del 82,7 %. Continuando con los ensayos, al realizar EC por 12 minutos, la remoción llega hasta valores de 94,84 %, obteniendo una respuesta mejor que en el caso del ensayo de 15 minutos, en donde se incrementa una remoción de solo el 1,57 % respecto del valor anterior.

Al analizar la respuesta de la turbidez con respecto al tiempo, se observa que tiene una variación similar a la de los fosfatos, en donde el valor de NTU disminuye para los dos primeros ensayos, manteniéndose estable en el valor para el ensayo de 9 minutos de EC, tal como se muestra en la Figura 4 a).

Continuando con el análisis de la turbidez, al aumentar el tiempo de ensayo mejoran significativamente los valores, llegando a los 12 minutos de EC con un porcentaje de remoción del 69,01 %. Para este caso el mejor punto se obtiene es a los 15 minutos debido a que, en este caso, se obtiene una mejora del 12.68 % con respecto al punto anterior. Se deberá analizar si en ensayos de EC en tiempo superiores, continúan con esta mejora. Así mismo hay una mejora significativa de la turbidez de la muestra luego de EC.

Si se tiene en cuenta la variación de conductividad en cada uno de los ensayos, los valores luego de incrementar en el primer ensayo de 3 minutos logran también una mejora en la remoción, para 6 y 9 minutos de EC. Sin embargo, al momento de realizar el ensayo de 12 minutos de EC, el valor sube a un valor mayor que el inicial, rompiendo la tendencia de los valores obtenidos. Deberán realizarse otros ensayos, que permitan ver si se repite este resultado y encontrar la causa de dicho comportamiento.

Luego de analizar de manera conjunta la variación de cada uno de los contaminantes, se obtienen los mejores resultados cuando el ensayo se realiza en 12 minutos, logrando la mayor eficiencia en el porcentaje de remoción de la DQO y fosfatos. Aunque para la turbidez se logra mejorar con 3 minutos más de ensayo, conseguir un porcentaje de remoción del aproximadamente el 70 % es aceptable, como tratamiento complementario de los líquidos residuales de laguna facultativa.

Conclusiones

De los valores obtenidos del ensayo de Electrocoagulación en aguas residuales tratados en laguna facultativa secundaria, se obtienen las siguientes conclusiones:

A medida que se incrementa el tiempo de aplicación del tratamiento, se observa un aumento en el porcentaje de remoción de los contaminantes evaluados, que presentan una respuesta coincidente para cada uno de ellos, siendo mayor la remoción para mayor tiempo de ensayo.

La eficiencia máxima en la remoción de contaminantes en los distintos ensayos es del 44,8 % para DQO, del 81.69 % para la turbidez, del 96,41 % para fosfatos.

Los valores de máxima eficiencia de remoción coinciden para todos los contaminantes que se obtuvieron para el ensayo de EC de 15 minutos.

De la comparación del valor de las variaciones de contaminantes en los resultados obtenidos se observa que, para todos los casos de análisis, hay una mayor variación de valores en las curvas de remoción entre los 12 y 15 minutos de EC.

El mejor rendimiento del proceso de EC para la eliminación de los contaminantes se tiene para cuando la muestra se encuentra en un proceso de EC de 12 minutos, siendo la EC un tratamiento adecuado para la remoción de contaminantes de una laguna Facultativa secundaria.
Se concluye que la electrocoagulación es un tratamiento adecuado para la remoción de contaminantes en lagunas facultativas secundarias para el caso de los contaminantes analizados.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por la Universidad, mediante el programa del Proyecto PID “Caracterización Y Seguimiento Fisicoquímico, Biológico Y Microbiológico Del Curso De Agua Superficial Según Aportes Antropogénicos. Aplicación De Tecnologías Para El Mejoramiento De Calidad De Aportes Puntuales”, Código MSTCVM0008772TC.

Referencias

APHA, AWWA, WEF, (2017) Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater Ed. 23 rd.

Barrera Díaz, Carlos Eduardo, (2014). Aplicaciones electroquímicas al tratamiento de agua residuales. Editorial Reverté S. A.

Kellner E. and Pires E. C., (1998), Lagoas de Estabilização-Projeto e Operação. Rio de Janeiro, Brasil: Editorial da ABES.

Matsumoto & Sánchez Ortiz (2010). Eficiencia Del Tratamiento De Aguas Residuales Por Lagunas Facultativas E Implicaciones En La Salud Pública. Scielo. Univ. Salud vol.12. Print version ISSN 0124-7107On-line version ISSN 2389-7066.

Metcalf & Eddy., 1996. Wastewater Engeneering: Treatment, Disposal And Reuse. 3ra ed. Ed. Mc Graw Hill.

TECNOLOGÍAS DE APOYO PARA LA INCLUSIÓN EDUCATIVA: UNA APP MÓVIL CON RECONOCIMIENTO GESTUAL PARA EL APRENDIZAJE DE MATEMÁTICA EN NIÑOS CON DISCAPACIDAD NEUROMOTORA

Agustín Álvarez Ferrando[1], Cintia M. Valero[1], Franco E. Borsella[1], Juan I. Etcheverry[1]
Matias O. Batista
[1]GIDAS, Facultad Regional La Plata, Universidad Tecnológica Nacional
aaferrando@frlp.utn.edu.ar

Resumen

Sabemos que la educación primaria debe fomentar en el estudiante la necesidad de aprender cada vez con mayor autonomía. Pero ¿Qué ocurre cuando el acceso al conocimiento se ve limitado por métodos estandarizados, diseñados para el común de la población, sin considerar niños con discapacidad neuromotora?

El presente trabajo no solo responde la pregunta, sino que también resume los avances más significativos en el desarrollo de una herramienta *mobile* destinada a complementar el aprendizaje de matemática en niños con discapacidad neuromotora.

El objetivo del presente trabajo es documentar los avances en el desarrollo de una aplicación móvil con reconocimiento gestual utilizada como tecnología de apoyo promoviendo la inclusión de estudiantes con discapacidad neuro-motriz.

Para la creación de la aplicación, se llevaron a cabo una serie de procesos relacionados con la investigación y la ingeniería de software. En una primera etapa se relevaron las necesidades de los maestros de grado, las aplicaciones accesibles existentes, y las dificultades más frecuentes en niños con discapacidad motriz, luego se elicitaron los requerimientos funcionales y no funcionales. Posteriormente se pasó por una etapa de diseño de interfaces, teniendo en cuenta estándares de accesibilidad, tamaño y espaciado de elementos y navegación.

Para el desarrollo, se implementó el control de versiones del código mediante Git, y se crearon dos ambientes separados para trabajar en el FrontEnd y el BackEnd.

Se emplearon tecnologías como React Native, Java con Spring Boot, sobre una arquitectura API REST. Se usó Swagger para la documentación de la API. En cuanto a la infraestructura de la aplicación, se optó por utilizar un servicio de alojamiento en la nube.

El resultado de comparar los datos de entrada, provenientes de un escaneo facial con su correspondiente persistencia en la base de datos, fue positivo. Por otro lado, se logró reconocer distintos gestos faciales.

Palabras clave: Accesibilidad, Mobile learning, Arquitectura SOA, Matemática

Introducción

Evolución de la educación Inclusiva y el rol de las tecnologías móviles

La educación especial en Argentina, fundada en 1949, inicialmente se centró en la segregación de estudiantes con discapacidades en instituciones especializadas. Este enfoque, centrado en las deficiencias individuales y no en las adaptaciones necesarias para la inclusión, fomentó la exclusión y limitó las oportunidades de aprendizaje de estos estudiantes.

Con un informe sobre NEE (Warnock, 1978), se introdujo el concepto de Necesidades Educativas Especiales (NEE), reconociendo la diversidad de los estudiantes y la necesidad de adaptaciones curriculares. Sin embargo, la implementación de estas ideas fue lenta y enfrentó resistencias.

La UNESCO impulsó la inclusión educativa en la Declaración de Salamanca en 1994 (UNESCO, 1994), durante la Conferencia Mundial sobre Necesidades Educativas Especiales y, en Argentina, a través de la Ley Nacional de Educación de 2006, se reconoció el derecho de todos los estudiantes a una educación de calidad. La Resolución 311/2016 fue un hito, al establecer el marco legal para la inclusión en escuelas comunes.

La inclusión se basa en garantizar que todos los estudiantes, independientemente de sus condiciones o discapacidades, tengan acceso a una educación de calidad en igualdad de oportunidades. Este enfoque se alinea con normativas nacionales e internacionales, como la Ley de Educación Nacional (Ley N° 26.206) y la Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad (ONU, 2006). El objetivo es que los alumnos con discapacidad puedan integrarse en escuelas comunes, con los apoyos necesarios para su aprendizaje, sin ser discriminados o rechazados durante el proceso de inscripción. Además, la Resolución 1664/17 de la provincia de Buenos Aires (DGCyE, 2017) establece que las escuelas deben promover prácticas inclusivas, garantizando la titulación en igualdad de condiciones para todos los estudiantes

La educación inclusiva se basa en la premisa de que todos los estudiantes, independientemente de sus capacidades, tienen derecho a aprender juntos. Esta visión reconoce la diversidad como una riqueza y busca eliminar las barreras que impiden la participación plena de todos.

Los docentes son fundamentales para el éxito de la inclusión. Sin embargo, estudios muestran que muchos docentes tienen actitudes negativas o neutrales hacia la inclusión (Kamran, M., Siddiqui, S., & Adil, M. S. 2023), debido a factores como la falta de formación y recursos.

Las configuraciones de apoyo, entendidas como un conjunto de andamiajes planificados desde el sistema educativo para hacer posible la inclusión (Casal V. 2011), son esenciales para garantizar la participación y el aprendizaje de los estudiantes con NEE. Estas pueden incluir adaptaciones curriculares, materiales didácticos específicos, tecnologías asistivas y el apoyo de profesionales especializados.

El contexto sociopolítico y cultural también influye en la implementación de la educación inclusiva. Es fundamental deconstruir los estereotipos y las creencias limitantes sobre la discapacidad.

Las tecnologías móviles ofrecen un gran potencial para transformar la educación inclusiva. Su accesibilidad, flexibilidad y capacidad de personalización las convierten en herramientas valiosas para apoyar a los estudiantes con NEE.

La discapacidad motriz, específicamente la que afecta a los miembros superiores y la motricidad fina, puede generar distintos niveles de exclusión. Los estudiantes con dificultades para manipular dispositivos móviles pueden enfrentarse a barreras para interactuar con el contenido educativo. Aplicaciones que requieren toques precisos, arrastrar elementos o escribir en pantallas pequeñas dificultan su participación, limitando su capacidad de aprendizaje autónomo y equitativo. CAPNEE se constituye como software accesible ya que dispondrá de interfaces dirigidas por gestos (Morin, 2024).

En el caso de la matemática en educación primaria, las tecnologías móviles pueden ayudar a superar las dificultades que enfrentan los estudiantes con discapacidad motriz al aprender conceptos como el valor posicional. Herramientas como CAPNEE permiten adaptar las actividades a las necesidades individuales de cada estudiante.

Objetivo

El objetivo del presente trabajo es documentar los avances en el diseño, implementación y despliegue de una aplicación móvil accesible, que pueda ser utilizada como tecnología de apoyo para la enseñanza y el aprendizaje de matemática en niños con Necesidades Educativas Especiales.

En este avance, se propuso:

Definir requerimientos funcionales y no funcionales de la aplicación
Identificar perfiles de usuario
Diseñar el modelo de clases de la aplicación
Diseñar las interfaces gráficas de usuario
Implementar un módulo de autenticación de usuarios a través del reconocimiento facial

Investigación

Para dar comienzo al proyecto, se llevó a cabo un proceso de investigación acerca de las necesidades de los maestros de grado, las aplicaciones accesibles existentes, las dificultades frecuentes en niños con discapacidad motriz y el contenido curricular de matemática en escuelas primarias de la Provincia de Buenos Aires.

Relevamiento de aplicaciones móviles existentes

En cuanto a las aplicaciones existentes, se analizó su disponibilidad en la Play Store de Android y se concluyó en que la oferta de aplicaciones educativas orientadas al aprendizaje de matemática escasea para niños con Necesidades Educativas Especiales, ya que la gran mayoría se encuentra diseñada para usuarios con plena capacidad motriz. Se encontró que ninguna de las aplicaciones cuenta con registro facial, lo que dificulta el control de acceso en niños con discapacidad motriz de miembros superiores. Tampoco utilizan gestos faciales para la navegación dentro de la aplicación, sino que optan por el control táctil predeterminado. A su vez, la resolución de ejercicios requiere un alto dominio de la motricidad en miembros superiores, ya sea para escribir las respuestas correctas en el teclado móvil, arrastrar bloques por la pantalla o seleccionar entre varias respuestas la que es correcta.

Análisis del diseño curricular para nivel inicial

Por otro lado, también se realizó un relevamiento sobre el diseño curricular vigente para el primer ciclo de educación primaria en la provincia de Buenos Aires (Dirección General de Cultura y Educación, 2018), con el objetivo de entender los contenidos dictados por los docentes y de esa manera poder relevar sus necesidades, así como comprender la nomenclatura utilizada, realizar la estructuración de las pantallas y la navegación de la aplicación móvil a desarrollar.

Análisis funcional

Una vez entendido el contexto y definidos los objetivos del proyecto, se llevó a cabo una etapa de análisis de requerimientos. En esta etapa, se definieron las bases del proyecto, identificando el alcance, la arquitectura del sistema, los usuarios potenciales y estableciendo los requerimientos funcionales y no funcionales que darán vida a la aplicación.

Como usuarios principales de la aplicación, se identificaron a:

Docentes: Responsables de la administración de los cursos, inscripción de alumnos, creación de actividades y monitorización del progreso de los estudiantes.
Alumnos: Participan en distintas actividades y ejercicios dentro de la aplicación, siendo evaluados por los docentes.

A continuación, se enumeran algunos de los requerimientos funcionales más representativos para el usuario ‘Docente’ (Tabla 1) y el usuario ‘Alumno’ (Tabla 2).

El enfoque del presente artículo se restringe a la aplicación móvil. Los requerimientos del docente para la aplicación web, aunque relevantes, exceden el ámbito de este análisis y serán tratados en otra publicación.

Tabla 1. Requerimientos funcionales para el Docente

Requerimientos Funcionales para el Docente		
Código	Descripción	Criterios de aceptación
RF-001	La aplicación deberá permitir al docente dar de alta a un curso	En la sección de cursos, la aplicación debe mostrar una opción para dar de alta un nuevo curso. Cuando se selecciona la opción para dar de alta un nuevo curso, la aplicación debe permitir completar campos de los datos relativos al curso. Al dar de alta un curso, se debe persistir correctamente en la Base de Datos.
RF-002	La aplicación deberá permitir al docente dar de alta a un ejercicio	En la sección de contenidos temáticos, la aplicación debe mostrar una opción para dar de alta un nuevo ejercicio. Cuando se selecciona la opción para dar de alta un ejercicio, la aplicación debe permitir escribir un enunciado, adjuntar una imagen y agregar opciones. El ejercicio debe ser accesible por un alumno desde la aplicación.
RF-003	La aplicación deberá permitir al docente visualizar los ejercicios resueltos por un alumno	Cuando se selecciona un ejercicio, se debe mostrar un listado con nombre, apellido, número de intentos, tiempo de finalización, fecha y nota de los alumnos que resolvieron el ejercicio.

Tabla 2. Requerimientos funcionales para el Alumno

Requerimientos Funcionales para el Alumno		
Código	Descripción	Criterios de aceptación
RF-004	La aplicación deberá permitir iniciar sesión a un alumno mediante reconocimiento facial	Al momento de la autenticación, si las características faciales del usuario se asemejan en al menos un 85% a un rostro almacenado previamente en la base de datos, el mismo inicia sesión correctamente.
RF-005	La aplicación deberá permitir al alumno navegar en la misma mediante gestos faciales	Al acceder a la aplicación, el usuario debe poder navegar por todas las pantallas utilizando los gestos faciales configurados.
RF-006	La aplicación deberá permitirle al alumno resolver un ejercicio	Al seleccionar un ejercicio, la aplicación debe mostrar el contenido del ejercicio seleccionado. Al seleccionar una respuesta, la aplicación debe registrar la respuesta ingresada. Al seleccionar una respuesta, la aplicación debe indicar con un color y un sonido si la respuesta es correcta o incorrecta.

Modelo de clases

El análisis del contenido curricular para el primer ciclo permitió comprender las entidades que intervienen en el proceso de aprendizaje y la forma en la que se relacionan entre ellas. Gracias a esto, se definió una jerarquía para poder modelar este proceso. En esta jerarquía, se distingue:

Curso: Caracteriza a un grupo de alumnos de un año, una división y un ciclo lectivo en particular.
Bloque: Engloba los contenidos generales del curso, como por ejemplo ‘Suma y Resta’.
Sub-bloque: Dividen los contenidos del bloque en conjuntos de unidades más pequeñas.
Contenido temático: Representan a los sub-bloques en temas específicos.
Ejercicio: Cada contenido temático tiene una serie de ejercicios que el alumno debe resolver.

En base a esto, y los requerimientos funcionales relevados anteriormente, se realizó el modelo conceptual de clases y el diseño de las interfaces de usuario.

Una parte del modelo de clases puede apreciarse en la Fig. 1. En la misma, se identifican a las clases Curso, Persona y Característica Facial, junto con sus respectivos atributos. Estas dos últimas clases representan a los usuarios de la aplicación. En caso de que el usuario sea un alumno, se almacenan sus características faciales como una cadena de caracteres.

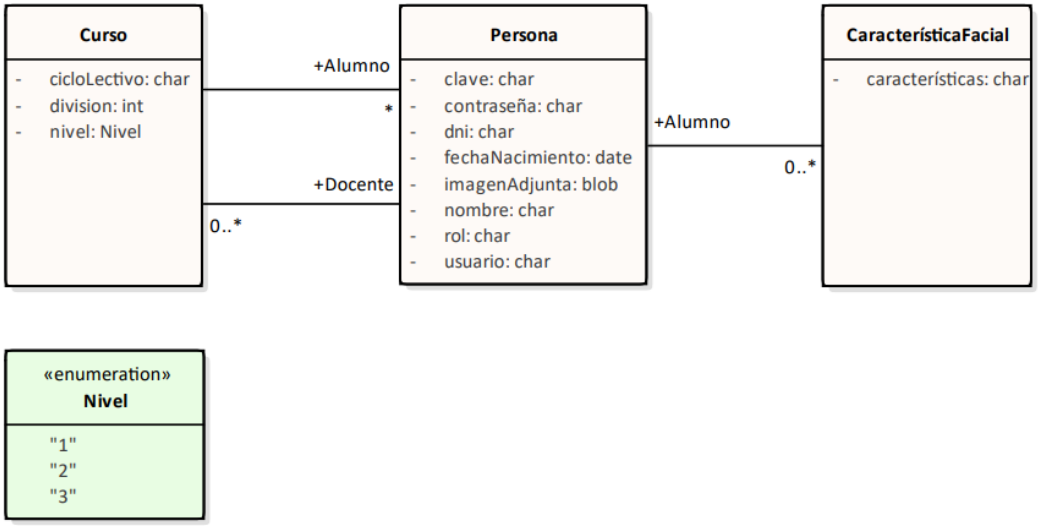


Fig. 1. Fragmento del diagrama de clases

Diseño de GUI

Teniendo en cuenta el propósito principal de la aplicación, que reside en proporcionar una experiencia inclusiva y enriquecedora para usuarios que enfrentan algún tipo de discapacidad (neurológica, motriz o ambas), se pensó en un diseño sencillo e intuitivo para garantizar la accesibilidad, usabilidad y utilidad para todos los usuarios, según estándares de accesibilidad de la WCAG (Pautas de Accesibilidad al Contenido en la Web), una iniciativa de Accesibilidad Web del Consorcio World Wide Web (W3C), cuya función principal es proporcionar las recomendaciones para el diseño de páginas web, reduciendo las barreras a la información (W3C, 2024).

En base a estos estándares, se consideraron los siguientes aspectos para el diseño de la aplicación móvil:

Interfaz intuitiva y simple, de fácil navegación, con textos cortos y botones grandes que facilitan la interacción y reducen la frustración del estudiante.

Tamaño y espaciado suficiente de los elementos interactivos de la pantalla, para una selección precisa teniendo en cuenta la limitación de movimientos.

Múltiples opciones de acceso y navegación, incluyendo tecnologías de reconocimiento facial y gestual.

A su vez, se eligió una paleta de colores vibrante y amigable, una tipografía fácil de leer, y una comunicación accesible y adecuada. Se usaron textos cortos y sencillos, considerando que los usuarios principales son niños de primer ciclo de primaria.

Contemplando todos estos aspectos, se llevó a cabo el maquetado y diseño de las pantallas utilizando Figma[1]. Algunas de las interfaces diseñadas pueden apreciarse en la Fig. 2.

Fig. 2. Bocetos de Interfaces de la aplicación hechos en Figma

Desarrollo e implementación

Para iniciar la etapa de desarrollo de la aplicación, se seleccionaron las herramientas y lenguajes a utilizar.

Se optó por el Entorno de Desarrollo Integrado[2] Visual Studio (VSC). Los motivos de esta elección se basan en su soporte nativo para los lenguajes HTML, CSS y JavaScript, su gran abanico de extensiones para facilitar el desarrollo, su disponibilidad en múltiples Sistemas Operativos y el nivel de familiaridad de los miembros del equipo con dicha herramienta.

Para la gestión del código fuente y el control de versiones del proyecto, se empleó Git en combinación con GitHub (Github, 2024) Git facilitó el trabajo colaborativo, permitiendo a los desarrolladores trabajar de forma organizada y controlada, mediante la separación de los ambientes de desarrollo en dos repositorios independientes: un repositorio para el frontend (la parte del software que interactúa con los usuarios) y otro repositorio para el BackEnd (la parte del software donde se encuentra la lógica y procesa la entrada desde el frontend). En ambos casos se utilizó el flujo de trabajo *Feature Branch* (Atlassian, 2024) Este *workflow* trabaja con ramas que tienen objetivos específicos, que pueden ser adicionar funcionalidad o corrección de bugs, para facilitar la revisión de código antes que sea integrado al proyecto.

Para el frontend se utilizó el Framework React Native (Meta Platforms, 2024) para la creación de aplicaciones nativas para iOS y Android, lo que evitó tener que desarrollar y mantener dos aplicaciones separadas, además de utilizar componentes nativos de la plataforma subyacente, permitiendo que la aplicación tenga un rendimiento similar al de una aplicación nativa. Otro de los motivos de la elección de React Native como *framework* es que está basado en JavaScript, lo que ofreció una curva de aprendizaje suave y permitió aprovechar la experiencia en desarrollo web por parte del equipo de desarrollo. Por otro lado, la flexibilidad brindada por React Native permitió

[1] Herramienta de diseño gráfico y prototipado web/móvil.
[2] Aplicación que proporciona servicios integrales para facilitar al programador el desarrollo de software.

adaptar la aplicación y sus componentes a las necesidades específicas de las personas con discapacidad motora. Esto incluye la capacidad de ajustar el tamaño y la posición de los elementos de la interfaz, así como la posibilidad de utilizar componentes personalizados que se adapten mejor a las necesidades de accesibilidad.

En cuanto al backend, se optó por utilizar Java junto con el *framework spring boot,* que facilita el desarrollo de aplicaciones robustas y escalables. La elección de estas herramientas se debe a su amplio soporte en la comunidad, su eficiencia en el manejo de servicios complejos, y su capacidad de integración con otros componentes esenciales del sistema.

Arquitectura de microservicios

La arquitectura adoptada se basa en microservicios utilizando *spring cloud* para asegurar una comunicación eficiente y un escalado independiente de cada componente. Dentro de esta arquitectura se incluyen:

Eureka para el registro y descubrimiento de servicios, permitiendo que los microservicios se encuentren y se comuniquen entre sí de manera dinámica. Spring boot admin para la monitorización y administración de microservicios, facilitando la visualización del estado y el rendimiento de cada servicio. Spring *cloud gateway*, que actúa como un servicio de gateway, gestionando y enroutando el tráfico hacia los microservicios de manera eficiente y segura, proporcionando balanceo de carga, control de rutas, y seguridad. *Config server*, para gestionar la configuración de los microservicios, la administración centralizada de las propiedades y configuraciones de todos los servicios. Este enfoque asegura la consistencia en la configuración a lo largo de todo el sistema y facilita el mantenimiento, ya que las actualizaciones o cambios se pueden realizar desde un único punto central.

La arquitectura consta de varios microservicios especializados como *micro user* que gestiona todas las funcionalidades relacionadas con los usuarios, incluyendo autenticación y administración de cuentas, *micro academy* que se encarga de la gestión de cursos, bloques temáticos, sub-bloques, niveles y ejercicios, ofreciendo una estructura modular y escalable para el aprendizaje.

Kong fue elegido como API Gateway[3], encargado de manejar el tráfico hacia los microservicios, ofreciendo seguridad, control y gestión del tráfico. Además, se utiliza como interfaz web para administrar y monitorizar las rutas y servicios de Kong.

Se utilizó PostgreSQL como base de datos principal, debido a su capacidad para manejar grandes volúmenes de datos de manera eficiente y su compatibilidad con la arquitectura de microservicios.

Los logs de cada microservicio se capturan utilizando Loki y se visualizan en Grafana, lo que permite un monitoreo centralizado y eficaz del sistema, facilitando la identificación y resolución de problemas.

La Fig. 3 muestra a los servicios descritos anteriormente, mostrando el flujo de estos.

[3] En un sistema de microservicios, un API Gateway actúa como punto de entrada único para gestionar las solicitudes de clientes.

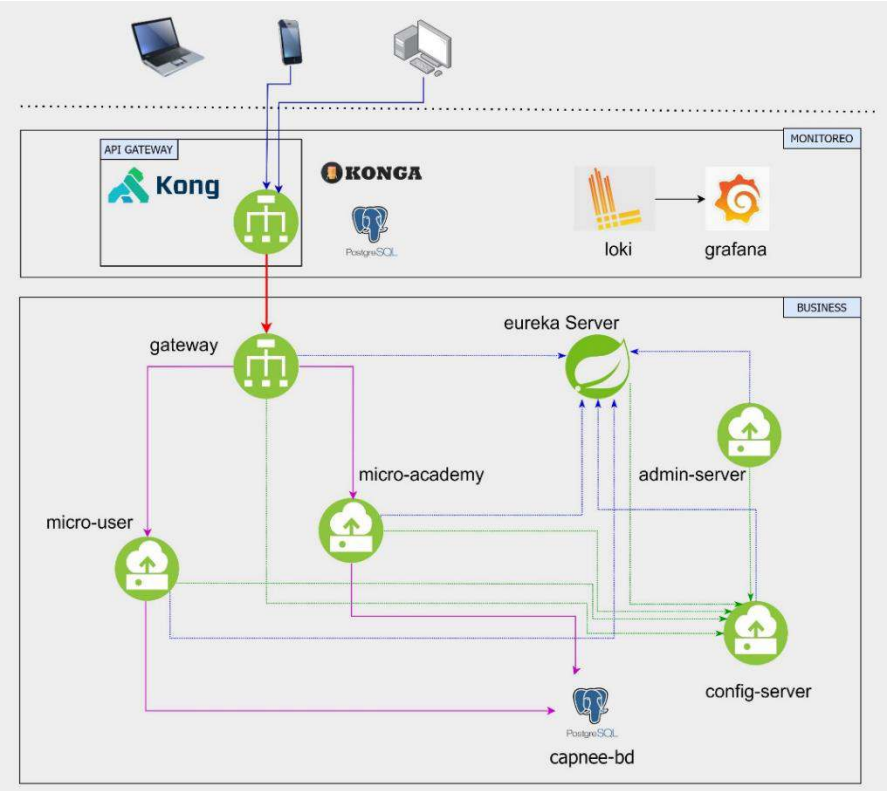


Fig. 3. Diagrama de la arquitectura

El flujo de integración y entrega continua (CI/CD) se gestiona mediante Jenkins (Jenkins, 2024), un servidor de automatización *open source*, el cual permite automatizar el proceso de construcción, prueba y despliegue, garantizando la rápida iteración y entrega de nuevas funcionalidades. En la Fig 4 se pueden ver el panel de control de Jenkins con los últimos procesos de CAPNEE.

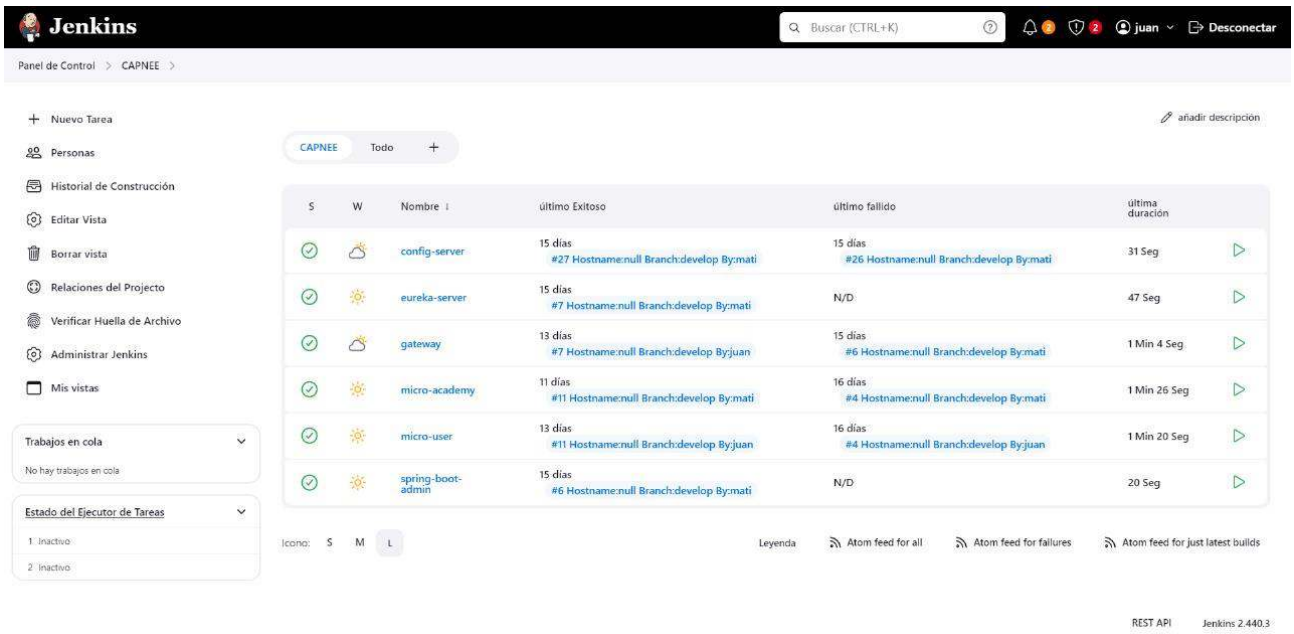


Fig. 4. Panel de control de procesos CAPNEE

Reconocimiento facial

Se seleccionó el reconocimiento facial como método alternativo de inicio de sesión y autenticación para brindar una solución inclusiva a personas con discapacidades motoras, quienes pueden encontrar problemático el uso convencional de nombres de usuario y contraseñas.

El proceso de reconocimiento facial implica tareas de procesamiento, como la detección de rostros, la extracción de características y la comparación en bases de datos. Para optimizar el rendimiento en dispositivos móviles, toda la carga de procesamiento se delega al servidor.

Para implementar esta solución, se utilizó el módulo de JavaScript face-api.js, que se basa en TensorFlow.js para el aprendizaje automático. El backend emplea OpenCV y JavaCV para realizar la detección de rostros y la extracción de características faciales.

Durante el registro, el usuario envía imágenes de su rostro al backend a través de una petición REST usando HTTPS. Luego, en el backend, se extraen las características faciales utilizando OpenCV y JavaCV. Estas características se almacenan en la base de datos en formato blob.

Al iniciar sesión, el usuario selecciona la opción de reconocimiento facial, y la aplicación toma una foto del rostro del usuario. La imagen es enviada al backend mediante una petición REST con HTTPS. El backend utiliza OpenCV y JavaCV para extraer las características faciales y comparar con las almacenadas en la base de datos. Finalmente, si la similitud supera un umbral predefinido, se concede el acceso. En caso contrario, se niega el acceso. Utilizando estas funciones, se crea un contexto que puede utilizarse en todas las pantallas de la aplicación móvil en las cuales se desea implementar la detección de gestos. El fragmento de código fuente, hecho con Javascript, con la lógica de detección de gesto para realizar estas funciones puede apreciarse a continuación:

```
useEffect(() => {
  if (faceData.length > 0) {
    const firstFace = faceData[0];
    const ojoDerechoAbierto =
      firstFace.leftEyeOpenProbability > 0.9 &&
      firstFace.rightEyeOpenProbability < 0.1;
    const ojoIzquierdoAbierto =
      firstFace.rightEyeOpenProbability > 0.9 &&
      firstFace.leftEyeOpenProbability < 0.1;
    const sonrisa = firstFace.smilingProbability > 0.7;
    setIsLeftEyeOpen(ojoIzquierdoAbierto);
    setIsRightEyeOpen(ojoDerechoAbierto);
  } else {
    setIsLeftEyeOpen(false);
    setIsRightEyeOpen(false);
  }
}, [faceData]);
```

La asignación de gestos a acciones específicas, como presionar un botón o navegar hacia otra pantalla, se configuran a través de funciones, en las que se evalúa el estado de cada gesto. Por ejemplo, si se quiere navegar hacia la pantalla de ‘Perfil’ al guiñar el ojo derecho. El bloque de código, hecho con Javascript, con la función encargada de asociar un gesto a una acción en particular es el siguiente:

```
if (ojoIzquierdoAbierto==true && ojoDerechoAbierto==false) {
      router.push('/Perfil');
}
```

De esta manera, pueden realizarse distintas combinaciones de gestos faciales para realizar diferentes funciones dentro de la aplicación, reduciendo al mínimo la necesidad de tocar la pantalla

para aquellos usuarios con dificultades motrices. Este módulo se probó en un entorno aislado, dado que aún no se ha implementado en la aplicación móvil real.

Protección de los datos biométricos

El hecho de manipular los datos biométricos de los usuarios puede parecer controversial, más teniendo en cuenta que se trata de niños. Por lo que se debe asegurar la protección de los mismos. Para ello, se realiza un cifrado en tránsito y un cifrado en el almacenamiento de los datos biométricos.

El intercambio de datos biométricos entre la aplicación móvil y el backend se realiza mediante peticiones rest sobre https, utilizando el protocolo ssl/tls. Esto asegura que todos los datos transferidos estén cifrados durante su tránsito, protegiendo la integridad y confidencialidad de la información frente a posibles ataques y amenazas.

Mientras que, para proteger las características faciales almacenadas en la base de datos se utiliza cifrado robusto. La clave de cifrado se gestiona mediante variables de entorno en la máquina virtual donde se aloja la aplicación. Esto asegura que la clave no esté expuesta en el código fuente ni en los archivos de configuración, reduciendo el riesgo de exposición y garantizando la seguridad de los datos biométricos de los usuarios.

Reconocimiento gestual

Para brindar más opciones de accesibilidad y personalización, y reducir la dependencia de los métodos tradicionales de interacción, se pensó en un modo de navegación en la aplicación móvil que utiliza comandos basados en gestos faciales, haciendo uso de la cámara frontal del dispositivo. Esta funcionalidad permite a los usuarios interactuar con la aplicación sin necesidad de tocar la pantalla, lo cual puede resultar beneficioso para personas con parálisis o limitaciones en el control de los miembros superiores.

Actualmente, se está trabajando en la implementación de esta funcionalidad. Se desarrolló un prototipo para la navegación e interacción con la aplicación en un entorno de pruebas. En este prototipo, se definieron tres gestos: el cierre del ojo izquierdo, el cierre del ojo derecho y una sonrisa. Cada gesto tiene una función específica: el primero se utiliza para retroceder en la aplicación, el segundo para seleccionar el componente enfocado y el tercero para desplazarse entre los distintos componentes de una vista en una dirección determinada. Estas funcionalidades se implementaron utilizando la librería ‘expo-face-detector’, integrada dentro de la biblioteca Expo.

Conclusiones y trabajo futuro

Durante el desarrollo de la aplicación, se lograron importantes avances en diversos aspectos de la ingeniería de software. Se definió una arquitectura escalable, y se implementó un proceso de integración continua, estableciendo así una base sólida para un código de alta calidad. En cuanto al reconocimiento facial, se verificó que los datos biométricos de los rasgos faciales se almacenaran correctamente en la base de datos con el formato adecuado.

Además, se realizaron pruebas preliminares de navegación por gestos utilizando el prototipo desarrollado en un entorno aislado. El siguiente desafío es integrar este módulo en la aplicación final y realizar pruebas en aulas reales para evaluar su desempeño en condiciones auténticas.

A futuro, cuando CAPNEE esté implementado, permitirá a los alumnos con discapacidad en los miembros superiores ejercitarse en matemática a través de gestos. A diferencia de las aplicaciones tradicionales que requieren una precisión motriz fina, esta app reconocerá movimientos más amplios y personalizados, lo que facilitará el acceso de los estudiantes con dificultades motoras para realizar

actividades educativas. De esta manera se reducirán barreras en el proceso de aprendizaje, contribuyendo a la autonomía que la educación primaria debería fomentar en todos los estudiantes.

Referencias

Warnock, M. (1990). Informe sobre NEE. Siglo Cero, 130, 12-24.

UNESCO. (1994). Declaración de Salamanca y Marco de Acción sobre Necesidades Educativas Especiales. Conferencia Mundial sobre Necesidades Educativas Especiales: Acceso y Calidad. Recuperado de https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000098427

Ley de Educación Nacional (Ley N° 26.206). Boletín Oficial de la República Argentina (2006).

Naciones Unidas. (2006). Convención sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad. Asamblea General de las Naciones Unidas

Dirección General de Cultura y Educación de la Provincia de Buenos Aires. (2017). Resolución sobre la educación inclusiva (Resolución N° 1664/17). Boletín Oficial de la Provincia de Buenos Aires

Kamran, M., Siddiqui, S., & Adil, M. S. (2023). Breaking barriers: The influence of teachers' attitudes on inclusive education for students with mild learning disabilities (MLDs). Education Sciences, 13(6), 606. Recuperado de https://doi.org/10.3390/educsci13060606

Casal, V., Lofeudo, S., & Lerman, G. (2011). Hacia la inclusión educativa: configuraciones de apoyo en escenarios educativos situados en la escuela común. In III Congreso Internacional de Investigación y Práctica Profesional en Psicología XVIII Jornadas de Investigación Séptimo Encuentro de Investigadores en Psicología del MERCOSUR. Facultad de Psicología-Universidad de Buenos Aires. Recuperado de https://www.aacademica.org/000-052/454.pdf

Morin, A. (n.d.). Classroom accommodations for developmental coordination disorder. Understood. Retrieved September 12, 2024, from https://www.understood.org/en/articles/at-a-glance-classroom-accommodations-for-dcd

Dirección General de Cultura y Educación. (2018). Diseño curricular PBA completo. Recuperado de http://servicios.abc.gov.ar/lainstitucion/organismos/consejogeneral/disenioscurriculares/primaria/2018/dis-curricular-PBA-completo.pdf

W3C. (2024) Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1. Recuperado de https://www.w3.org/WAI/WCAG21/quickref/#principle1

GitHub. (2024). GitHub. Recuperado de https://github.com/

Atlassian. (2024) Feature branch workflow. Atlassian Git Tutorial. Recuperado de https://www.atlassian.com/git/tutorials/comparing-workflows/feature-branch-workflow

React Native. (2024). React Native. Recuperado de https://reactnative.dev/

Jenkins. (2024) Jenkins. Recuperado de https://www.jenkins.io/

EFECTO DE LA ELECTROCOAGULACIÓN EN LA CALIDAD BACTERIOLÓGICA DE EFLUENTES

Graciela N. Marín[1], Fernanda G. Biolé[1], Camila Bellotti[1], Silvia A. Moyano[1], Iara N. Mussa[1], Tobías Andreossi[1].

[1]Grupo Grupo de I+D en Alimentos e Ingeniería Química (GIDAIQ)
Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Villa María.
Av. Universidad 450. Villa María. (5900)
Email de contacto: gramarin@hotmail.com

Resumen

El tratamiento de aguas residuales mediante electrocoagulación es una alternativa que reduce o remueve contaminantes en un medio acuoso, mediante el paso de una corriente eléctrica a través de electrodos de hierro o aluminio, generando de forma electroquímica iones coagulantes en el ánodo que desestabilizan los contaminantes. El objetivo de este trabajo es verificar el efecto de la electrocoagulación en la calidad bacteriológica de efluentes líquidos.

Para ello se realiza el seguimiento de los indicadores de contaminación microbiológica como son coliformes totales y termotolerantes en 2 muestras provenientes del tratamiento de efluentes cloacales por laguna de estabilización. Esta evaluación se realiza modificando variables operacionales como tiempos de aplicación de electrocoagulación y espacios entre placas anódica y catódica.

Los resultados encontrados indican que, con un espaciado de placas de 9 mm y tiempo de aplicación de electrocoagulación de 15 minutos, se obtienen máximos porcentajes de remoción, siendo del 99,5 % para coliformes totales y del 99,8 % para coliformes termotolerantes. Para un espaciado de placas de 13 mm los máximos porcentajes de remoción para coliformes totales es de 98,2 % con un tiempo de aplicación de 15 minutos, en tanto para coliformes termotolerantes el máximo removido es de 98,7 % y se obtiene a los 12 minutos de dicho tratamiento.

Se concluye que la tecnología de electrocoagulación aplicada a efluentes tratados por lagunas facultativas secundarias bajo las condiciones mencionadas produce la remoción de bacterias coliformes totales y termotolerantes, mejorando su calidad bacteriológica.

Palabras Clave: Electrocoagulación, Calidad bacteriológica, Efluente laguna facultativa.

Introducción

El tratamiento de aguas por la aplicación de tecnologías electroquímicas posee como ventaja la química de acoplamiento (generación in situ de oxidantes) con la transferencia de electrones y resultan ser más limpias que los tratamientos convencionales. Entre sus ventajas cabe destacar la versatilidad y flexibilidad de los equipos, tiempos de retención breves, la ausencia tanto de la utilización de reactivos, como de la presencia de fangos y es altamente efectivo en la remoción de un amplio rango de contaminantes, pues controlar el potencial de electrodo permite seleccionar la reacción electroquímica dominante deseada (Arango, 2005; Giménez, 2001).

Además, el empleo del electrón como reactivo no solo evita la utilización de reductores y oxidantes cuyos productos de oxidación o reducción suelen ser contaminantes, sino que también disminuye el número de etapas en la síntesis de diferentes compuestos disminuyendo de esta forma la contaminación originada por el proceso químico. Centrándonos es su aspecto medioambiental, las posibilidades de aplicación de la tecnología electroquímica son muy variadas y reafirman los beneficios de esta tecnología (Chen et al., 2004).

La electrocoagulación (EC) es una técnica utilizada para el tratamiento de diversas aguas residuales. En este proceso son removidos los contaminantes que se encuentran suspendidos, emulsionados o disueltos en el medio acuoso, induciendo corriente eléctrica en la fase acuosa a través de placas metálicas paralelas de diversos materiales, siendo el hierro y el aluminio los más utilizados. En este caso la función de remoción de los contaminantes es llevada a cabo por la corriente eléctrica aplicada al medio contaminado (Arango et Garcés, 2009) y no requiere el agregado de coagulantes químicos. Es por ello por lo que, la tecnología electroquímica se considera como una técnica respetuosa del medio ambiente, siendo muy adecuada para el tratamiento de las aguas residuales de diversa procedencia, por su gran especificidad y economía (Butler et al., 2011).

Además, es capaz de tener una alta eficiencia de remoción de color, demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), y el logro de un tratamiento más eficiente y más rápido que la coagulación tradicional y a su vez, más económico que otros métodos de tratamiento tales como la utilización de la radiación ultravioleta (UV) y el ozono (Butler et al., 2011) y la cloración, en la remoción bacteriológica. Ha sido utilizada en el tratamiento de las aguas residuales donde es importante resaltar que el paso de la corriente eléctrica a través del agua a tratar tiene efecto desinfectante en cuanto que destruye, en porcentajes por encima del 99%, los microorganismos presentes en el agua (Powell Water System, 2001).

En este caso, la aplicación de la EC se plantea como un tratamiento complementario del proceso de depuración y tratamiento de efluentes cloacales e industriales, que consta de lagunas aireadas, lagunas Facultativas secundarias y cloración antes de la disposición final a curso de agua superficial. Las muestras se toman de las lagunas Facultativas secundarias.

Cuando los electrodos son de aluminio la disolución del ánodo produce especies como: $Al^{3+,}$ $Al(OH)^{2+}$, entre otros, los cuales producen espontáneamente los respectivos hidróxidos o polihidróxidos; pues dependen del pH de la solución iónica (Mollah *et al*, 2004).

Son muchos los factores que intervienen en el proceso de electrocoagulación y algunos de estos factores tienen mayor influencia sobre el proceso. Entre ellos, las variables eléctricas en el proceso de electrocoagulación son los parámetros que más influyen en la remoción del contaminante de un agua residual. La eficiencia en la remoción y el consumo de energía se incrementan con el aumento en la densidad de corriente (Mansouri *et al*., 2011; Adhoum *et* Monser, 2004).

Además, para algunas conductividades del medio acuoso el consumo de energía se incrementa proporcionalmente con los aumentos de conductividad, lo que conlleva a un consumo mayor de energía. Para altos consumos de energía se presentan pérdidas por la transformación de energía eléctrica en calórica, produciéndose un aumento en la temperatura del medio acuoso. Además, el suministro de corriente al sistema de electrocoagulación determina la cantidad de iones de aluminio Al^{+3}, liberado por los respectivos electrodos. En general un aumento de la densidad de corriente genera un aumento en la remoción de contaminante (Bayramoglu, 2004).

El tiempo de residencia, indican algunos autores (Ojeda et Hing, 2010) determina que, a mayor valor, mayor es la cantidad de sólidos formados, debido a que se favorece tanto los procesos de electrodos como la floculación y precipitación de los sólidos. Se producen más gases, que al ascender, llevan las partículas de óxido a la superficie en forma de espuma y a su vez promueve el crecimiento de los flóculos y su posterior precipitación. Un pequeño cambio del tiempo representa una gran influencia en la cantidad de sólidos obtenidos. Sin embargo, estos mismos autores señalan que sus variaciones resultan estadísticamente menos significativas que las variaciones de pH, ya que éste, está muy vinculado a la constante del producto de solubilidad (Kps) la cual debe de disminuir al elevarse el mismo, lo que significa que los sólidos son más insolubles y por tanto se obtiene una mayor precipitación de los mismos en la medida que el pH aumenta.

Es importante resaltar que el paso de la corriente a través del agua a tratar tiene efecto desinfectante en cuanto destruye en buen porcentaje los microorganismos presentes en el agua residual (Restrepo et. al).

Los organismos patógenos que se pueden encontrar en el agua proceden de residuos humanos y pueden causar enfermedades. Como la identificación de los organismos patógenos presentes en el agua es extremadamente difícil y lenta, se utiliza como indicador de su posible existencia la presencia de bacterias coliformes que son fáciles de determinar, por lo que se utilizan como indicadores de la contaminación fecal. Su presencia se interpreta como un indicador de heces y, por tanto, de que puede haber organismos patógenos presentes; su ausencia indica que el agua no contiene heces y, por tanto, se halla exenta de organismos productores de enfermedades.

Los coliformes son bacterias Gram negativas, algunas de estas bacterias no son nocivas para la salud de los seres humanos, pero una alta presencia de coliformes en un cuerpo de agua, es un buen indicador de la higiene sanitaria de la misma, y la cantidad de microorganismos patógenos (Perdomo, Casanova, & Ciganda, 2001). Las bacterias coliformes fecales o coliformes termo resistentes, son un subgrupo de las bacterias coliformes totales, los coliformes fecales tienen las mismas características salvo que, estas toleran y crecen a una mayor temperatura, una de las especies bacterianas es Escherichia coli formando parte del grupo de coliformes fecales, relacionada con numerosas enfermedades. Generalmente este tipo de organismos son excretados del aparato intestinal del ser humano y animales, la cantidad de bacterias coliformes que se generan varían entre los 100 y 400 billones (Ramos, Sepúlveda & Villalobos, 2003).

También se toma como indicador de la contaminación a la Demanda química de oxígeno (DQO), que representa la cantidad de O_2 químicamente equivalente al $Cr_2O_7^{2-}$ consumido en un proceso de oxidación y reducción. Esta equivalencia está establecida a partir de las reacciones de reducción-oxidación correspondientes (en medio ácido), es decir la DQO representa la medida de oxígeno que se requiere para oxidar la partícula orgánica en una muestra de agua, por medio de condiciones necesarias de agente oxidante, temperatura y tiempo.

Este trabajo tiene como objetivo verificar el efecto de la electrocoagulación en la calidad bacteriológica de efluentes líquidos.

Materiales y métodos

Para lograr los objetivos propuestos, se realiza la toma de dos muestras de efluentes de laguna facultativa secundaria, a las que se aplica el procedimiento experimental de electrocoagulación. Como cuantificación de la efectividad de dicho tratamiento, se realiza la medición y seguimiento de parámetros de contaminación, evaluando en este trabajo la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y los indicadores microbiológicos Coliformes totales y termotolerantes.

El desarrollo del ensayo de Electrocoagulación se realiza en la Planta Piloto de la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Villa María, con la muestra proveniente de la laguna facultativa secundaria de la Planta de tratamientos de efluentes de Villa María. Los análisis de los parámetros microbiológicos se realizan en el laboratorio de dicha FRVM.

Este trabajo contempla la evaluación de la efectividad de la EC, modificando variables operacionales como tiempos de aplicación de electrocoagulación y espacios entre placas anódica y catódica.

Las muestras son extraídas de la cámara de la salida de las lagunas facultativas secundarias, a una profundidad de 10 cm por debajo de la superficie, en botellas plásticas boca ancha de 3 litros. Se resguarda de la luz y refrigera, hasta el comienzo de la determinación, con el objeto de evitar que se modifiquen las sus características. Los resultados indicados como porcentajes % de

eficiencia corresponden al módulo evaluado. Para el procesamiento de datos se utiliza Excel y sus herramientas de análisis estadístico.

Tanto para la extracción de las muestras, como en la determinación de los parámetros, se utilizan los métodos del Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater 23rd ed. (APHA, 2017).

Previo al inicio del ensayo y la medición analítica de parámetros se homogeneiza en un único recipiente, y se retienen los sólidos gruesos. Se toma 1 litro de muestra con una probeta de 1 litro, para ser vertido en el recipiente (vaso de precipitado), que conforma el reactor para la electrocoagulación (EC).

El reactor electrolítico se realiza en un vaso de precipitado de 1 litro, cuyos electrodos se conforman por dos placas metálicas paralelas de aluminio, conectadas a una fuente de corriente. Las dos placas de aluminio son de dimensiones iguales, 70 x 120 x 2 mm (fig. 1a). Dichas placas se separan mediante elementos aislantes y se las conecta a fuente de suministro eléctrica. La distancia entre placas corresponde a 9 mm en un ensayo (EC1) y 13 mm en el segundo ensayo (EC2) (fig. 1).

La corriente eléctrica proporciona la fuerza electromotriz que provoca una serie de reacciones químicas, que desestabilizan las formas en las que los contaminantes se encuentran presentes, bien sean suspendidas o emulsificadas. La alimentación de energía se puede realizar fijando, como parámetros de ensayo, tanto los valores de tensión o los de corriente, siendo la otra respectiva variable, de ajuste automático. En cualquiera de esos casos, se utiliza una fuente de energía con la capacidad de inversión de fase en el tiempo.

Además, para desplazar la porción de muestra que se encuentra sobre la lámina de aluminio, se realiza la agitación de la muestra durante el ensayo, mediante la utilización de un agitador magnético, con el respectivo equipo de agitación, como puede verse en la imagen c) de la figura 1.

Dado que una de las variables de control son la tensión y la corriente de ensayo, en cada una de las corridas se utilizan dos equipos multímetros digitales de 3 dígitos, con el objetivo de realizar el ensayo controlando y registrar estos valores, de forma manual (fig. 1 c). Uno de estos equipos, que se encuentra conectado en serie, mide la corriente que consume las placas de aluminio mientras que el otro equipo conectado en paralelo registra los valores de la diferencia de potencial que tienen entras las placas mientras se realiza el proceso de electrocoagulación.

a) b) c)

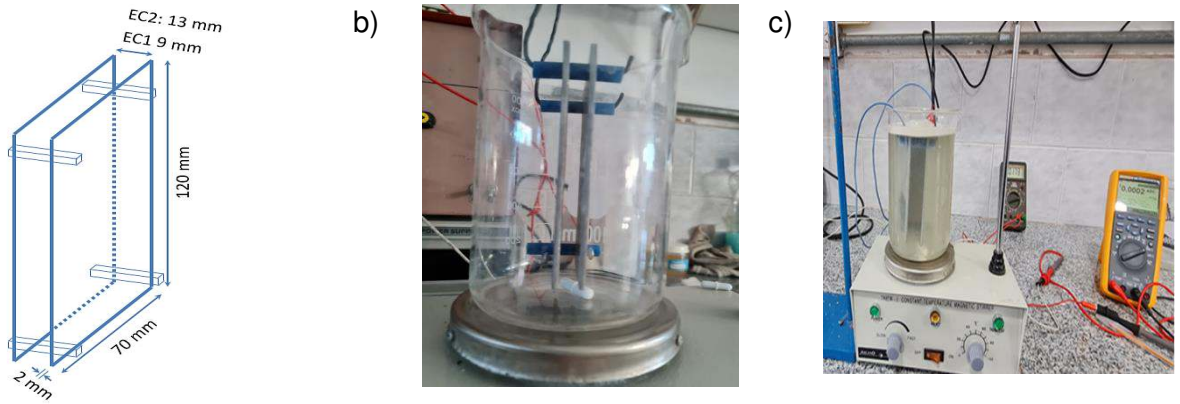


Figura 1: Sistema de Electrocoagulación. a) Esquema de placas de alumnio; b) Reactor; c) Muestra en EC.

Los parámetros de ajuste que se tienen en cuenta al momento de realizar la electrocoagulación son el tamaño de las placas de aluminio, la distancia de separación entre las placas de aluminio; la cantidad de corriente o de tensión de ensayo; el tiempo de duración del ensayo y el tiempo de inversión de fase de la fuente de alimentación.

Se realizan 2 ensayos variando la distancia entre placas corresponde a 9 mm en un ensayo (EC1) y 13 mm en el segundo ensayo (EC2) y un total de 5 corridas de electrocoagulación a tiempos 3, 6, 9 12 y 15 minutos. La identificación y denominación de las muestras según el tiempo de tratamiento aplicado es E0 para muestra inicial sin tratamiento de EC; E1 con 3 minutos; E2 con 6 minutos; E3 con 9 minutos, E4 con 12 minutos, E5 con 15 minutos de EC. Para el caso en estudio, se toman los siguientes parámetros de análisis (Tabla 1).

Tabla 1: Valores adoptados de parámetros y variables, en el ensayo.

Parámetros y variables	**Valor adoptado**	
	Ensayo 1: EC1	**Ensayo 2:EC2**
Tamaño de las placas de aluminio	70 x 100 x 2 mm	
Distancia de separación entre placas de aluminio	9 mm	13 mm
Corriente de ensayo	1000 mA	
Tensión de ensayo	14 v	
Tiempo de duración de ensayo	0, 3, 6, 9, 12 y 15 minutos	
Tiempo de inversión de fase de la fuente de alimentación	1 minuto	

Resultados y discusión

Luego de la aplicación de cada ensayo de EC1 (9 mm) y EC2 (13 mm), aplicados a los tiempos de tratamiento fijados, se evalúan los parámetros microbiológicos y la DQO de las fracciones obtenidas. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 2 y 3 respectivamente. A partir de los resultados de encontrados, se realiza el análisis del comportamiento en el tiempo (Figuras 2 a y 3 a) y sus respectivos porcentajes % de remoción (Figura 2 b y 3 b), considerando como 100 % al valor inicial de la muestra E0, calculado como se muestra en la Ecuación 1.

% Remoción= 100 - (Valor hallado/ Valor inicial) x 100 (1)

Tabla 2: Ensayo EC 1: Espaciado 9 mm. Muestra de Laguna Facultativa del 13/6/2023. Seguimiento de DQO, Coliformes totales y Coliformes termotolerantes en cada tiempo de EC.

Ensayo EC1	Tiempo (minutos)	DQO (mg/l)	Coliformes totales NMP/100 ml	Coliformes termotolerantes NMP/100 ml	Coliformes totales (% Remoción)	Coliformes termotolerantes (% Remoción)
E0	0	429,33	2,50E+06	7,90E+05		
E1	3	362,65	1,30E+06	5,02E+04	48,0%	93,6%
E2	6	293,75	1,30E+06	5,40E+05	48,0%	31,6%
E3	9	255,97	3,30E+04	2,30E+04	98,7%	97,1%
E4	12	242,63	7,90E+04	4,60E+04	96,8%	94,2%
E5	**15**	220,40	1,30E+04	1,40E+03	**99,5%**	**99,8%**

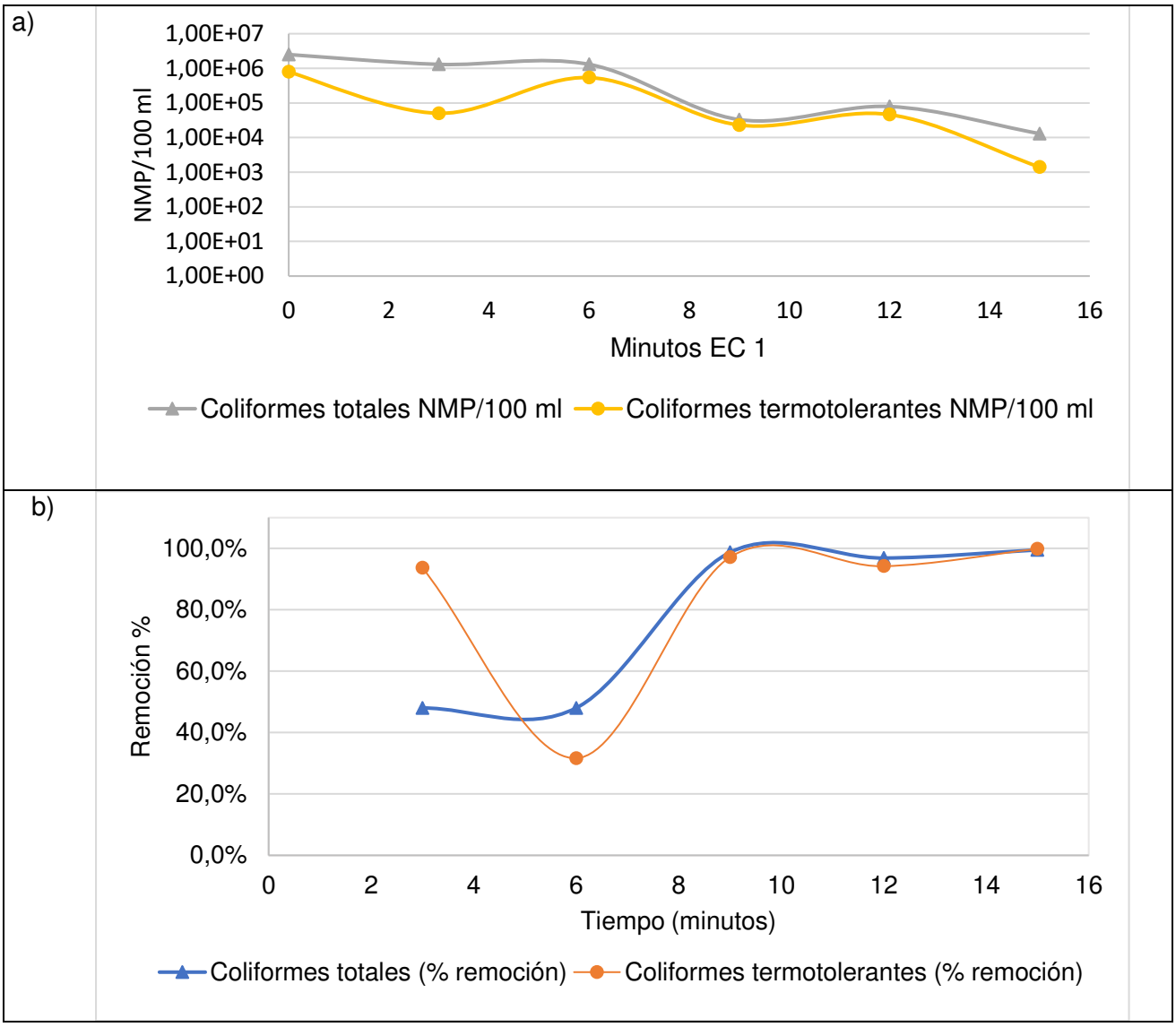


Figura 2: Ensayo EC 1: Espaciado placas 9 mm. Seguimiento de parámetros de contaminación microbiológica a) Coliformes totales y Coliformes termotolerantes NMP/ml; b) Remoción, en %.

Tabla 3: Ensayo EC 2: Espaciado 13 mm. Muestra de Laguna Facultativa del 9/4/2024. Seguimiento de DQO, Coliformes totales y Coliformes termotolerantes en cada tiempo de EC.

Ensayo EC2	Tiempo (minutos)	DQO (mg/l)	Coliformes totales NMP/100 ml	Coliformes termotolerantes NMP/100 ml	Coliformes totales (% remoción)	Coliformes termotolerantes (% remoción)
E0	0	229,29	1,30E+07	3,50E+06		
E1	3	235,96	7,90E+05	4,90E+05	93,9	86,0
E2	6	142,61	4,90E+05	1,70E+05	96,2	95,1
E3	9	127,06	3,30E+05	4,90E+04	97,5	98,6
E4	12	113,72	4,90E+05	4,50E+04	96,2	**98,7**
E5	15	107,05	2,30E+05	2,30E+05	**98,2**	93,4

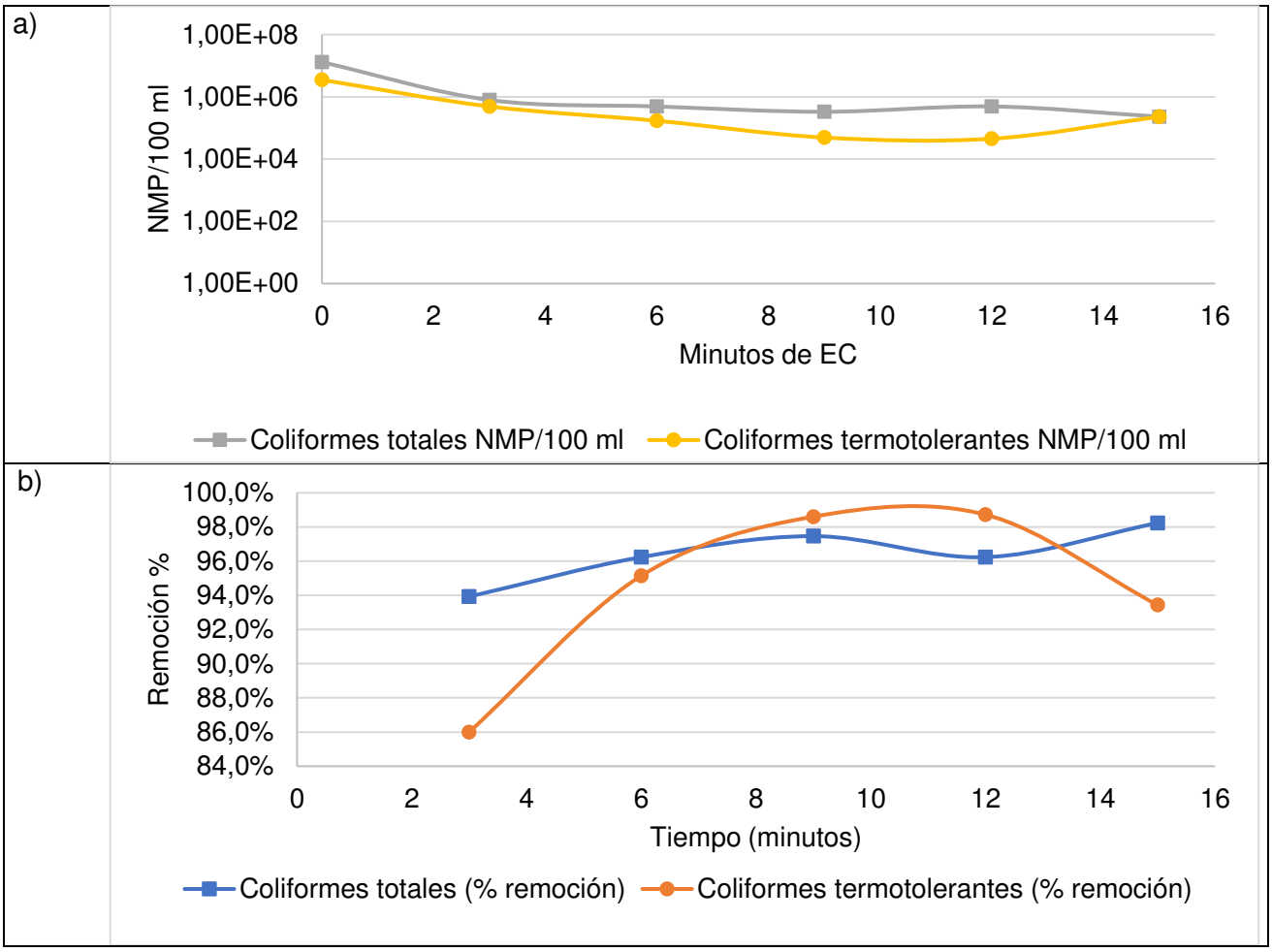


Figura 3: Ensayo EC 2: Espaciado de placas 13 mm. Seguimiento de parámetros microbiológicos a) Coliformes totales y Coliformes termotolerantes NMP/ml; b) Remoción, en %.

Los resultados encontrados indican que, con un espaciado de placas de 9 mm y tiempo de aplicación de electrocoagulación de 15 minutos, se obtienen máximos porcentajes de remoción, siendo del 99,5 % para coliformes totales y del 99,8 % para coliformes termotolerantes.

Para un espaciado de placas de 13 mm los máximos porcentajes de remoción para coliformes totales es de 98,2 % con un tiempo de aplicación de 15 minutos, en tanto para coliformes termotolerantes el máximo removido es de 98,7 % y se obtiene a los 12 minutos de dicho tratamiento.

La EC es en la actualidad una tecnología emergente que se presenta como alternativa para el tratamiento de aguas residuales, ofreciendo un potencial muy grande en la remoción de muy diversos contaminantes. Aunque esta técnica es conocida hace ya algunas décadas y aplicada en muchos casos es aún tema de investigación y experimentación, ya que posee gran versatilidad y adaptabilidad en el de manejo y operación, a diferentes procesos y a sus ventajas ambientales y económicas. Es así como el diseño de reactores para la electrocoagulación, la selección de los materiales de los electrodos y las condiciones de operación son aspectos que se deben perfeccionar mediante la investigación, para optimizar los procesos y hacerlos económicamente competitivos.

Las condiciones de operación de un sistema de electrocoagulación son altamente dependientes de las condiciones químicas del medio acuoso, especialmente de la conductividad y el pH, pero también influyen el tamaño de partículas, el tipo de electrodos, el tiempo de residencia en el reactor, el espaciamiento entre los electrodos y la concentración de los contaminantes (Chaves Porras et al, 2009).

Conclusiones

Los resultados encontrados indican que, con un espaciado de placas de 9 mm y tiempo de aplicación de electrocoagulación de 15 minutos, se obtienen máximos porcentajes de remoción, siendo del 99,5 % para coliformes totales y del 99,8 % para coliformes termotolerantes.

La disminución observada es de 2 órdenes de magnitud exponencial, de 10^6 a 10^4 para Coliformes totales y 10^5 a 10^3 para los coliformes termotolerantes, mostrando la efectividad en el proceso de desinfección con un espaciado de placas de 9 mm y 15 minutos de tratamiento.

Con dichos parámetros de proceso se obtiene una remoción de otros contaminantes que se incluyen en los resultados de disminución de la Demanda Química de Oxígeno cuyo valor inicial de 429,33 mg/l se reduce a 220,40 mg/l, lo que significa una eficiencia del 48 % en la remoción en 15 minutos de EC1.

En tanto para un espaciado de placas de 13 mm, los máximos porcentajes de remoción para coliformes totales es de 98,2 % con un tiempo de aplicación de 15 minutos, y para coliformes termotolerantes el máximo removido es de 98,7 % y se obtiene a los 12 minutos de dicho tratamiento.

Asimismo, la disminución observada es de 2 órdenes de magnitud exponencial, de 10^7 a 10^5 para Coliformes totales y 10^6 a 10^4 para los coliformes termotolerantes, siendo también efectivo en el proceso de desinfección en condiciones de EC2 (espaciado de placas de 13 mm).

También se obtiene una remoción de la Demanda Química de Oxígeno cuyo valor inicial de 229,29 mg/l y se reduce a 113,72 a los 12 minutos y a 107,05 mg/l a los 15 minutos, lo que significa una eficiencia de remoción del 50,40% a los 12 minutos y 53 % en la remoción para 15 minutos de EC2 (espaciado de 13 mm).

La aplicación del método de electrocoagulación a las aguas en estudio resulta efectivo en el propósito de reducir la carga la microbiológica de coliformes fecales y coliformes termotolerables, además de la demanda química de oxígeno.

Se consigue mayor mayores porcentajes de remoción microbiológica para una distancia de placa de 9 mm, aunque la mayor remoción de DQO se presenta para una distancia de placa de 13 mm, por lo cual resulta imprescindible evaluar puntualmente la necesidad del tratamiento a aplicar en cada caso.

Se concluye que la tecnología de electrocoagulación aplicada a efluentes tratados por lagunas facultativas secundarias bajo las condiciones mencionadas produce la remoción de bacterias coliformes totales y termotolerantes, mejorando su calidad bacteriológica.

Agradecimientos

El presente trabajo se desarrolla en el marco del proyecto PID “Caracterización y seguimiento fisicoquímico, biológico y microbiológico del curso de agua superficial según aportes antropogénicos. aplicación de tecnologías para el mejoramiento de calidad de aportes puntuales”, Código MSTCVM0008772TC.

Referencias

APHA-AWWA-WEF. (2017) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd Ed.

Arango, A. (2005). La electrocoagulación: Una alternativa para el tratamiento de aguas residuales. Revista Lasallista de Investigación. Vol 2(1).49-56. Recuperado de: http://www.rlac.buap.mx/

Arango, A., Garcés, L. F. (2009). Influencia de la conductividad eléctrica en la electrocoagulación de aguas residuales. de la industria láctea. Producción + Limpia. Julio-Diciembre, Vol.4, No.2:54-64.

Bayramoglu, M. (2004). Operating cost analysis of electrocoagulation of textile dye wastewater. In: Separation and Purification Technology. Vol.37, No. 2; p.117 – 125.

Butler, E., Tse, Y. T., Yu-Li, T., Suleiman, M. (2011). Electrocoagulation in Wastewater Treatment. Review. Water, 3:495-525. Recuperado de: https://doi.org/10.3390/w3020495

Chávez Porras, A., Cristancho Montenegro, D., Ospina Granados, E. (2009). Una alternativa limpia para el tratamiento de las aguas residuales galvánicas. Rev. Ing. Univ. Medellin. Vol.8 Nº 14 Medellin. Print version ISSN 1692-3324. Colombia. Recuperado de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1692-32420090001000004&script=sci_arttext

Chen, G. (2004). Electrochemical Technologies in wastewater treatment. Separation and Purification Technology. Vol. 38:11-41.

Giménez Cisneros, Blanca Elena. (2001). Contaminación Ambiental en México. Ed. Limusa. México.

Mansouri, K., Ibrik, K., Abdel, A. (2011). Anodic Dissolution of Pure Aluminum during Electrocoagulation Process: Influence of Supporting Electrolyte, Initial pH, and Current Density. Ind. Eng. Chem. Res. 50:13362 – 13372.

Ojeda, E., Hing, R. (2010). Estudio del proceso de electrocoagulación de la vinaza residual de las destilerías de alcohol etílico. Tecnología Química, 30(10):38-47.

Perdomo, C.H., Casanova, O.N., & Ciganda, V.S. (2001) Contaminación de aguas subterránea con nitratos y coliformes en el litoral sudoeste del Uruguay. Agrociencia, *5*(1), 10-22.

Powell Water Syastem. (2001). Powell Electrocoagulation: Sustentable Technology For the Future. Colorado: Powell Water Systems, p.2-27. Recuperado de: www.powellwater.com/data/technical%20manual.pdf.

Ramos, R., Sepúlveda, R., & Villalobos, F. (2003) El agua en el medio ambiente: muestreo y análisis. México: Plaza y Valdés.

Restrepo Mejía, A. Arango Ruiz, A. Garcés Giraldo, L, 2012 La electrocoagulación: retos y oportunidades en el tratamiento de aguas. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/277035194

VIGILANCIA, INTERPRETACIÓN DE CURVAS Y RASTREO SUPERVISADO COMO HERRAMIENTA PARA ENCONTRAR EVENTOS Y DESVÍOS EN SISTEMAS/DISPOSITIVOS MONITOREADOS DE UNA INSTITUCIÓN DE SALUD

Carlos E. Marino[1], Marcelo C. Castello[1], Ignacio Arraña[1]
[1]Observatorio de Energía y Sustentabilidad. Departamento Ingeniería Eléctrica. Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Rosario
email: cemarino63@gmail.com

Resumen

Es de conocimiento general la posibilidad de conectar dispositivos a internet. Al respecto se puede decir que en estos últimos años el auge de las IoT tomó una gran aceleración y en una inmensa diversidad de campos de acción.

El gerenciamiento de las actividades de mantenimiento en una institución de salud no es ajeno a estos campos. Si bien en estas instituciones prima el concepto sanitario, las actividades de los servicios auxiliares, como el de mantenimiento, son tan fundamentales como el accionar médico para llegar a los objetivos.

Las IoT y la integración de los sistemas y dispositivos médicos a la red informática y a servidores que almacenan sus datos, permiten que se puedan: monitorear, interpretar eventos o desvíos en tiempo real y anticiparse a salidas de servicio entre otros, con la posibilidad de proponer cambios de conductas o de uso que apuntan, además de, a funcionamientos correctos y eficaces, a garantizar el proceso de atención y a ahorros económicos.

Los gráficos de las curvas y los comentarios expuestos a continuación proponen fundamentar la ayuda que ofrecen los sistemas de monitoreo para entenderlos, incorporarlos y actuar al respecto en la búsqueda del cumplimiento de los objetivos en salud.

En el presente trabajo se expone la experiencia desarrollada por los departamentos de mantenimiento de una institución de salud, cuando a partir de épocas de pandemia se forzó y aceleró la aplicación de sistemas de monitoreo, de desarrollo propio, como herramientas complementarias a sus actividades diarias. Se presentan dos casos, uno relacionado con “Desvíos, modulación y eventos en freezers de vacunas” y otro caso referido a “Monitoreo de calidad de aire interior de un vacunatorio instalado en un espacio cultural”.

En ambos casos las técnicas empleadas (loging y tracing supervisado) permitieron garantizar las actividades, cambiar conductas del personal sanitario y readecuar protocolos.

Palabras Clave: Tracing, Loging, Monitoreo, Rastreo, Gerenciamiento, Mantenimiento

Introducción

El desarrollo de aplicaciones IoT permite a los técnicos de mantenimiento conseguir sus objetivos, que pueden clasificarse como: “Objetivo inmediato”, “objetivo básico” y “objetivo institucional”.

El objetivo inmediato del mantenimiento es conservar en condiciones de funcionamiento seguro, eficiente y confiable las propiedades de los sistemas, instalaciones y/o equipos para no demorar ni interrumpir servicios o prestaciones.

El objetivo básico del mantenimiento es contribuir por los medios disponibles a sostener lo más bajo posible el costo de la operación de las actividades de una empresa o institución. En este punto no solamente se deben considerar los bajos costos que surgen de la elección de un buen programa de mantenimiento que apunte a coordinar y planificar las actividades propias del servicio, sino que

también es importante y mucho más notable el trabajo que desarrollará personal calificado, generalmente el encargado o el profesional competente, en todo lo referente a la compra de equipos y las potencialidades de monitoreo local o remoto para que partiendo del análisis de datos recogidos se puedan hacer más eficientes los sistemas.

El objetivo institucional del mantenimiento está basado en el aporte que debe brindar el mantenimiento desde su organización y gerenciamiento a los objetivos institucionales que en este trabajo, se entienden como encuadrados en los “ejes sanitarios” y están relacionados con las buenas prestaciones de prácticas médicas, consultas de pacientes, análisis bioquímicos, normas de bioseguridad, entre otros. Sobre esta base se definirá este objetivo con el cual, el mantenimiento, deja de ser “mantener” el funcionamiento de un equipo o las condiciones de una instalación, para pasar a formar parte del producto final de la Institución de Salud.

La concepción de esta visión determina que el responsable de mantenimiento y todo su equipo forman parte de los equipos de salud.

Considerando a la “Salud como un Derecho Universal y Esencial”, quienes trabajan en ámbitos sanitarios deben garantizar la misma con acciones de prevención y promoción de la salud, acceso equitativo y de calidad a los servicios de salud, promoción de entornos saludables, educación en la comunidad, articulación intersectorial y participación comunitaria, entre otras. (Marino et al, 2021). Una institución de salud es una institución donde se brindan servicios para garantizar a la población objetivo algunos conceptos del párrafo anterior. En estos espacios se encuentra gente que brinda una atención y gente que se acerca a ser atendida. La complejidad de servicios que se desarrollan en las mismas va desde sectores de prácticas quirúrgicas e internación, consultas, servicios técnicos auxiliares y circuitos administrativos, hasta oficinas legales y contables. (Marino et al, 2021).

Si bien hay algunos sistemas o equipamientos más costosos y complejos que otros, desde la óptica del objetivo institucional, se entiende que la criticidad tiene poca influencia de parte de estos factores. A modo de ejemplo se describe el siguiente caso: Dos personas externas, entiéndase para este ejemplo, “pacientes”, que se acercan a una institución de salud, una por un estudio de resonancia magnética nuclear y otra por un control de rutina cardiológico, tiene desde sus propias vivencias y responsabilidades familiares y laborales, la misma necesidad de retirarse con el estudio completo. La no toma de presión arterial por falta de un tensiómetro que funcione correctamente, no puede excusarse detrás de la falta de personal técnico porque los mismos se encuentran en la reparación de un resonador magnético.

El cambio de paradigma de los departamentos de mantenimiento debe encuadrase dentro del objetivo institucional. Las aplicaciones IoT se presentan como una herramienta poderosa para adelantarse a comportamientos indeseados, conductas desacertadas y proponer soluciones anticipadas y eficaces. Es en este sentido que se presentará el análisis de casos relevantes de la potencialidad de estas aplicaciones.

El control de temperatura de las heladeras de vacunación y la calidad de aire ambiental son aspectos a veces no considerados o expuestos como parte de la atención médica. Este nuevo paradigma de gestión del mantenimiento, con el apoyo de las aplicaciones IoT, entiende que “si”.

La decisión de utilizar sistemas de recolección y posterior análisis de datos es una práctica que cada vez se hace más común en los equipos de mantenimiento y encierra potencialidades hasta ahora no tan implementadas. Cuando se habla de potencialidades se habla, no solo de analizar los datos en el dominio del tiempo e interpretarlos, sino llevarlos también al análisis de repetitividad buscando patrones de comportamiento, es decir llevarlos al dominio de la frecuencia.

Ejemplos de este tipo de estudios o aplicación de criterios se pueden encontrar comúnmente en la industria, y se los puede encontrar bajo los títulos de Industria 4.0, Industria Conectada 4.0 o Mantenimiento Predictivo 4.0. Miguel Luna Pérez y Graciela Vázquez Álvarez (2019) mencionan en su documento "Metodología de trabajo predictivo 4.0 para asegurar procesos de producción" conceptos similares a los que se mencionan en los párrafos anteriores: "En la industria, existen fábricas inteligentes con mantenimiento automatizado y la eficiencia está mejorando de forma considerable. La idea es llevar "más inteligencia" al área de mantenimiento, basadas en la información que les llega en tiempo real, ayudándose de datos esenciales que antes pasaban desapercibidos o "demoraban" en llegar (p.1).

Se entiende entonces, que el monitoreo de distintas variables permite no solo ver e interpretar el estado de funcionamiento de un sistema o equipo (comportamiento), sino que, además, la detección de eventos anómalos y/o desvíos temporales.

Situándonos en la generalidad de la gestión del mantenimiento, un evento anómalo es aquel que se produce de forma repentina y sin previsión. En un entorno industrial estos eventos, generalmente fallos en las máquinas, pueden provocar grandes daños por lo que su detección precoz puede ayudar a prevenir situaciones críticas (García Carretero, 2020. p.1).

Un desvío temporal es aquel que se sale de los parámetros normales de funcionamiento y no precisamente puede ser una falla o un conjunto de outliers. Los outliers son observaciones o datos atípicos que, en general, no pueden ser explicadas por los modelos estadísticos que utilizan técnicas de análisis de datos con el fin de encontrar patrones para una predicción hacia futuro y por lo tanto no se encuadran dentro de un supuesto de normalidad, apartándose considerablemente de los valores medios.

La interpretación de curvas y la vigilancia representan una buena herramienta para adelantarnos a eventos anómalos o gestionar los desvíos temporales.

El loging o registro de los eventos de un sistema, brinda la posibilidad de notificar al usuario condiciones seteadas de alarma y a partir de ello, tomar las medidas necesarias para rápidas soluciones.

El tracing o rastreo permite seguir el funcionamiento del sistema y detectar desvíos, analizar y sacar información para gestionar futuras acciones, mejoras o cambios de conductas.

La diferencia entre loging y tracing consiste en que el primero es un registro permanente de los aspectos más relevantes de la operación, para poder reconstruir un escenario en caso de un funcionamiento inadecuado del sistema con intención de depurarlo, mientras que el segundo es un seguimiento de todas las acciones que realiza el sistema, es más intenso y abarca toda la operación del sistema. (Velázquez-Cruz, et al 2014).

Materiales y métodos

Este documento muestra la experiencia obtenida con un sistema de adquisición de datos de desarrollo propio.

El sistema de monitoreo utilizado se desprende de proyectos anteriores en los que se desarrolló y perfeccionó un prototipo de datalogger.

Sin entrar en detalles sobre su programación, se destaca que se desarrolló hardware y software, con un enfoque integral para el tratamiento efectivo de señales, hasta llegar a su expresión en valores en un display o dashboard, almacenamiento y gráficos en un sistema web también de

desarrollo propio, que trabaja y muestra datos y curvas en tiempo real. Se tomó como referencia la tesis de Marcelo Castello (2021) “Sistema de monitoreo de temperaturas en tiempo real para refrigeradores críticos de salud”, con la cual aprobó la Carrera de Especialización en Internet de las Cosas de la Universidad de Buenos Aires.

El sistema básicamente provee:

- Nodos para la medición de variables físicas.
- Un medio de transporte de esas variables.
- Un sistema de almacenamiento, visualización y alertas.

Este sistema de monitoreo tiene la particularidad de ser de visualización a distancia o remota, graficación de comportamientos en tiempo real y alarma de eventos, entre otras características.

Para estos modelos y desde la óptica de “tracing supervisado” se analizarán las curvas generadas por el sistema de monitoreo. Vale destacar que se menciona “supervisado “para esta etapa de la técnica y del desarrollo propio, ya que es el usuario del sistema de monitoreo quien transitoriamente saca las conclusiones. Como actividad a corto plazo, se persigue una instancia superior que logré con los datos y el rastreo, un aprendizaje automático o machine learning y transforme el tracing en “semisupervisado”, donde el usuario y el sistema vigilan, rastrean e informan, con la potencialidad futura de llegar a ser automático e inteligente sin la necesidad de vigilancia por parte del usuario.

Actualmente el sistema realiza loging semisupervisado cuando los valores de las variables se salen del seteo de comportamiento esperado, es decir se generan reportes de alarmas que vía plataforma de comunicación telegram se distribuyen como mensajes de texto para los usuarios autenticados que en consecuencia, actúan para salvar el desvío.

A continuación se realiza una descripción del procedimiento concreto de la técnica de rastreo llevado a cabo, para entender los resultados generales obtenidos a partir del análisis de las observaciones.

Primeramente, se realizó un trabajo exploratorio de distintas curvas generadas por el sistema de monitoreo, que llevó momentos de debates entre los técnicos desarrolladores y analistas, momentos de interpretación y momentos de entendimiento de las reales causas de los desvíos observados sobre patrones de comportamientos normales. Estas primeras observaciones derivaron en descripciones y correlaciones fundamentadas, que se explican para tres casos de los tantos monitoreados. Tal como describen Sampieri et al (2010), en el libro Metodología de la Investigación, Quinta Edición, hablando del campo de la investigación científica, “Es posible que una investigación se inicie como exploratoria, después puede ser descriptiva y correlacional, y terminar como explicativa” (p.78).

Si bien el desarrollo de un sistema de monitoreo se fundamentó principalmente en ver y posteriormente reportar datos que se salen de un rango seteado como normal, la visualización de las curvas generadas por los datos de las variables en tiempo real, analizadas desde la óptica de tracing supervisado permite ver comportamientos que pueden correlacionarse con otras variables, interpretarlos y aprovecharlos para gestionar. Entender que esta visión es una herramienta, facilita y potencia el desempeño de los equipos técnicos de mantenimiento y puede ser utilizada para:

- Mejorar la eficacia médica de los productos y equipos.
- Cumplir con las normativas.
- Disminuir pérdidas económicas.
- Crear protocolos de actuación para soporte técnico.

- Mejorar conductas tendientes al uso de sistemas y equipos
- Mejorar conductas tendientes al uso racional de la energía.

Resultados y discusiones

El análisis exploratorio tuvo como meta mejorar la gestión de mantenimiento para todas las actividades diarias de una institución de salud. Es decir, examinar este concepto de herramientas de monitoreo e incorporarlo al objetivo institucional, tema poco estudiado en un ambiente de una institución donde prima y se reconoce básicamente la prestación de personal médico/sanitario y, donde los servicios auxiliares técnicos, administrativos o de gestión, solo deben encausarse en esa dirección sin ser reconocidos como parte.

No solo se fundamenta el párrafo anterior en base a revisión de la poca literatura existente sino también en comentarios diarios de quienes trabajan en esas instituciones.
Vale destacar, además, que es general que muchos que constituyen planteles de servicios auxiliares, no vean, no se comprometan, no integren o no se familiaricen con el objetivo institucional. Cambiar esta mirada debe ser compromiso de quienes dirigen estos planteles.

A continuación, se exponen tres casos registrados, vigilados y analizados, dos relacionados con freezers de vacunas y uno relacionado con calidad de aire interior de un local.

Casos 1 y 2: Desvíos, modulación y eventos en freezers de vacunas

Estos casos muestran el comportamiento de dos freezers donde se almacenan vacunas, vacunas Covid 19, que deben mantener la cadena de frío y se exige que las temperaturas deben estar por debajo de los -18°C. Uno caso muestra variaciones de comportamiento por fuera del funcionamiento normal (por fuera del patrón de funcionamiento) a causa de razones externas y de regulación del termostato y otro caso, variaciones de temperaturas por fuera del rango seteado, por conductas de carga de material de parte del plantel sanitario.

La siguiente imagen (Fig 1) muestra la dashboard desarrollada para el sistema de monitoreo, y de ella el panel o pantalla que vigila el usuario. Para esta imagen vale detenerse a observar la curva que muestra el comportamiento normal esperado de funcionamiento de un determinado freezer.

En la curva se pueden observar las pendientes de crecimiento y decrecimiento de temperatura, cuya modulación se observa entre -22°C y -26°C.

Fig 1 - Panel completo de dashboard para un termómetro de freezer de vacunación

Caso 1- Análisis de funcionamiento forzado de freezer de vacunas

El siguiente caso intenta demostrar el carácter integral de la gestión del mantenimiento y su participación para mantener el objetivo institucional. Para entrar en tema se menciona que en fecha 29/12/20 llegaban a la Ciudad de Rosario las primeras dosis de vacunas Covid 19, momento en el que los equipos técnicos tomaron la responsabilidad de garantizar la cadena de frío en los distintos vacunatorios. El sistema de monitoreo de desarrollo propio antes mencionado se presentaba como especial para mantener esa garantía, pero no solo se apuntó a mantener las vacunas a las temperaturas exigidas por protocolos, sino también a cuidar el funcionamiento de los equipos de frío para los cuales no se tenía back up de reemplazo.

En los siguientes párrafos se describirá la puesta en marcha del freezer del vacunatorio del hospital de Niños Victor J, Vilela y como la vigilancia y el rastreo de parte de técnicos de la Dirección de Bioingeniería detectaron actuaciones y cambios de conducta o de funcionamiento que condicionaban el servicio del único freezer de ese efector.

La siguiente imagen (Fig 2) muestra las curvas registradas entre la puesta en servicio del freezer el 29/12/20 (día que se recibieron las vacunas) y su posterior funcionamiento hasta las 18:00 hs del día 04/01/21.

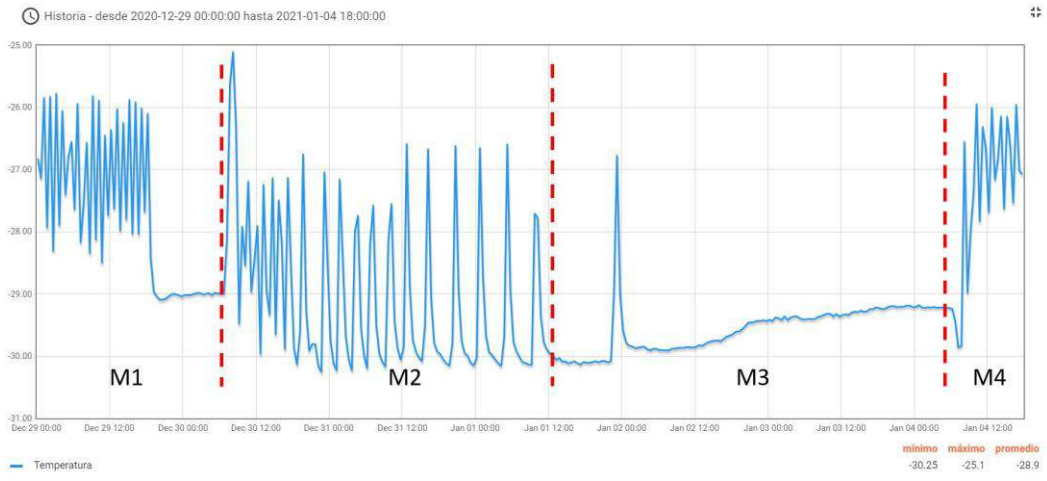


Fig 2 - Curva de temperatura registrada para el freezer entre el 29/12/20 y el día 04/01/21.

Como puede observarse la gráfica no muestra un patrón de comportamiento constante, por lo cual se analizaron cuatro momentos, cuyas diferencias responden a dos causas, una referida a actuaciones de parte del personal sanitario y otra a cambio de condiciones del local del vacunatorio elegido para ubicación segura del freezer.

En el momento identificado con M1, el día 29/12/20 se observa el correcto funcionamiento del freezer según el seteo de temperaturas, observándose un funcionamiento entre los -26°C y -28°C, que se corresponden con los sugeridos por protocolos, definidos entre -22°C y -28°C. Esta primera modulación de funcionamiento aceptado es hasta un horario cercano a las 18:00 hs momento en el que se cierra el vacunatorio. Las condiciones cambian cuando para mejorar el aseguramiento de la cadena de frío, alguien modificó el termostato y lo llevó a trabajar hasta -29°C. Se puede observar que el compresor del equipo trabajó permanentemente hasta las 07:00 aproximadamente del día siguiente, en donde se da comienzo y se describe el momento M2.

El momento M2 se corresponde con el día miércoles 30/12/20, donde se observa una diferencia de tiempo de funcionamiento del compresor del freezer entre el horario de apertura y posterior al cierre del vacunatorio, condición que se mantiene durante el día 31/12/20, día feriado en el que el

vacunatorio no funcionó.

La siguiente figura (Fig 3) muestra esas diferencias observadas.

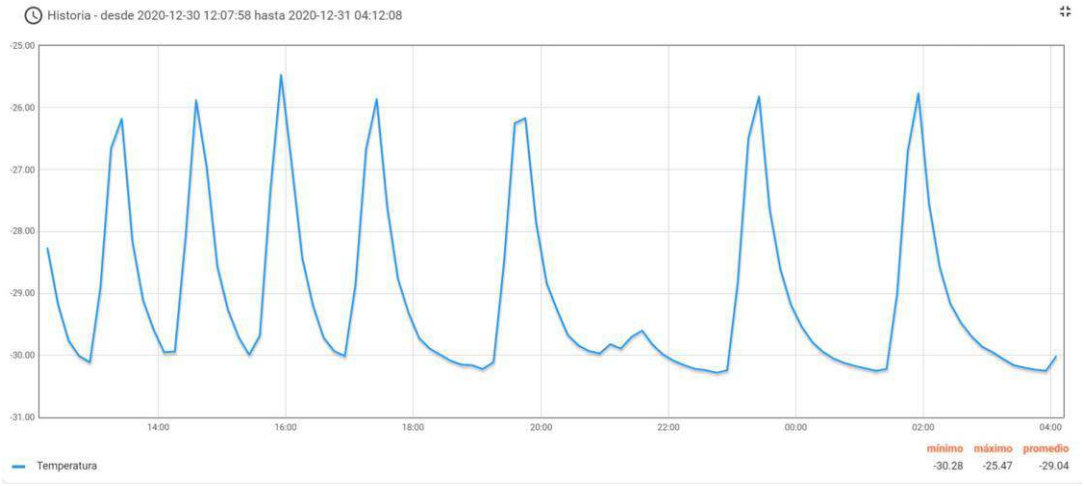


Fig 3 - Momento M2 . Comportamiento del freezer el día 31/12/20

El momento M3 se corresponde con el funcionamiento del freezer durante el periodo comprendido entre el 01/01/21 y las 07:00 hs del 04/01/21 que muestra mayores exigencias al compresor del freezer que tuvo dos marcados periodos de funcionamiento continuo, uno superior a 12:00 hs y otro superior a 48 hs.

Para este momento se comprobó, no solo un nuevo corrimiento del termostato hasta su límite más bajo de enfriamiento, sino que además se apagó el sistema de acondicionamiento de aire del recinto (sistema de aire split), condición que empeoró el funcionamiento y llevó al equipo a trabajar de forma extrema y continua.

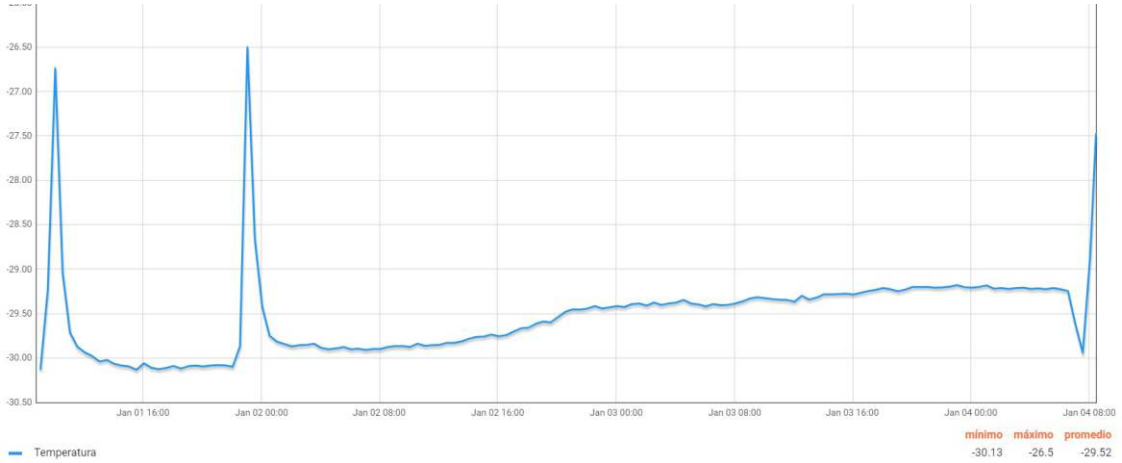


Fig 4 – Momento M3. Donde se observa comportamiento exigido del freezer.

Finalmente, el momento M4 muestra la regulación del funcionamiento a partir de las actuaciones del personal técnico que vigilaba y rastreaba eventos. En la gráfica general se observa este momento donde las curvas de temperatura responden y se adecúan a los parámetros de seteo protocolizados.

Conclusión Caso 1: La técnica de rastreo o tracing supervisado permitió mantener y garantizar la cadena de frío, aliviar el funcionamiento de los freezers conservadores, readecuar los protocolos y acordar conductas y actuaciones.

Caso 2 - Evento registrado por cambio de conductas de carga de material al freezer.

En la siguiente figura (Fig 5) se observa un aumento de temperatura, que analizado según la óptica de tracing supervisado y las correlaciones inferidas, se debió a la incorporación o carga al freezer, de material más caliente que modificó las condiciones normales o de modulación normal. Como en el caso anterior, las indicaciones del equipo técnico apuntaron a mejorar la forma de incorporación las cargas, que debe ser de forma espaciada y controlada, y sobre todo cuando se sabe que las mismas se encuentran a temperaturas por encima de los -18°C. Dichas indicaciones fueron aceptadas y adoptadas por los planteles sanitarios.

Se destaca que a los freezers se les incorporaron termómetros para observar las temperaturas internas.

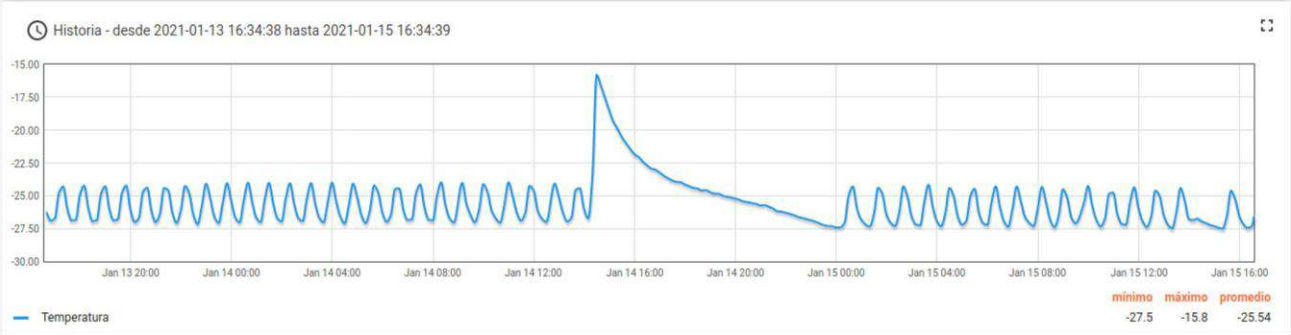


Fig 5 – Curva en donde se observa la incorporación de material a temperaturas superiores a las de seteo.

Este evento generó una señal de alarma y permitió rápidas actuaciones para conservar las vacunas y readecuaciones del protocolo.

Otra información que se pudo sacar de este evento se refiere al tiempo de calentamiento o pérdida de frío de las vacunas y posteriormente recuperación de las temperaturas deseadas a partir del análisis temporal de las pendientes de las curvas.

Conclusiones generales casos 1 y 2: Del análisis de estos eventos y considerando que los freezers no solo estaban instalados en los distintos vacunatorios de los efectores de salud, sino que también, tiempo después, en otros centros transitorios, se diseñaron y readecuaron protocolos de actuaciones de parte del comité sanitario, integrado por personal del Programa de Inmunizaciones, personal de la Dirección de Bioingeniería de la Secretaría de Salud Pública y personal de la Central de Operaciones de Emergencia Municipal (COEM) de la Secretaría de Gobierno, todos de la Municipalidad de Rosario. Estos protocolos no solo definían actuaciones ante emergencias, sino que también seteos de parámetros, forma de cargar los freezers y el mantenimiento de las condiciones de los espacios o vacunatorios.

El análisis de la pendiente de la curva para la condición de calentamiento, considerando que los freezers modulaban entre -22°C y -26°C, que se habían seteado alarmas para temperaturas mayores a -18°C, y que no se tenían que superar los -15°C, determinó que se disponía de 30 minutos para llegar a cualquier vacunatorio y salvar el inconveniente. Tiempo suficiente para que los intervinientes y responsables den las respuestas necesarias.

Se destaca que el COEM dispone de un camión de emergencia con grupo electrógeno que promediaba su respuesta en 15 minutos a cualquier punto de la Ciudad y solo tuvo que actuar en pocos casos relacionados con falta de energía por parte de la empresa distribuidora de energía. El

protocolo de actuación incorporaba la llamada y el compromiso de rápida respuesta de la guardia de la empresa distribuidora para reponer el servicio.

Caso 3: Monitoreo de calidad de aire interior vacunatorio instalado en Centro Cultural Cine Lumiere

En este caso se muestra la participación de los equipos técnicos de mantenimiento para el cumplimiento de los protocolos exigidos para un vacunatorio instalado en un espacio donde funciona una sala de cine barrial. Si bien los vacunatorios están incorporados a edificios sanitarios, diseñados desde la óptica de considerar aspectos de ventilación y dilución de aire, para este caso de época de pandemia, y con el objetivo de acercar las vacunas a los ciudadanos, se establecieron centros transitorios para acelerar el programa de inoculación y evitar el traslado de personas, grandes distancias. El protocolo de funcionamiento se trabajó de acuerdo a las exigencias de estos espacios y especialmente, considerando que la vía de transmisión más generalizada para el covid es del tipo aérea, se definió para la apertura de centro de vacunación, antes del ingreso de las personas que habían accedido al turno diario, la apertura de puertas, ventanas y ventiluces del lucernario para garantizar renovaciones y ventilación dirigida y cruzada. Más allá de estas consideraciones, se adaptó rápidamente el sistema de monitoreo para medir CO2, humedad y temperatura y se instaló en el espacio definido como sala de espera, donde funciona normalmente la sala de proyecciones del Centro Cultural.

El siguiente análisis muestra el comportamiento de la calidad de aire interior, en el periodo comprendido entre las 10:45 hs del día 20/04/21 y las 07:30 hs del día 27/04/21.

Se destaca que en el Centro Cultural no existen sistemas activos de acondicionamiento de aire que permitan renovaciones con inyección de aire exterior que posibilite dilución. El sistema de monitoreo se instaló con el objetivo de vigilar y garantizar lo expuesto en los protocolos adoptados, considerando que estas condiciones se mantuvieran en horario de funcionamiento del vacunatorio, de 8:00 a 18:00 hs.

Estos protocolos surgieron:
De las recomendaciones que un grupo de científicos y otros profesionales (aireamos.org) todos firmantes de la carta internacional que advertían a la OMS del riesgo de contagios por aerosoles,
Del posicionamiento de ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers)
De la misma OMS
Del Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (Normas RITE Españolas).
Y de los tiempos exigidos como máximo para la exposición y transmisión por vía aérea de la TBC (tuberculosis), que no deben ser mayores a 15 minutos.

Para nuestro caso se tomaron como valores permitidos, según la clasificación en categorías de calidad del aire interior en función del uso los siguientes valores:

CATEGORÍA	CALIDAD DEL AIRE	TIPO DE EDIFICIO	CO2 (ppm – partículas por millón)
IDA 2	Aire de Buena Calidad	Oficinas, residencias (Locales comunes de hoteles y similares, residencias de ancianos y de estudiantes), salas de lectura, museos, salas de tribunales, de aulas de enseñanza y asimilables y piscinas.	500

Tabla 1 - Categoría 2 (extractada de Normas RITE Españolas)

Como parámetro de llamado de atención se tomó 600 ppm, valor que está por debajo de las recomendaciones de la OMS, que sugiere no llegar más allá del rango de las 800 ppm.

Primeramente, se presenta una curva de variación temporal de la totalidad del periodo mencionado y luego se detalla el comportamiento para cada día y también durante el periodo de tiempo de apertura y trabajo del vacunatorio allí instado.

Curva del periodo total
Las siguientes curvas grafican el periodo antes mencionado. (Fig 6 y 7)

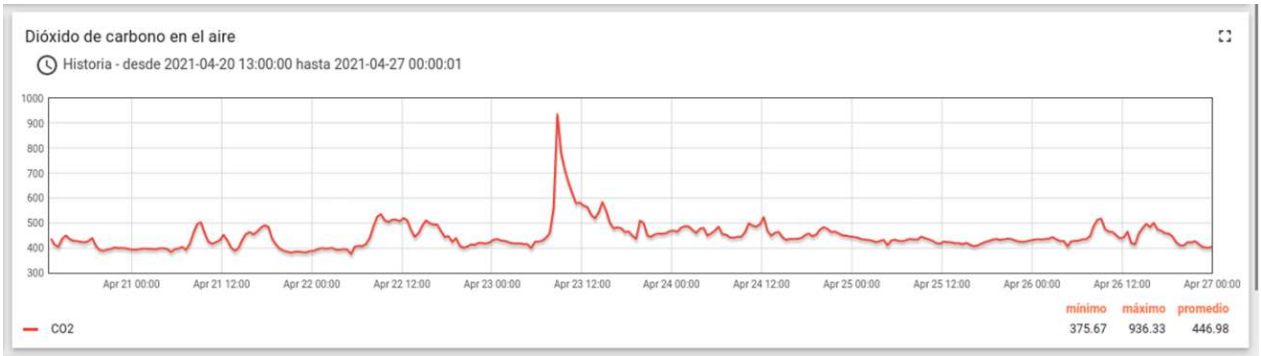


Fig 6 – Curva de CO2 de la sala de espera del vacunatorio

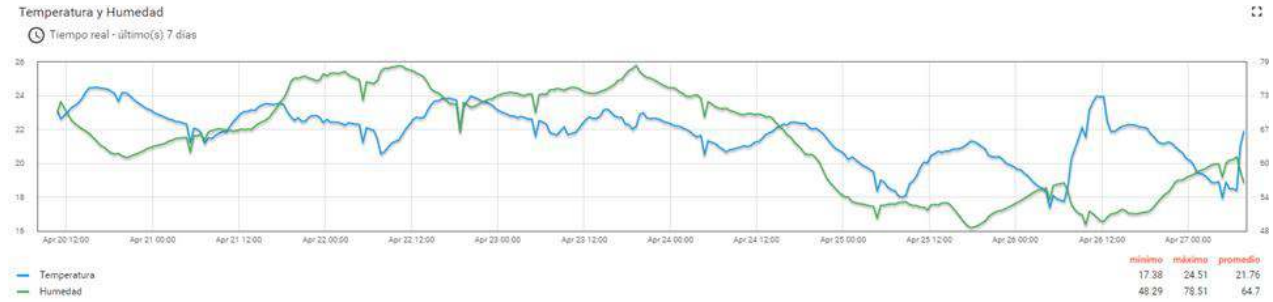


Fig 7 – Curvas de temperatura y humedad de la sala de espera del vacunatorio

Aplicando “tracing supervisado” sobre las curvas se puede ver un pico de aumento de CO2 que llega a 997 ppm el día viernes 23/04/21 a las 8:32 y desciende por debajo de los 600 a las 11:02 (Valores por encima de los valores máximos normales de cada uno de los demás días en horario de atención).

Puede observarse que no existe correlación entre los valores de humedad y temperatura de ese mismo ambiente con el aumento de CO2, como para inferir que el pico o evento anómalo pudo haberse correspondido directamente a variables meteorológicas.

Por lo cual se destaca que los motivos pueden estar orientados a cuestiones de:

- Mayor cantidad de personas en esa sala sobre lo habitual y acordado.
- Cambio de conducta en la apertura de ventilaciones, (por ejemplo, demora en la apertura de ventanas y puertas). En este caso se considera igual cantidad de personas en la sala como en los otros días.
- Ambas condiciones, es decir mayor cantidad de personas que ingresaron en el momento de apertura y demora en la apertura de ventanas y puertas.

Detalle del momento en el que se detectó el pico de CO2.

Como antes se mencionó, el pico de CO2, disparó un mensaje de alarma a los usuarios autenticados

del Programa de Inmunizaciones y de la Dirección de Bioingeniería, quienes rápidamente se contactaron con los responsables del centro.

Como puede verse en la curva ampliada del día en cuestión (Fig 8), se ve un aumento de CO2 muy por encima de los valores sugeridos y su normalización casi 3 hs después.

Fig 8 – Curva de CO2 para el día 23 de abril de 2021

Curvas de otros días

A continuación, se muestran algunas curvas que se tomaron sin ningún criterio de selección, solo a modo general, para un día distinto y completo de esa semana registrada (22/04). En la Fig 9 se observa un incremento de CO2 que se corresponde con el horario de funcionamiento del vacunatorio que no supera los valores sugeridos.

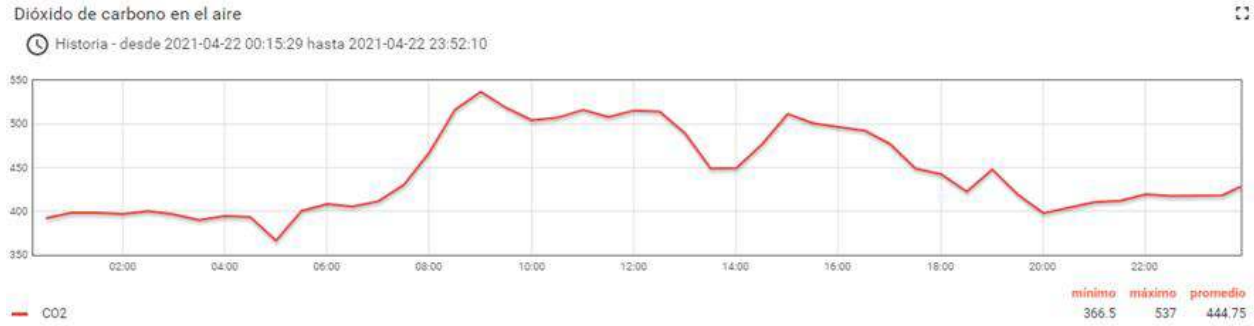


Fig 9 – Curva de CO2 esperada según protocolo de apertura de vacunatorio

Como puede verse en la curva completa, el pico máximo para este día se genera a las 09:00 hs aproximadamente con un valor de 537 ppm y el promedio para todo el día es de 444,75 ppm. Valores altamente aceptables si hablamos de buena calidad de aire interior en la sala de proyecciones.

Conclusión caso 3: Se destaca que el principal objetivo del monitoreo apuntó a medir y mantener la calidad recomendada de aire interior, es decir para que una persona no respire el aire exhalado por otra persona, que en caso de descontrolarse se transforma en una condición de potencial riesgo de transmisión de aerosoles patógenos.

Con la intervención de los equipos técnicos, se pudo demostrar que, si se respetan los protocolos adoptados, se pueden mantener las exigencias de calidad del aire interior.

Para el caso analizado, que generó una señal de alarma, y de la interpretación del evento, se determinó que se modificaron, por cuestiones de condiciones meteorológicas externas de baja temperatura, las conductas de ingreso de personas, cantidades y permanencia, las aperturas programadas de ventanas, aireaciones y puertas, en el ambiente más crítico del complejo, generándose ese pico de CO2 que indirectamente indica malas condiciones de calidad de aire. El

servicio técnico informó el caso, se impartieron las correspondientes indicaciones, se corrigieron conductas de apertura del centro de vacunación y no volvió a repetirse el pico indeseado.

Conclusiones

Como antes se mencionó existen muchos otros ejemplos sobre variables monitoreadas en un institución de salud,que podrían haberse informado, que junto a lo expuesto demuestran la potencialidad de las herramientas de monitoreo en tiempo real, el loging y el tracing.

La importancia de incorporarlas para ser parte de los objetivos institucionales tiene que ser compromiso de los planteles de mantenimiento.

IoT e Inteligencia artificial serán en un futuro cercano parte de las actividades diarias los servicios auxiliares en salud.

Referencias

Castello, M. C. (2021) Sistema de monitoreo de temperaturas en tiempo real para refrigeradores críticos de salud [Tesis de Carrera de Especialización en Internet de las Cosas de la Universidad de Buenos Aires]

García Carretero, D. M., (2020) Detección de eventos anómalos en un entorno industrial mediante el uso de técnicas de Federated Learning.[Tesis de Máster Universitario en Ciencia de Datos de la Universitat Oberta de Catalunya]

Hernández Sampieri, Roberto. Fernández Collado, Carlos. Baptista Lucia, Pilar. Metodología de la Investigación. Quinta edición, D.F. de México, México: Editorial: McGraw-Hill / Interamericana Editores, S.A. DE C.V.

Luna Pérez, M. y Vázquez Alvarez, G. (2019). Metodología de Mantenimiento Predictivo 4.0 para asegurar los procesos de producción. Revista Iberoamericana de Sistemas, Cibernética e Informática (RISCI), Volumen 16, Número 2. (1-6). https://www.iiisci.org/journal/risci/Contents.asp?var=&Previous=ISS1602

Marino, C. E., Salerno, J. J., Bertinat, P. J., Giordani, C. M., Olivera, M., Aramburu, M. (2021). Pandemia, Confort Higrotérmico, Calidad de Aire Interior y Eficiencia Energética ¿Un nuevo Paradigma en Gestión Energética? - Revista AVERMA. Asades 2021, XLIII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente. Puerto Madryn, Argentina. Vol 25 – 2021. (85-97). https://repositoriosdigitales.mincyt.gob.ar/vufind/Record/SEDICI_3c2a9f09112c1a26edbc40d6503ab0e2

Velázquez-Cruz, A. D., Mendoza-Escobar E., Rodríguez-Cabrales, A., López-Maldonado, U. J., Ixmatlahua-Díaz, S. D., Rueda-Anastacio, R. M. (2014) Rastreo de la ejecución de sistema heredado usando programación orientada a aspectos para facilitar su mantenimiento. Revista Programación Matemática y Software Volumen 6, Número 1. (48-54). https://progmat.uaem.mx/progmat/index.php/progmat/issue/view/v06n01

INTEGRACIÓN DE MODELOS ESTADÍSTICOS PARA VISUALIZAR Y ANALIZAR EL APROVECHAMIENTO DE ENERGÍAS RENOVABLES EN LA REGIÓN CENTRO (ARGENTINA)

Gerardo D. Szwarc[1], Laura M. Rivara[2], Santiago V. Cézar[3],
Esteban Ceré[1], Diego M. Ferreyra [1], Hugo A. Pipino[3]

[1]Grupo de I+D CIDEME, Facultad Regional San Francisco, Universidad Tecnológica Nacional, Avenida de la Universidad 501 (CP 2400) San Francisco (provincia de Córdoba), Argentina.
[2]Laboratorio de Estadística y Datos, Facultad Regional San Francisco, Universidad Tecnológica Nacional, Avenida de la Universidad 501 (CP 2400) San Francisco (provincia de Córdoba), Argentina.
[3]Grupo de I+D MuIC, Facultad Regional San Francisco, Universidad Tecnológica Nacional, Avenida de la Universidad 501 (CP 2400) San Francisco (provincia de Córdoba), Argentina.
gszwarc@facultad.sanfrancisco.utn.edu.ar

Resumen

A nivel nacional y provincial, la adopción de la generación distribuida con fuentes renovables avanza gradualmente y queda aún un vasto potencial sin explotar. Con el objetivo de promover su utilización, se busca desarrollar herramientas de cálculo regionalizadas que permitan visualizar los beneficios de su aprovechamiento. En este trabajo, se presenta un análisis de la energía eléctrica generada por una instalación solar fotovoltaica a partir de modelos fisicomatemáticos de irradiación solar aplicados al Departamento San Justo de la provincia de Córdoba. Contempla la energía recibida en un sistema de captación solar y la posterior producción de energía eléctrica de un sistema fotovoltaico, teniendo en cuenta tanto los rendimientos de paneles e inversor, como las pérdidas generadas por la propia instalación. El análisis se respalda en datos obtenidos de un sistema de medición implementado en una instalación solar fotovoltaica piloto ubicada en la Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional San Francisco, que resultan relevantes por su ubicación geográfica para obtener herramientas de cálculo regionalizadas.

Por otro lado, sobre la base de datos previos de demanda energética de las provincias de Córdoba y San Luis, se aplica el modelo autorregresivo integrado de promedio móvil (ARIMA) para obtener un modelo estadístico que, utilizando variaciones y regresiones de estos, se puedan encontrar patrones que permitan predecir el consumo eléctrico futuro.

Finalmente, se establece una comparación entre la energía generada por esta instalación modelada y las predicciones de demanda, a fin de realizar un análisis crítico en términos de energía demandada, autoconsumida e inyectada. Esto último resulta estratégico para los usuarios generadores, dado que la normativa vigente en la región fomenta el autoconsumo de la energía generada con fuentes renovables en la modalidad de generación distribuida.

Palabras Clave: Generación Distribuida, Instalación Solar Fotovoltaica, Demanda Energética, ARIMA, Modelo Estadístico.

Introducción

En Argentina, el avance de la inserción de las energías renovables se ha visto ralentizado, en parte, por la incertidumbre en la cantidad de energía que puede generar por ejemplo una instalación solar fotovoltaica. Esto, se debe principalmente a que las condiciones climáticas, variables e incontrolables, hacen que sea prácticamente imposible predecir con exactitud la generación de energía en tiempo real o a futuro. Sin embargo, existen herramientas que permiten modelar con un buen grado de aproximación la irradiación diaria y mensual (Cézar et ál., 2024), y

a partir de ella obtener la generación de energía correspondiente. Aunque estos modelos no dejan de ser una aproximación y contienen un grado de error, permiten tener una noción cercana a la realidad para realizar predicciones a futuro acerca de la generación de energía.

Contar con modelos de generación y consumo para el área objetivo permite desarrollar mejores herramientas de cálculo mediante la combinación de ellos, y dar una mayor certeza a un usuario de energía solar en cuanto al funcionamiento de una instalación prevista o instalada. Además, tener conocimiento sobre la energía que se va a generar y disponer de estimaciones sobre el consumo eléctrico es fundamental para realizar un análisis energético crítico.

En este estudio, se realiza un análisis del consumo de energía eléctrica promedio de una vivienda de la Región Centro del país que, según la nomenclatura de la Compañía Argentina del Mercado Mayorista de Energía Sociedad Anónima (CAMMESA), comprende las provincias de Córdoba y San Luis. Su perfil de consumo anual se describe con un modelo autorregresivo integrado de promedio móvil (ARIMA, por sus siglas en inglés), uno de los métodos estadísticos más utilizados para el análisis de series temporales y para la predicción de valores futuros (Noble, 2024). Este método se aplica sobre datos publicados en (CAMMESA, 2024a), específicamente para la región mencionada. La limitación geográfica del estudio se centra en esta zona dado que el modelo matemático que se aplica para obtener la energía generada está limitado al departamento San Justo, Córdoba, sin embargo, la extracción de los datos solo permite diferenciar estas provincias.

La combinación de modelos matemáticos que simulan la generación fotovoltaica y estiman el consumo de energía de un inmueble residencial permite realizar una gran cantidad de estudios, siendo uno de los más provechosos la comparación de la energía consumida con la generada para cada hora de un día representativo del mes. Este análisis permite determinar la potencia fotovoltaica por instalar que maximice el autoconsumo, reduciendo al mínimo la inyección de energía a la red eléctrica. En este punto, es importante destacar que la ley nacional 27424 (Ley 27424, 2017) establece un régimen de fomento a las energías renovables, que permite a los usuarios del sistema interconectado nacional instalar equipos de generación de energía mediante fuentes renovables. Esta normativa contempla la posibilidad de inyectar el exceso de energía a la red eléctrica. Sin embargo, la estructura de los beneficios y el régimen de precios planteados presentan ciertas consideraciones que deben ser evaluadas cuidadosamente por los usuarios para poder obtener el mayor beneficio de su instalación.

En este sentido, el presente artículo se enmarca en un proyecto cuyo objetivo es brindar herramientas de cálculo en línea que permitan analizar los beneficios de la implementación de una instalación fotovoltaica.

Para ello, en la sección “Modelo ARIMA de demanda” se busca obtener un modelo estadístico que permita predecir la potencia eléctrica demandada futura. Luego, en la sección “Modelo de consumo energético domiciliario” se profundiza en el análisis de consumo horario y mensual por hogar. En la sección "Modelo de generación fotovoltaica” se extiende el modelo matemático de irradiación solar presentado en (Cézar et ál., 2024) para la obtención de la energía eléctrica generada. Utilizando estos modelos, en la sección “Resultados y discusiones”, se procede a analizar la información obtenida. Finalmente, en la sección “Conclusiones” se sintetizan los principales resultados del trabajo.

Modelo ARIMA de demanda

ARIMA es un modelo estadístico que utiliza variaciones y regresiones de datos estadísticos con el fin de encontrar patrones que permitan dar una predicción hacia el futuro. Se trata de modelos dinámicos de series temporales, donde las estimaciones futuras vienen explicadas por los datos del pasado (Fernández, 2021). En este trabajo, se plantea el estudio de la serie de tiempo de la demanda eléctrica, con base en los datos de potencia demandada de las provincias de Córdoba y San Luis (CAMMESA, 2024a). Con este modelo, se buscan obtener los valores de la potencia promedio mensual demandada en la región objetivo, de modo tal que posteriormente puedan ser

extrapolados a valores promedio de energía mensual demandada por los usuarios residenciales. Posteriormente se utiliza para comparar con la energía mensual generada en una instalación solar fotovoltaica y extraer conclusiones.

El primer paso consiste en la obtención de los datos; en este estudio se toman los de (CAMMESA, 2024a), desde 2017 a 2022, reservando los de 2023 para la comprobación de los resultados. En la Figura 1 se muestra una gráfica con los datos expuestos en ella.

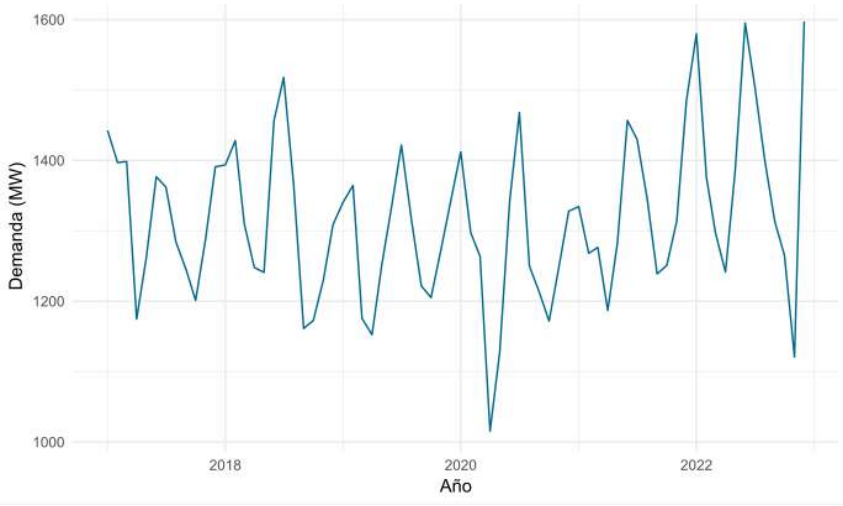


Fig. 1. Demanda promedio diaria de potencia por mes en Córdoba y San Luis.

El siguiente paso consiste en realizar tres pruebas para comprobar la estacionariedad de la serie de datos a fin de verificar si es posible aplicar el modelo ARIMA, estas pruebas son: Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (KPSS), Augmented Dickey-Fuller (ADF) y Phillips-Perron (PP). La prueba KPSS tiene como hipótesis nula (H_0) que la serie es estacionaria, mientras que para las pruebas ADF y PP, H_0 es que la serie no es estacionaria debido a la presencia de una raíz unitaria. Para las pruebas KPSS y ADF se plantean tres variantes: sin deriva ni tendencia, con deriva sin tendencia, y con deriva y tendencia, los resultados obtenidos se detallan en la Tabla 1. Es prudente aclarar que el término “tendencia” hace referencia a la pendiente que puede tener los datos, es decir, si el valor de la demanda de potencia diaria promedio aumenta o decrece en el período considerado. Mientras que el término “deriva” hace referencia a si la serie de datos tiene un valor medio cercano a cero o es afectado por un valor constante.

Tabla 1. Resultados de las pruebas KPSS y ADF.

	Sin deriva y sin tendencia	Con deriva y sin tendencia	Con deriva y tendencia
KPSS	Estadístico KPSS: 0,0171 p-valor: 0,1	Estadístico KPSS: 0,184 p-valor: 0,1	Estadístico KPSS: 0,0803 p-valor: 0,1
ADF	– Lag 0: ADF = -0,2162 p-valor = 0,579 – Lag 1: ADF = -0,1681 p-valor = 0,593 – Lag 2: ADF = -0,0836 p-valor = 0,617 – Lag 3: ADF = 0,2293 p-valor = 0,707	– Lag 0: ADF = -5,09 p-valor = 0,01 – Lag 1: ADF = -725 p-valor = 0,01 – Lag 2: ADF = -6,30 p-valor = 0,01 – Lag 3: ADF = -351 p-valor = 0,01	– Lag 0: ADF = -5,18 p-valor = 0,01 – Lag 1: ADF = -755 p-valor = 0,01 – Lag 2: ADF = -6,85 p-valor = 0,01 – Lag 3: ADF = -3,91 p-valor = 0,01

La prueba PP arroja un p-valor = 0,01 que es menor al nivel de significación fijado $\alpha = 0,05$; lo cual nos permite rechazar la hipótesis nula y concluir que la serie es estacionaria.

La prueba KPSS arroja p-valores = 0,1 que es mayor al nivel de significación fijado en α = 0,05; no pudiendo rechazar la hipótesis nula y concluir que la serie es estacionaria.

Para el caso de la prueba ADF, se acepta la no estacionariedad en el primer caso de estudio y se rechaza en el segundo y tercer caso. Es decir, estos resultados sugieren que la serie de demanda es estacionaria, especialmente cuando se consideran componentes de tendencia y deriva.

Una vez demostrada la estacionariedad de la serie, el próximo paso consiste en generar el modelo. El modelo ARIMA (3,0,2) se describe por tres términos autorregresivos (AR) y dos términos de media móvil (MA), con media móvil no nula. En la Tabla 2, se presentan los coeficientes estimados y sus errores estándar. El modelo resultante se muestra en la Ecuación 1.

Tabla 2. Coeficientes del modelo ARIMA.

	AR (1)	AR (2)	AR (3)	MA (1)	MA (2)
Coeficiente	0,572	-0,5513	-0,3868	-1,1544	0,6218
Error estándar	0,158	0,1477	0,1525	0,1195	0,1115

$$y_t = 0{,}572\, y_{t-1} - 0{,}5513\, y_{t-2} - 0{,}3868\, y_{t-3} - 1{,}1544\, \epsilon_{t-1} + 0{,}6218\, \epsilon_{t-2} + \epsilon_t, \quad (1)$$

donde y_t es la potencia promedio demandada en el tiempo t, y_{t-1}; y_{t-2}; y_{t-3} son los valores de la potencia promedio con retardo, ϵ_t es el término de error en el tiempo t y ϵ_{t-1}; ϵ_{t-2} son los términos de error retardado.

De los valores de la Tabla 3, donde se presentan los errores de entrenamiento que se han obtenido del modelo, es importante destacar que estos valores toman importancia cuando se comparan con otros modelos, ya que son los que permiten la selección del mejor disponible, por lo cual se dejan a disposición para ser utilizados por futuros investigadores que deseen abordarlos. Parcialmente, se puede interpretar que el error medio (ME por sus siglas en inglés) es muy bajo, lo cual es positivo para el modelo. La raíz del error cuadrático medio (RMSE por sus siglas en inglés) es baja en comparación con los valores utilizados para generarlo, siendo deseable ya que indica una buena precisión. El error absoluto medio (MAE por sus siglas en inglés) muestra que el modelo tiene buena precisión, y el porcentaje de error medio (MPE por sus siglas en inglés) muestra que, en promedio, el modelo tiende a subestimar los valores predichos respecto a los valores reales. El porcentaje absoluto de error medio (MAPE por sus siglas en inglés) es elevado, lo que es poco deseable. Por otro lado, el bajo valor del error absoluto medio escalado (MASE por sus siglas en inglés) indica que el modelo generado es mejor que un modelo naive el cual solo utiliza el valor previo para la predicción del valor próximo. Finalmente, el valor de autocorrección del error en el Lag 1 (ACF1) indica que existe una muy escasa correlación entre los errores de predicción con los del período anterior, lo cual es deseable en un modelo ARIMA.

Tabla 3. Errores de entrenamiento.

	ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	MASE	ACF1
Valor	0,0379193	75,80496	56,52812	56,37798	131,1501	0,4976297	-0,03585621

Por último, se generan las predicciones para los próximos 24 meses, es decir, 2023 y 2024, usando el modelo ARIMA estacional (SARIMA, por sus siglas en inglés) ajustado con los datos del

período 2017–2022. Los resultados se muestran en la Tabla 4, es de resaltar que para 2024 se muestran los valores reales disponibles al momento en la bibliografía consultada.

Tabla 4. Predicciones de demanda 2023-2024.

	2023 valores reales (MW)	2023 pronosticado (MW)	2024 valores reales (MW)	2024 pronosticado (MW)
Enero	1586,97	1597,41 (+0,7 %)	1468,74	1480,29 (+8,8%)
Febrero	1539,80	1560,18 (+1,3%)	1528,67	1534,33 (+0,4%)
Marzo	1601,87	1457,60 (-9,0%)	1466,80	1431,67 (-2,4%)
Abril	1261,21	1235,09 (-2,1%)	1222,90	1279,80 (+4,7%)
Mayo	1288,95	1178,73 (-8,6%)	1489,30	1228,61 (-17,5%)
Junio	1487,80	1308,85 (-12,0%)	1409,50	1322,76 (-6,2%)
Julio	1510,77	1500,42 (-0,7%)	-	1463,58
Agosto	1372,38	1560,07 (+13,7%)	-	1512,04
Septiembre	1338,15	1438,26 (+7,5%)	-	1425,71
Octubre	1285,72	1261,59 (-1,9%)	-	1295,14
Noviembre	1400,01	1204,60 (-14,0%)	-	1249,29
Diciembre	1435,10	1316,51 (-8,3%)	-	1328,44

Al ver los resultados arrojados por el modelo y compararlos con los valores reales se observa que el error es muy bajo y, por ende, se concluye que el modelo ARIMA generado con los datos de 2017 a 2022 es apto para la predicción de la demanda de potencia promedio diaria en la zona objetivo.

Modelo de consumo energético domiciliario

En esta sección, partiendo de los datos de consumo de energía horaria por provincia extraídos de (CAMMESA, 2024b), se expone un análisis para profundizar y comprender los hábitos de consumo de los usuarios residenciales de la zona a la que se aplica el modelo ARIMA. Con base a estos datos, discriminados por provincia, fecha y hora, se obtiene el promedio de energía consumida para cada hora de todos los meses del año para la zona específica. Es importante destacar que este promedio incluye los consumos de sectores industriales, comerciales y residenciales, aunque el objetivo del presente trabajo se enfoca únicamente a usuarios residenciales. Así, el siguiente paso consiste en diferenciar el consumo residencial del resto. Para ello, se utilizan los datos de demanda mensual (CAMMESA, 2024b) y, luego de filtrar por tipo de facturación se obtiene el consumo mensual que corresponde a la totalidad de los usuarios residenciales. Al realizar esta diferenciación se observa que el 45% de la energía consumida corresponde a los usuarios residenciales.

Posteriormente, se aplica un ajuste lineal entre el consumo horario obtenido inicialmente y el residencial mensual, con el fin de estimar el consumo horario de los usuarios objetivo para un día representativo de cada mes del año. Resulta prudente aclarar que este método transfiere las

implicancias del consumo industrial y comercial al perfil residencial generado, lo cual se trata al final de esta sección.

El valor obtenido es global, es decir, abarca todos los usuarios de la región considerada (Córdoba y San Luis). Por lo tanto, es necesario dividir por la cantidad de viviendas de la región obtenida del resultado del Censo realizado en 2022 (INDEC, 2022a) (INDEC, 2022b), asumiendo que, en promedio, todas las viviendas tienen un mismo perfil y nivel de consumo. De esta forma, se obtiene el consumo promedio de energía residencial horario por vivienda, para cada mes del año. Es importante destacar que no se debe basar este cálculo en la cantidad de personas, ya que el número de habitantes en cada hogar es variable, lo que podría generar errores en los cálculos. Además, muchas personas pueden vivir en edificios de departamentos u otros conjuntos residenciales, cuyos consumos no se incluyen en la categoría residencial por el tipo de facturación.

Para verificar que el valor obtenido sea razonablemente fiel a la realidad, se suma la energía consumida por un usuario residencial durante todo el día representativo y posteriormente se multiplica por la cantidad de días del mes correspondiente. Este procedimiento se aplica a todos los meses del año, y los resultados se resumen en la Tabla 6. Aunque los valores obtenidos son menores que el promedio nacional (333,3 kW·h mensuales) (Righini et ál., 2011), son coherentes con lo expuesto en (Szwarc, 2021). Además, a modo de comparación se muestran los promedios mensuales que se obtienen del modelo ARIMA, estos han sido obtenidos al tomar los resultados del modelo y multiplicarlos por la cantidad de horas de cada mes, dividirlos por el número de viviendas como en el caso anterior y por último, aplicarles un factor de corrección del 0,45 que es el porcentaje de consumo residencial con respecto al total definido previamente.

Tabla 6. Consumo promedio mensual de un usuario residencial de la provincia de Córdoba y San Luis en comparación con los arrojados por el modelo ARIMA.

	Consumo (kW·h)	ARIMA (kW·h)
Enero	292,18	276,18
Febrero	237,53	243,64
Marzo	281,76	252,01
Abril	186,00	206,65
Mayo	186,93	203,79
Junio	248,96	218,99
Julio	271,11	259,41
Agosto	218,72	269,72
Septiembre	192,23	240,64
Octubre	189,70	218,12
Noviembre	222,27	201,55
Diciembre	254,96	227,61

Debido a la influencia del consumo industrial y comercial en los datos hasta este punto, el perfil horario de la energía consumida por un usuario residencial se ve afectado, con, por ejemplo, un mayor consumo en el horario de valle (de 23:00 a 05:00) y una baja en el horario de pico (18:00 a 23:00) marcado fuertemente por el consumo industrial. Además, el horario típico de trabajo del sector comercial en la región considerada incrementa el consumo eléctrico aproximadamente en el horario de 08:00 a 12:00 y de 16:00 a 20:00. Para reducir esta influencia, se aplica un factor de ajuste a cada hora: menor a 1 durante el horario de valle, cuando el consumo residencial es típicamente bajo, y mayor a 1 en torno al mediodía y principalmente durante el horario de punta (Osorio Huertas y Romero Villamil, 2021). La finalidad de estos ajustes es reflejar el aumento del

consumo durante estos horarios, cuando suelen estar encendidas las luces y se utilizan diversos electrodomésticos como televisor, lavarropas, horno eléctrico, computadora, bomba de agua, entre otros (Correa Flórez et ál., 2016). A pesar de estos ajustes, el promedio de los factores aplicados es 1 para garantizar que no se modifique la energía total consumida. La Tabla 7 muestra los factores aplicados a cada hora, mientras que la Figura 2a presenta una gráfica de la energía consumida cada hora de un día representativo de enero por un usuario residencial promedio en la región considerada, sin aplicar los factores. La Figura 2b muestra la misma gráfica con los factores aplicados.

Tabla 7. Factores aplicados al consumo para cada hora

Hora	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00
Factor	0,91	0,71	0,51	0,41	0,51	0,81	1,35	1,30	1,00	1,05	1,11	1,21

Hora	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
Factor	1,06	0,86	0,81	0,76	0,91	1,06	1,26	1,41	1,51	1,41	1,16	0,91

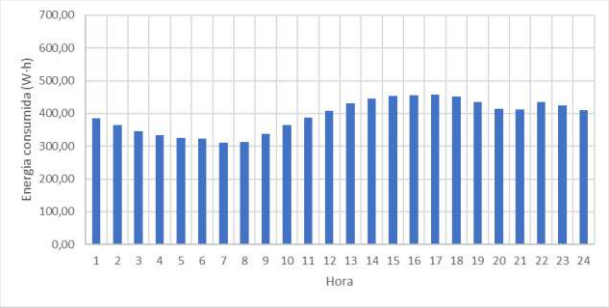


Fig. 2a. Sin aplicar factores

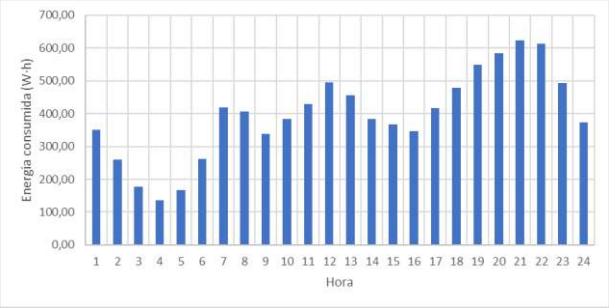


Fig. 2b. Aplicando factores

Fig. 2. Energía consumida por hora.

Modelo de generación fotovoltaica

Para el modelo de generación fotovoltaica, se parte del desarrollado en (Cézar et ál., 2024) que presenta la irradiación recibida en un sistema de captación en la región Este de Córdoba. El proceso de cálculo descripto por los autores se puede resumir de la siguiente manera: partiendo de la radiación emitida por el Sol, se determina la irradiación solar directa y difusa diaria promedio en una superficie inclinada ubicada en la ciudad de San Francisco, Córdoba. Asimismo, se muestra cómo pasar de valores medios mensuales a valores horarios. En el trabajo, el modelo está validado con datos obtenidos de un radiómetro instalado en la Universidad Tecnológica Nacional (UTN) Facultad Regional San Francisco, demostrando que el modelo generado se ajusta razonablemente a la realidad.

Gracias a la estimación del modelo, es posible calcular la generación solar siguiendo el procedimiento detallado en (Rocchia et ál., 2016). La principal diferencia con respecto a los métodos que utilizan valores promedio de atlas solares es que, en este trabajo, se emplean los resultados del modelo de irradiación, estimando la energía generada para cada hora del día.

Para realizar este cálculo, se toma el valor de la irradiación media horaria global (I) y se multiplica por la eficiencia del panel (EP), la del inversor (EI), un coeficiente que incluya las pérdidas en la instalación eléctrica (EG), la superficie de un panel (SP) y la cantidad de paneles a instalar (NP), esto se muestra en la Ecuación 2.

$$E = I \times EP \times EI \times EG \times SP \times NP \quad (2)$$

Dado que estos valores son variables y dependen de las especificaciones del sistema fotovoltaico, es difícil proporcionar un valor único aplicable a todos los casos. En este estudio, se han utilizado los siguientes valores EP = 15%, EI = 95%, EG = 90%, mientras que SP y NP varían según la potencia fotovoltaica que se desea instalar.

Es conveniente aclarar que la potencia nominal del panel no interviene directamente en los cálculos, ya que la potencia efectiva que entrega el sistema fotovoltaico depende principalmente del recurso solar disponible. La potencia declarada en la placa de características representa la máxima que el panel puede entregar en condiciones nominales, pero no necesariamente es la que se obtiene en la práctica.

El modelo fotovoltaico permite obtener la energía generada para un día representativo de cada mes del año, es decir, se debe aceptar la suposición de que todos los días del mes se comportan del mismo modo. Aun así, es interesante la posibilidad de obtener la energía que se genera con un sistema fotovoltaico (FV) instalado en un lugar específico, en este caso, el departamento San Justo que es la zona de aplicabilidad del modelo presentado. Aprovechando esta posibilidad, se procede a obtener los valores de energía generada para cada hora del día representativo de todos los meses del año, variando la potencia fotovoltaica instalada a 500 W, 900 W, 1500 W, 3000 W y 5000 W. Este límite superior se debe a que la ley 27424, de alcance nacional, y la ley 10604 de la provincia de Córdoba (Ley 10604, 2018) establecen que la potencia máxima por instalar en la modalidad de generación distribuida no puede superar la potencia contratada con la proveedora, que en el caso de usuarios de Empresa Provincial de Energía de Córdoba (EPEC) es de 5000 W.

Resultados y discusiones

Una vez obtenidos los datos finales de los tres modelos, es posible comparar diferentes elementos. Por un lado, se puede contrastar la energía mensual que consume un usuario residencial, calculada a través del modelo ARIMA, con la energía mensual que genera el modelo matemático planteado para diferentes potencias de instalaciones FV. En la Tabla 8 se presentan los resultados mensuales del modelo ARIMA y la energía mensual generada con las potencias FV consideradas. Los valores en los que la generación es menor que la energía consumida se resaltan en rojo, mientras que aquellos en los que la generación es mayor se destacan en verde.

Tabla 8. Comparación de la energía consumida según el modelo ARIMA y generada para diferentes potencias FV.

Mes	Consumo ARIMA (kW·h)	Generación (en kW·h)				
		500W	900W	1500W	3000W	5000W
Enero	276,18	114,58	206,24	343,73	687,46	1145,77
Febrero	243,64	99,53	179,16	298,60	597,19	995,32
Marzo	252,01	103,28	185,91	309,85	619,70	1032,83
Abril	206,65	83,79	150,82	251,37	502,75	837,91
Mayo	203,79	77,22	138,99	231,66	463,31	772,19
Junio	218,99	67,54	121,58	202,63	405,25	675,42
Julio	259,41	71,54	128,77	214,62	429,24	715,40
Agosto	269,72	81,40	146,53	244,21	488,42	814,04
Septiembre	240,64	95,07	171,13	285,22	570,43	950,72
Octubre	218,12	104,13	187,43	312,38	624,77	1041,28
Noviembre	201,55	106,84	192,32	320,53	641,07	1068,44
Diciembre	227,61	110,14	198,25	330,41	660,82	1101,36

La principal conclusión que se obtiene de la Tabla 8 es que, con potencias FV de 500 W y 900 W, difícilmente se genera más energía de la demandada en el mes. En cambio, con instalaciones de 3000 W y 5000 W ocurre lo contrario. Para la de 1500 W, hay meses en los cuales la generación es menor que el consumo y otros en los que ocurre lo contrario. Sin embargo, es importante destacar que estos resultados provienen de modelos idealizados que suponen que el comportamiento de todo un mes es equivalente al de un día promedio representativo, es decir, no contempla las variaciones climáticas que afectan a la producción FV (Chen et ál., 2020), ni las diferencias en el perfil de consumo que pueden surgir entre, por ejemplo, días laborables, feriados o domingos.

Al comparar la energía consumida, según el modelo de consumo energético domiciliario, con la energía generada cada hora de un día representativo, según el modelo de generación fotovoltaica, se puede elaborar la Tabla 9. En esta, se resaltan en rojo las horas en las que no ha habido generación FV, en amarillo aquellas en las cuales la generación no supera el consumo y en verde en las que la generación excede el consumo.

Tabla 9. Comparación hora a hora entre consumo y generación FV con diferentes potencias instaladas para el mes de enero.

Hora	Consumo (W·h)	Generación (W·h)				
		500W	900W	1500W	3000W	5000W
1	351,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	259,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	176,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	137,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	166,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	261,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	419,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	406,68	55,90	100,62	167,70	335,40	559,00
9	337,61	155,96	280,72	467,87	935,75	1.559,58
10	383,01	263,97	475,15	791,92	1.583,84	2.639,73
11	429,16	365,94	658,69	1.097,81	2.195,62	3.659,36
12	494,33	446,91	804,43	1.340,72	2.681,44	4.469,07
13	456,27	494,16	889,49	1.482,49	2.964,98	4.941,64
14	383,24	500,00	900,00	1.500,00	3.000,00	5.000,00
15	366,82	463,45	834,21	1.390,35	2.780,71	4.634,51
16	347,13	390,51	702,92	1.171,54	2.343,07	3.905,12
17	415,98	292,79	527,02	878,37	1.756,74	2.927,90
18	478,92	184,94	332,88	554,81	1.109,61	1.849,35
19	547,87	81,51	146,72	244,53	489,05	815,09
20	583,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21	623,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22	612,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23	492,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
24	373,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Analizando la Tabla 9, se puede concluir que, incluso si una instalación FV tiene la máxima potencia admitida (5000 W), la limitación de generar energía solo cuando hay sol y el consumo

nocturno, que debe ser suministrado por la red eléctrica o un sistema de almacenamiento de energía como baterías, plantea una restricción significativa. Esto implica que, por más que en un balance mensual final la energía generada sea superior a la consumida, no significa que no se consuma energía de la red. En realidad, se está inyectando energía a la red en los momentos de menor consumo.

Si un usuario promedio desea implementar una instalación enfocada al autoconsumo de acuerdo con la ley 27424, debería considerar potencias de 900 W o 1500 W. Esto le permitiría reducir en parte su consumo neto e inyectar la menor cantidad de energía posible a la red eléctrica. Por otro lado, ni siquiera con una instalación de 500 W, se puede garantizar que la inyección de energía sea nula en todo momento del día, dado que esto dependerá principalmente del perfil de consumo del usuario.

De la Tabla 9, también se concluye que la mejor forma de aprovechar la energía generada por una instalación solar FV, es trasladar la mayor cantidad posible de consumos del horario nocturno al mediodía. Aunque algunos tal como la iluminación nocturna, no se puede desplazar, otros consumos como el de un lavarropas en muchos casos sí es factible de mover al horario de máxima generación. Por supuesto, esto depende en gran medida de los hábitos de cada persona, sus horarios laborales y la cantidad de habitantes en la vivienda.

Estas conclusiones concuerdan con las de estudios anteriores, como (Szwarc et ál., 2021), donde se evalúa la proporción de energía autoconsumida e inyectada a la red para diferentes potencias fotovoltaicas, considerando los datos de consumo reales de un usuario residencial de la provincia de Córdoba. Los datos de generación fotovoltaica utilizados en aquel trabajo se obtuvieron de una instalación piloto real emplazada en la Facultad Regional San Francisco de la UTN (Ferreyra, 2018). Haber alcanzado los mismos resultados en los análisis realizados, implica que el modelo ARIMA planteado, el perfil de consumo generado y el modelo matemático ampliado para la generación FV, son representativos y aptos para realizar estudios referidos a los usuarios residenciales de la región, gracias a que las estimaciones y la precisión de los resultados se adaptan a casos reales.

Conclusiones

Se logró desarrollar un modelo matemático que permite predecir la demanda de potencia promedio para las provincias de Córdoba y San Luis mediante la utilización de la herramienta estadística ARIMA. Los resultados fueron verificados con los datos oficiales de CAMMESA y se pudo comprobar que el modelo se ajusta razonablemente. Posteriormente con base en los datos oficiales de CAMMESA se pudo generar un perfil de consumo energético de un usuario residencial para un día promedio representativo del mes correspondiente. Se amplió el modelo matemático que permite la generación de curvas de irradiación para un día representativo de cada mes, incluyendo diferentes factores que permiten trasladar los resultados a la energía generada tanto mensual como para cada hora.

Al comparar los resultados mensuales del modelo ARIMA con los del modelo matemático para la generación fotovoltaica, se concluye que, si un usuario implementa una instalación fotovoltaica enfocada en el autoconsumo, debería centrarse en potencias de 900 W o 1500 W. Sin embargo, no se puede garantizar que la energía generada sea consumida en su totalidad sin inyección a la red eléctrica, ya que esto depende de diversos factores y hábitos de consumo cuyo estudio escapa al alcance de este trabajo. Por otro lado, al analizar los resultados de los modelos de consumo y generación hora por hora, se puede concluir que una instalación solar por sí sola no puede alimentar completamente la demanda de un usuario promedio, sino que se necesita un sistema de almacenamiento o la red eléctrica como respaldo para los momentos en los cuales la irradiación solar no es suficiente (por ejemplo, durante la noche). Por último, dado que la generación puede ser mayor que el consumo o viceversa en cualquier momento del día, no

necesariamente la energía generada cubrirá la totalidad de la demanda en el momento en el cual la instalación se encuentra en funcionamiento.

Agradecimientos

Al Ministerio de Ciencia y Tecnología de la Provincia de Córdoba (Argentina) y a la Universidad Tecnológica Nacional (UTN) por financiar el proyecto “Divulgación y promoción de la generación distribuida con energías renovables entre estudiantes, usuarios y referentes de San Francisco y la región”, presentado en la convocatoria 2022/2023 del Programa Jóvenes en Ciencia del mencionado Ministerio, en cuyo contexto se enmarca el presente trabajo.

Referencias

CAMMESA (2024a). Base Demanda Diaria 2017-2024. Recuperado de: https://cammesaweb.cammesa.com/download/base-demanda-diaria-2017-2021/.

CAMMESA (2024b). Informe síntesis mensual – Principales Indicadores del Mes. Recuperado de: https://cammesaweb.cammesa.com/informe-sintesis-mensual/.

Cézar, S., Szwarc, G., Ceré, E., y Pipino, H. (2024). “Modelo matemático para una calculadora solar regionalizada para la Región Centro de Argentina”, Actas del XXIV Encuentro Nacional y XVI Encuentro Internacional de Educación Matemática en Carreras de Ingeniería, EMCI 2024, San Francisco, Argentina, 15 al 17 de mayo (en prensa).

Chen, B., Lin, P., Lai, Y., Cheng, S., Chen, Z., & Wu, L. (2020). Very-short-term power prediction for PV power plants using a simple and effective RCC-LSTM model based on short term multivariate historical datasets. Electronics, 9(2), 289.

Correa Flórez, C. A., Marulanda García, G. A., & Panesso Hernández, A. F. (2016). Impacto de la penetración de la energía solar fotovoltaica en sistemas de distribución: estudio bajo supuestos del contexto colombiano. Tecnura, 20(50), 85-95.

Ferreyra, D., Sarmiento, A.C., Szwarc, G., y Rocchia, N. (2018). Experiencia en la implementación, operación y divulgación de una instalación solar fotovoltaica piloto en Argentina. Revista Tecnología Y Ciencia, (31), 163-172.

Fernandez, S. de la Fuente (2021). Series temporales, modelo ARIMA, metodología de Box – Jenkins. Instrumentos estadísticos avanzados. Universidad autónoma de Madrid. Facultad Ciencias Económicas y Empresariales. Departamento de Economía Aplicada.

INDEC (2022a). Resultados definitivos del Censo 2022 de la Provincia de Córdoba. Recuperado de https://censo.gob.ar/index.php/datos_definitivos_cordoba/.

INDEC (2022b). Resultados definitivos del Censo 2022 de la Provincia de San Luis. Recuperado de https://censo.gob.ar/index.php/datos_definitivos_sanluis/.

Ley 10604 de 2018. Adhesión provincial a la Ley Nacional 27424. 29 de enero de 2019. Boletín Oficial de la Provincia de Córdoba, Argentina.

Ley 27424 de 2017. Régimen de fomento a la generación distribuida de energía renovable integrada a la red eléctrica pública. 27 de diciembre de 2017. Boletín Oficial nro. 33779, Argentina.

Noble, J. (2024). What are ARIMA models? | IBM. Recuperado de https://www.ibm.com/topics/arima-model.

Osorio Huertas, S. A. & Romero Villamil, E. D. (2021). Curva de demanda de energía eléctrica en sector residencial estrato tres de Bogotá D.C. mediante caracterización por redes neuronales artificiales.

Righini R, Grossi Gallegos H (2011). “Mapa de energía solar colectada anualmente por un plano inclinado un ángulo óptimo en la República Argentina”, Actas del IV Congreso Nacional/Tercero Iberoamericano sobre Hidrógeno y Fuentes Sustentables de Energía (HYFUSEN), 2011 (pp. 11-161)

Rocchia, N. J., Szwarc, G. D., Asís, H. G., Ferreyra, D. M., Sarmiento, A. C. (2016). Estimación de la energía solar fotovoltaica generada en un período de tiempo. EdUTecNe.

Szwarc, G., Rocchia, N., Lardone, M., Ferreyra, D. (2021). “Autoconsumo de un usuario residencial de la Región Centro de Argentina según la potencia solar fotovoltaica instalada”. Congreso de Investigaciones y Desarrollos en Tecnología y Ciencia, IDETEC 2020, Villa María, Argentina, 21 al 25 de junio, 347-354.

Szwarc, G. D. (2021). Consideraciones sobre generación distribuida con energías renovables en Argentina. Ingenio Tecnológico, 3.

RECUPERACIÓN EXPERIMENTAL DE SUBPRODUCTOS A PARTIR DE ACEITES DE PIROLISIS MEDIANTE APLICACIÓN DE DESTILACIÓN DIFERENCIAL

Luis A. Toselli, Milena V. Monesterolo, Aldana A. Chesta, Magali Guiliano Bono

Grupo de Inv. en Simulación para Ing. Qca., FRVM de la UTN. Av. Universidad 450 – XGB5900
Villa María, Cba., Argentina.
Email: toselli_l@frvm.utn.edu.ar, toselli.luis@gmail.com

Resumen

Los plásticos representan una preocupación ambiental debido a la acumulación masiva de residuos que se generan a nivel mundial. Existen alternativas industriales para su tratamiento y recuperación, como el reciclado mecánico, químico o su aprovechamiento como combustible, debido su alto poder calorífico. Sin embargo, su uso directo, genera altos niveles de polución, requiriendo un tratamiento posterior. La pirólisis es una tecnología emergente y prometedora para el tratamiento de esta problemática. Es un proceso termoquímico que permite la descomposición térmica de residuos plásticos, en ausencia de oxígeno y a altas temperaturas, generando componentes que pueden ser reutilizados promoviendo una economía circular. Entre los productos de reacción se encuentra una fracción gaseosa, una líquida y una sólida. Los aceites de pirólisis resultan una mezcla de parafinas, isoparafinas, olefinas, naftenos y aromáticos, entre otros componentes.

A requerimiento de una empresa regional que cuenta con este proceso a escala industrial, se desarrollaron experiencias de destilación diferencial a nivel de laboratorio a efectos de recuperar cortes con valor comercial partiendo de estos aceites, utilizándose muestras obtenidas de lotes de producción. Esta actividad se desarrolló en el contexto de un convenio vigente a efectos de obtener resultados que proporcionaron datos para evaluar su factibilidad técnico-económica y para el diseño posterior de los equipos requeridos para el procesamiento industrial y su posterior implementación.

Como principales conclusiones se indica que se obtuvieron parámetros de operación que permitieron recuperar un corte de componentes livianos de interés para la empresa y un residuo que es reutilizado como combustible. Se diseñaron equipos de separación y termotransferencia, incluyendo condensador y recuperador de calor del fluido térmico utilizado en la destilación mediante integración energética con los gases de combustión del horno de pirólisis.

Palabras Clave: Recuperación experimental de subproductos, Aceites de pirólisis, Destilación diferencial.

Introducción

La alta demanda de producción y consumo de plásticos se explica, entre otras cuestiones, en función de sus principales características como: baja densidad, alta resistencia química, naturaleza no corrosiva, durabilidad y un relativamente bajo costo de ellos frente a otros materiales alternativos, estas permiten una gran cantidad de aplicaciones en diferentes industrias. La mayor demanda se concentra en los polímeros mostrados en la tabla 1. (Philliphe, 2019; Tadmor and Gogos, 2006).

Tabla 1: Principales polímeros y sus aplicaciones

Tipo	Usos más comunes (entre otras)
Tereftalato de Polietileno - PET.	Envases y botellas para bebidas, bandejas, vasos, entre otros.
Polipropileno - PP.	Electrodomésticos, muebles de jardín, partes de vehículos, entre otras aplicaciones.
Cloruro de polivinilo - PVC.	Tuberías y accesorios, juguetes, ventanas y aislamientos, etc.
Polietileno de Alta Densidad. HDPE.	Envases de alimentos y cosméticos, juguetes, objetos de uso doméstico, entre otros.
Polietileno de Baja Densidad LDPE	Bolsas, láminas y películas, botellas, microesferas de cosméticos y productos abrasivos, etc.

Sin embargo, los plásticos tienen una vida útil relativamente corta y aquellos de producción convencional no son biodegradables ni compostables, por lo que su alta demanda requiere de procesos cotidianos de recolección en condición de residuos sólidos, lo cual implica una gran acumulación de éste material que llega a ocasionar problemas ambientales, sociales y de salud pública en los sitios donde se acopian tales desechos (Comisión Europea, 2013; Saechtling and Woebcken, 1995).

En razón de lo expuesto la acumulación de residuos plásticos constituye una preocupación ambiental a nivel mundial que es objeto de estudio y análisis permanente, tanto a nivel gubernamental como científico (United Nations Environment Programme, 2023). A manera de ejemplo se menciona que una organización ecologista internacional como Greenpeace, en la página WEB de su sede de España cita que: "…hasta la actualidad se han fabricado unos 8,3 mil millones de toneladas de plástico desde que su producción empezase sobre 1950, lo que equivale al peso de unos mil millones de elefantes". (Greenpeace, 2024).

La producción mundial de plástico virgen se ha multiplicado por 200 desde entonces, pasando de 2 millones de toneladas/año a más de 400 millones de toneladas/año en la actualidad. Esta tasa se dirige a duplicarse nuevamente para 2040 y triplicarse para 2060. Además, de la misma, el plástico de uso único con descarte posterior representa entre el 35% y el 40% de la fabricación actual y año tras año su porcentual aumenta (OCDE, 2022). El incremento de producción por tipo de polímero durante las tres últimas décadas e información sobre su reciclabilidad se muestra en la figura 1.

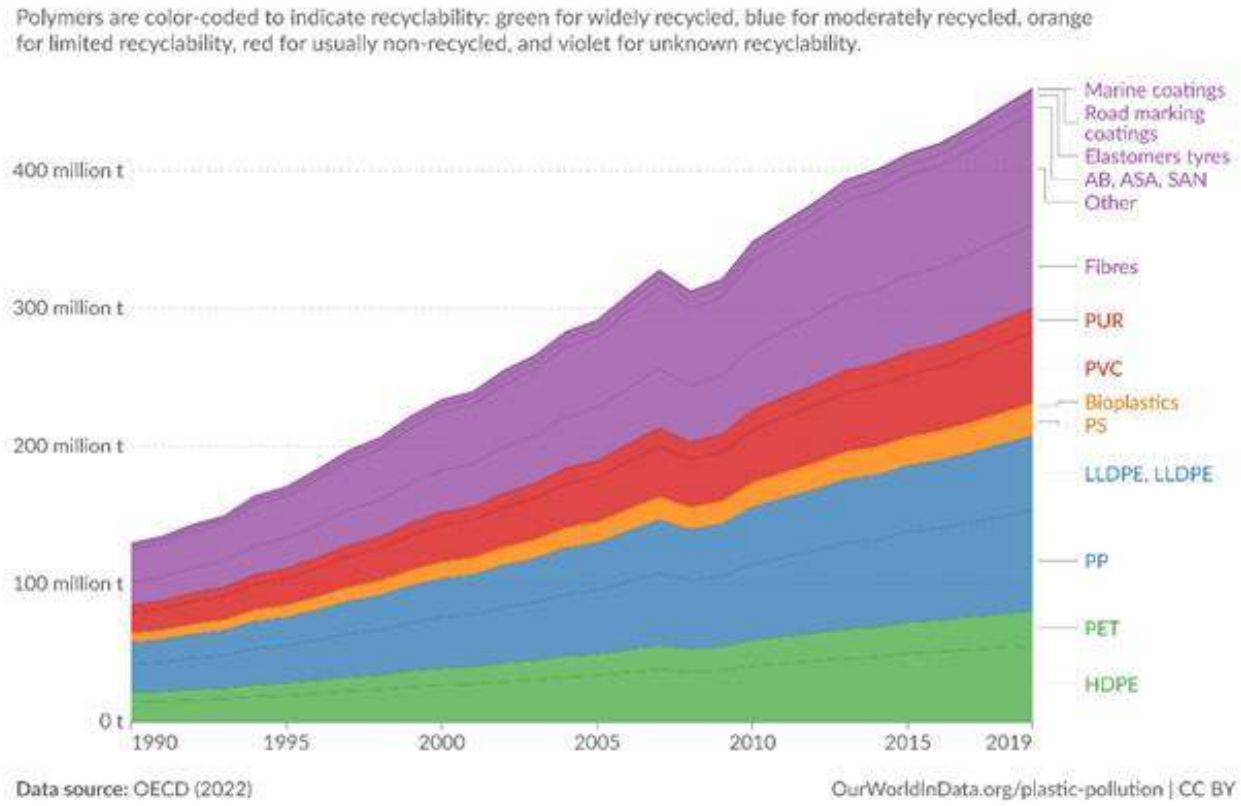


Fig. 1: Producción mundial de plástico primario por polímero, período 1990 a 2019. (Tomado de https://ourworldindata.org/grapher/plastic-production-polymer)

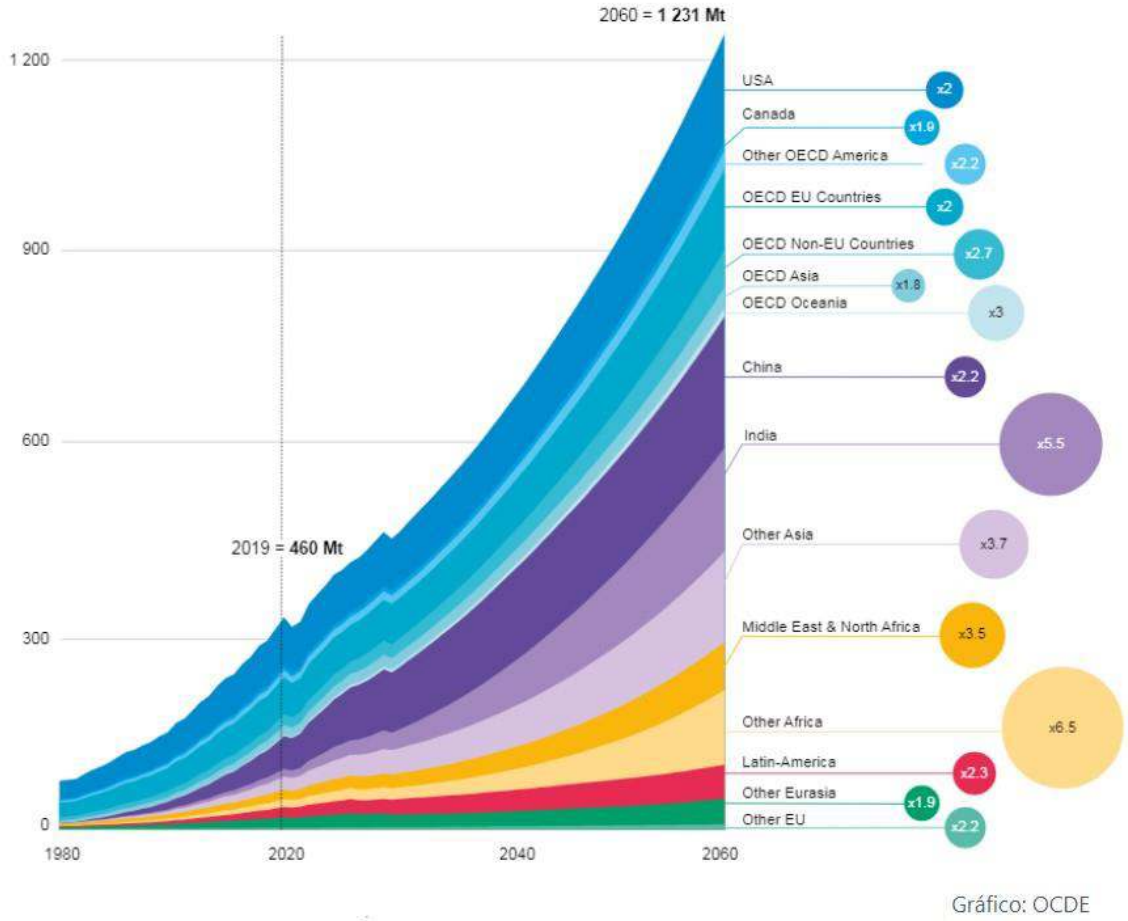


Fig. 2: Proyección de crecimiento de la demanda de plásticos hasta 2060 (fuente: OCDE, 2022)

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico ha elaborado un informe sobre perspectivas mundiales del plástico según escenarios políticos hasta 2060, con datos de crecimiento eventual hasta valores estimados de 1261 millones de toneladas y probables tasas de incremento, considerando una mayor demanda de estos en Asia y África. El mismo también explica que el aumento previsto del consumo y los residuos de plástico igual se producirá a pesar del incremento esperado en cuanto a aplicación de plástico reciclado en la fabricación de nuevos productos- Ver figura 2. (OCDE, 2022)

Tradicionalmente, se utilizan distintas alternativas para tratar de reducir el impacto que estos desechos generan, sin embargo, estas producen altos niveles de polución y requieren tratamientos posteriores, impactando negativamente en el proceso.

Desarrollo

El manejo de estos residuos plásticos puede ser mediante un proceso de reciclaje primario tal como es su re-extrudado; secundario que implica procesamiento mecánico; ternario que involucra un tipo de tratamiento químico y/o cuaternario focalizado en la recuperación de energía. Cada uno de ellos ayuda a disminuir el impacto de sus desechos y a la vez que puede representar una valiosa fuente de materiales reciclados, energía e ingresos económicos (Zuñiga et al., 2023; Arandes y col., 2004; Proaño y Crespo, 2009; Aguado y Serrano, 1999).

Los métodos primario y secundario para el reciclaje se consideran como convencionales e incluyen procesos como clasificación y molienda, técnicas con las cuales es posible recuperar entre un 15 y 20 % del total de residuos plásticos. Por su parte, los métodos ternario y cuaternario pueden incluir

procesos de transformación termoquímica como pirólisis o gasificación, que además de permitir el aprovechamiento energético de estos puede disminuir su volumen hasta en un 90 % generando productos que pueden ser reutilizados, promoviendo así una economía circular. (UNEP, 2023; Matthews et al., 2021, European Commission, 2007).

La pirólisis es una técnica de reciclaje en la que se da la descomposición térmica de los polímeros en ausencia de oxigeno o con una cantidad limitada del mismo, normalmente a temperaturas entre 300 y 900^{o} C. Dependiendo de la temperatura a la cual se desarrolle y de otras condiciones de operación del proceso, tales como: presión, caudales o carga de materia prima, velocidad de calentamiento, tiempo de exposición, entre otras, pueden obtenerse mezclas de productos sólidos, líquidos y/o gaseosos en diferente proporción y con diferente composición. (Boda et al., 2018; Sharuddin et al., 2018; Miandad et al., 2016)

Normalmente los productos sólidos se clasifican como cenizas y corresponden mayoritariamente a materiales inertes que pueden entrar en el proceso de acuerdo con la materia prima utilizada y el carbono formado por las reacciones que se desarrollan. Los productos gaseosos pueden clasificarse como gas de síntesis (syngas) y contienen los gases no condensables, que pueden estar compuestos por H_2, CH_4, C_2H_6, C_2H_4, CO, CO_2, entre otros (Williams, 2006; Ratnasari et al., 2016).

Finalmente, el producto liquido suele clasificarse como aceites de pirólisis y consiste en una mezcla de olefinas, fenoles y compuestos aromáticos caracterizados por la ausencia de oxígenos como sustitutos, tales como benceno, naftaleno, antraceno, tolueno, entre otros. La composición de cada una de estas corrientes también dependerá de la naturaleza y el tipo de plásticos o residuos que se utilizan como materia prima en el proceso (Papuga et al., 2024)

En relación con la situación descrita una empresa regional ha adquirido y puesto en operación un reactor de pirolisis a escala industrial con el objetivo de procesar residuos plásticos y al menos en esta primera etapa, reducir tales desechos en una cantidad equivalente a la que introduce mensualmente al mercado como envases de sus diferentes productos comerciales, (mínimo 10 toneladas/mes, con previsión de crecimiento a futuro), afianzando así su accionar en el contexto de una economía circular. El equipo se encuentra actualmente en operación y en la figura 3 se muestran distintas imágenes del sistema.

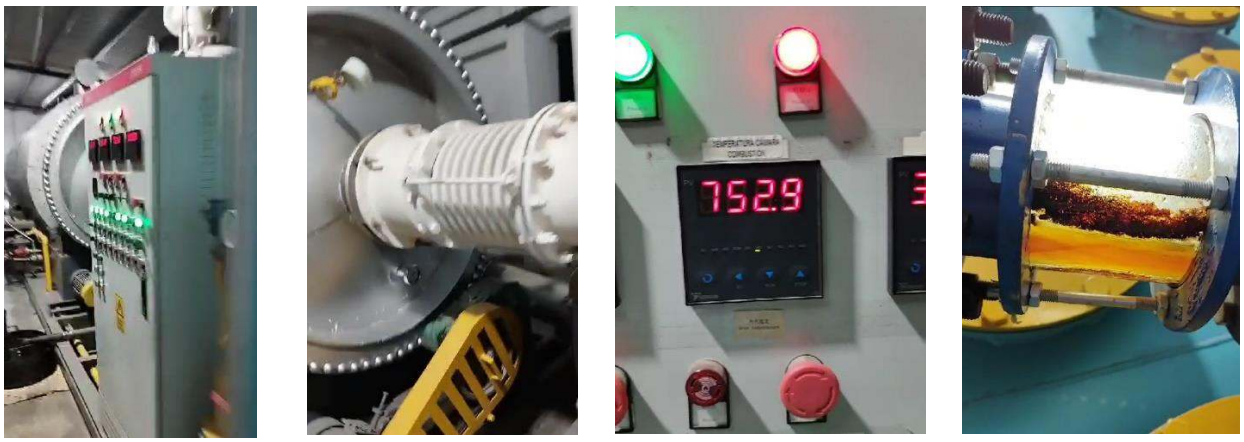


Fig. 3: Imágenes del reactor, tablero de comando y de un visor con circulación de productos.

Luego de la puesta a punto del sistema y alcanzada una elaboración normal de subproductos en cuanto a cantidades y características bien definidas, se requirió a la FRVM de la UTN un desarrollo específico para el tratamiento de la fracción liquida (aceite de pirólisis) a efectos de permitir una separación fraccionada de los mismos, definiendo; tipo de operación, estudio de sus principales variables, definición de rangos de operación de las mismas, rendimientos a alcanzar, entre otras cuestiones; que permitiera la obtención y aprovechamiento de nuevos productos con valor comercial

derivados de estos y que resultaran de interés para la empresa (Al-Salem et al, 2017; Kunwar et al, 2016, Diaz; and Phan, 2016).

Metodología

El estudio en cuestión requirió de un análisis de situación en el cual se consideraron aspectos tales como capacidad y frecuencia de operación del reactor de pirólisis, volumen mensual de aceite a procesar, disponibilidad de servicios auxiliares, propuesta de inversión inicial, entre otras cuestiones permitió considerar rápidamente la conveniencia de trabajar utilizando destilación batch.

El abordaje inicial se realizó en dos etapas: la primera consistió en una aproximación aplicando estrategias de modelado y simulación del proceso con la aplicación de herramientas disponibles y otras de desarrollo propio. El conocimiento del tipo y proporción de residuos utilizados en el reactor permitió, luego de completar una revisión bibliográfica, definir una composición tipo con los componentes mayoritarios presentes en la alimentación a procesar (Peng et al., 2022; Amar Gil y col., 2019; Onwudili, et al., 2009).

Se desarrolló un modelo de destilación batch sobre el cual se analizaron los balances de masa y energía para distintas configuraciones de columna y modo de operación, se consideraron rendimientos alternativos para los distintos cortes de composiciones variables determinando rangos de puntos de ebullición inicial y final y se exploraron opciones de bidestilación de distintas fracciones.

En todos los casos se obtuvieron valores que, aun cuando técnicamente resultan de interés están condicionados por una cuestión de costos inherente al modo de separación (batch) dado el bajo rendimiento de productos frente a las exigencias energéticas. Luego de evaluar la situación la empresa redefinió sus requerimientos limitándose a la obtención de un corte único para la fracción de destilados que resulta de una solución multicomponente (fracción de pesos moleculares ligeros y medios) con un punto de ebullición final de 130 ºC.

Para este nuevo requerimiento se modeló ahora una condición de operación en modo de destilación diferencial y se evaluaron los respectivos balances, la predicción de valores de distintas variables de operación, rendimientos, demanda de servicios y características composicionales y propiedades teóricas de la fracción multicomponente obtenible como destilado, así como la del residual de fondo.

En la figura 4 se muestran resultados obtenidos a partir del modelo acerca del comportamiento esperado para la temperatura de éste.

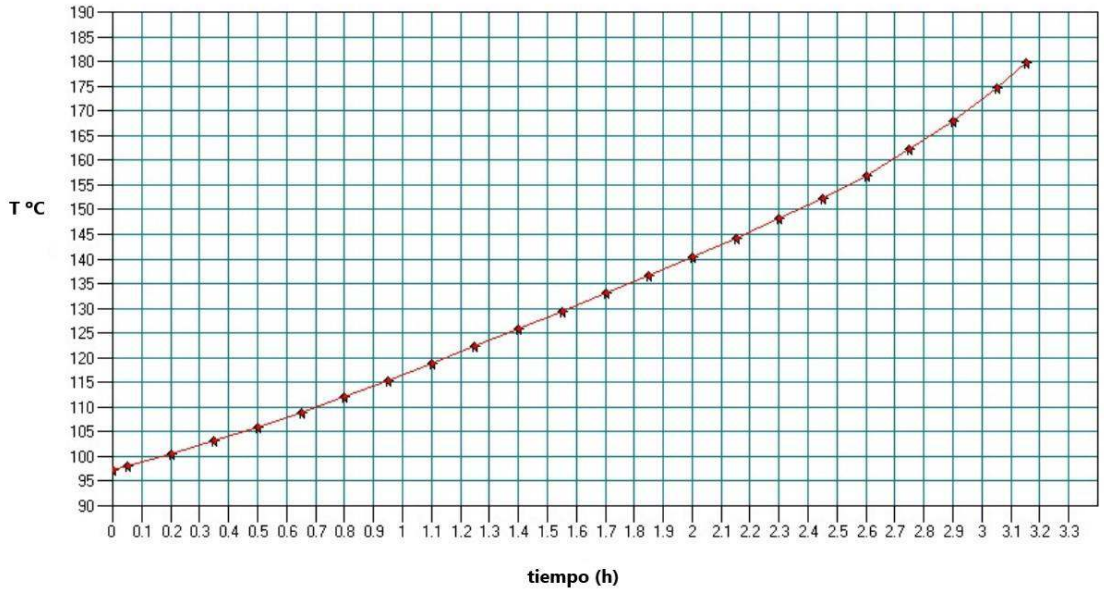


Fig. 4 Perfil de temperaturas del residual de fondo para la destilación diferencial

La propuesta alternativa, a criterio de la empresa, resultaba en un destilado que podía responder a sus necesidades técnicas y presentaba un costo favorable para sustituir una de las materias primas que utiliza habitualmente en producción, sin afectar la calidad de su producto comercial, en tanto que el residuo pesado puede reutilizarse como combustible en el propio reactor con el consecuente ahorro energético.

Se dio comienzo entonces a la segunda etapa del desarrollo, que consistió en el procesamiento experimental a escala laboratorio de los aceites de pirolisis que permitieron validar de manera ajustada los datos obtenidos de la simulación para las principales variables de proceso.

En la figura 5 se muestra, a efectos de una mejor visualización, imágenes del equipamiento utilizado, así como el producto residual y dos variantes de destilados.

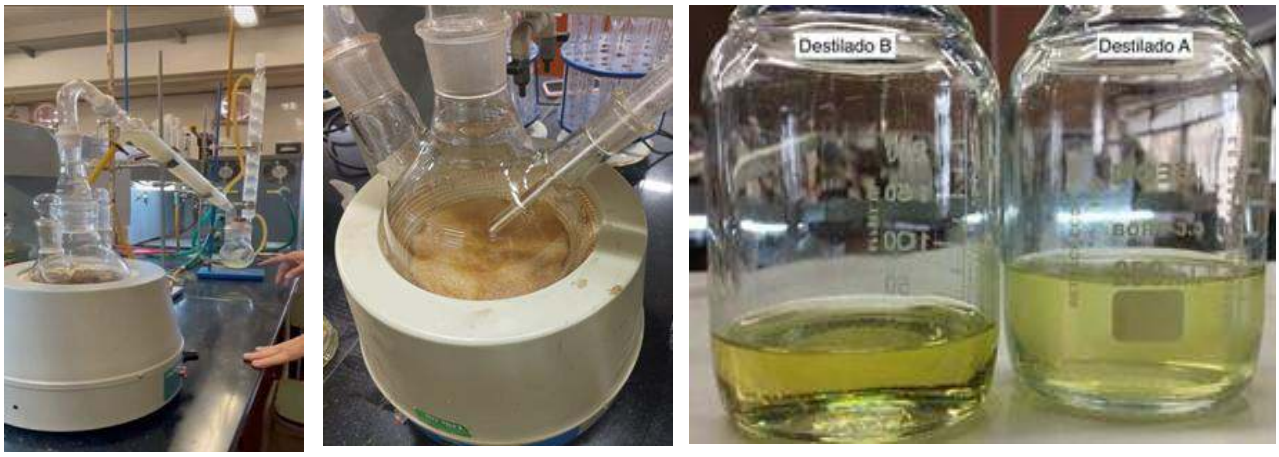


Fig. 5: imágenes del destilador diferencial, residuo de fondo y destilados alternativos

Resultados y discusiones

Los resultados del estudio realizado fueron analizados y permitieron disponer de información técnica para la síntesis de un proceso integrado de operación que emplea un fluido térmico que circula a circuito cerrado y es calentado en un intercambiador recuperador por entrecruzamiento con la corriente de gases de combustión del sistema calefactor del reactor. El destilador diferencial dispone de un condensador horizontal de coraza y tubos que descarga en el tanque colector de destilado y opera con agua de proceso que se recircula en el circuito de enfriamiento disponible actualmente.

Se procedió a diseñar el conjunto de equipos, esto es: destilador de fondo cónico con camisa de calefacción, condensador y recuperador de calor gas - aceite, además del tanque los cuales, a la fecha se encuentran en construcción y se prevé su montaje y puesta en marcha a fines de octubre de 2024. En la figura 6 se presentan imágenes correspondientes a la construcción de los equipos citados.

Fig. 6: Imágenes del destilador, condensador y tanque colector de condensados en fabricación

Conclusiones

Como principales conclusiones se cita: i) se ha dado respuesta técnica a los requerimientos de una empresa regional en el contexto de un convenio vigente entre las partes, ii) se realizó un desarrollo integral obteniéndose resultados teóricos mediante modelado y simulación que fueron validados de manera experimental, iii) se ha alcanzado el objetivo pretendidos en cuanto a la recuperación de un producto con valor comercial a partir de los aceites de pirólisis, iv) la solución alcanzada ha permitido escalar la solución propuesta a nivel industrial, vi) se ha contribuido a la formación de recursos humanos otorgándose una beca con financiamiento externo a una alumna avanzada de la carrera de ingeniería química, que desarrolla su proyecto final en la temática de pirólisis de residuos plásticos, vii) se concretaron aportes de nuevo equipamiento experimental para laboratorios y planta piloto de esta regional.

Referencias

Aguado, J and D. P. Serrano. (1999). *Feedstock recycling of Plastic Wastes*. Ed. J. H. Clark. The Royal Society of Chemistry, Cambridge.

Al-Salem, S.; Antelava; A. , Constantinou, A.; Manos, G. and A. Dutta . (2017). *A review on thermal and catalytic pyrolysis of plastic solid waste (PSW)*. J. Environ. Manage., 197, 15, 177 – 198. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.084

Amar Gil, S., Ardila Arìas, A. y Barrera Zapata, R. (2019). *Simulación y obtención de combustibles sintéticos a partir de la pirólisis de residuos plásticos.* Ingenierìa y Desarrollo. 37, 2, 2145-9371 (on line). Universidad del Norte, http://dx.doi.org/10.14482/inde.37.2.1285

Arandes, J.M.; Bilbao J. y D. López, (2004). *Reciclado de residuos plásticos*. Revista Ibero-americana de Polimeros, 5, 28-45.

Boda, S., Borkar, W.; Gurav, S., Suryawanshi, M.; and Bagal, M. (2021). *Liquid Fuel from Plastic Waste using Pyrolysis: A Review.* Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR). 8, 6, 749-758, www.jetir.org

Comisión Europea (2013) *Libro Verde sobre una estrategia europea frente a los residuos de plásticos en el medio ambiente- COM (2013) 123 Final*, Bruselas.

Diaz, L.S. and A. N. Phan. (2016). *Kinetic study of municipal plastic waste*. Int. J. Hydrogen Energy, 41, 37, 16352 – 16364.

European Commission (2007). *Reference Document on Best Available Techniques in the Production of Polymers*. https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2019-11/pol_bref_0807.pdf

Greenpeace (2024). https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/consumismo/plasticos/datos-sobre-la-produccion-de-plasticos/

Kunwar, B., Cheng, H., Chandrashekaran, S.,Sharma B. (2016). *Plastics to fuel: a review.* Renewable and Sustainable Energy Reviews. 54, 421 – 428. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.015.

Matthews C, Moran F and A. K. Jaiswal . (2021). *A review on European Union`s strategy for plastics in a circular economy and its impact on food safety*. Journal of Cleaner Production. 283:125263

Miandad, R. Barakat, M.A., Aburiazaiza A.S-, et al. (2016) *Catalytic pyrolysis of plastic waste: a review*. Process Safety Environ Protect 102, 822 – 838.

Miandad, R., Rehan, M., Nizami, A. S., El-Fetouh Barakat, M. A., and Ismail, I. M. (2016). *The energy and value-added products from pyrolysis of waste plastics. Recycling of solid waste for biofuels and bio-chemicals*, 333-355. Springer Science+Business Media Singapore, DOI 10.1007/978-981-10-0150-5_12.

OECD (2022), *Global Plastics Outlook: Economic Drivers, Environmental Impacts and Policy Options*, OECD Publishing, Paris, ISBN 978-92-64-58406-8 (pdf). https://doi.org/10.1787/de747aef-en.

Onwudili, J.A., N. Insura, N. and P. T. Williams (2009). *Composition of products from the pyrolysis of polyethylene and polystyrene in a closed batch reactor: Effects of temperature and residence time.* J. Anal. Appl. Pyrolysis,.86, 2, 293 – 303.

Papuga, S. Savkovic, Djurdjevic, M. and Vecchio Ciprioti, (2024) *Effect of Feed Mass, Reactor Temperature, and Time on the Yield of Waste Polypropylene Pyrolysis Oil Produced via a Fixed-Bed Reactor.* Polymers, 16, 10, 1302; https://doi.org/10.3390/polym16101302.

Peng, Y., Wang, Y., Ke, L., Day, L., Wu, Q., Cobb, K., Zeng, Y., Zou, R., Lui, Y. and R. Ruan. (2022). *A review on catalytic pyrolysis of plastic wastes to high-value products.* Energy Conversion and Management, 254. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115243.

Philippe C (2019) *The history of plastics: from the capitol to the Tarpeian Rock*. Field Actions Sci Reports. 19, 5 – 11.

Proaño O. y Crespo S. (2009) *Obtención de combustibles a partir de residuos plásticos.* Revista Politécnica, Vol. 30, 1, 137–144.

Ratnasari, D., Nahil M., Williams, P.T. (2016) *Catalytic pyrolysis of waste plastics using staged catalysis for production of gasoline range hydrocarbon oils*. J Anal Appl Pyrolysis 124: 631 – 637 Rep 19: 6 – 11.

Saechtling, H. y Woebcken, W. (1995). *International Plastics Handbook for the Technologist, Engineer and User*. 3ra edicion, Hanser Publisher, Cincinnati, Estados Unidos.

Sharuddin, S., Abnisa, F., Daud, W., and Aroua, M. K. (2018). *Pyrolysis of plastic waste for liquid fuel production as prospective energy resource.* In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 334, p. 012001). IOP Publishing.

Tadmor, Z and Gogos, C.G. (2006). *Principles of Polymer Processing*. Second Edition. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, ISBN 0-471-38770-3.

United Nations Environment Programme UNEP (2023). *Turning off the Tap. How the world can end plastic pollution and create a circular economy.* Nairobi. ISBN: 978-92-807-4024-0. Job number: DTI/2522/NA. https://www.unep.org/resources/turning-off-tap-end-plastic-pollution-create-circular-economy

Williams, P.T. (2006). *Yield and Composition of Gases and Oils/Waxes from the Feedstock Recycling of Waste Plastic*. Chapter 11, 285 – 313. In book: Feedstock Recycling and Pyrolysis of Waste Plastics: Converting Waste Plastics into Diesel and Other Fuels. Editor(s) J- Scheirs and W. Kaminsky. https://doi.org/10.1002/0470021543.ch11.

Zuñiga, M., Aranda, F. and Rivas, B. (2023). *Polymers Recycling: Upcycling Techniques. An Overview.* J. Chil. Chem. Soc., 68, N° 2.

CREACIÓN Y OPTIMIZACION DE HERRAMIENTAS DE EVALUACIÓN, EN EL APRENDIZAJE POR COMPETENCIAS, MEDIANTE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Paula A. Toselli, Luis A. Toselli, Marcos M. Marino, Guillermo R. Scillone

Grupo de Inv. en Simulación para Ing. Qca., FRVM de la UTN. Av. Universidad 450 – XGB5900
Villa María, Cba., Argentina.
Email: ptoselli@frvm.utn.edu.ar

Resumen

Los paradigmas de enseñanza han evolucionado y, en la actualidad, se sugiere el uso de instrumentos de evaluación tales como rúbricas, listas de cotejo, proyectos, autoevaluación, entre otros, a fin de mejorar la perspectiva y el aprendizaje de los actores involucrados en el proceso educativo. Esta incorporación también requiere que el docente adquiera nuevas habilidades y disponibilidad de tiempo para la creación de dichas herramientas.

En este trabajo se muestra cómo pueden diseñarse los mencionados instrumentos de evaluación utilizando la Inteligencia Artificial (IA). Se proponen ejemplos de implementaciones realizadas de esta propuesta en tres cátedras: Análisis Numérico, Inteligencia Artificial de la carrera de ingeniería en Sistemas de Información y Transferencia del Calor de Ingeniería Mecánica, todas las cuales se dictan con responsabilidad directa de los autores, donde se ha efectuado y estudiado el uso de instrumentos de evaluación cuyo desarrollo estuvo respaldado en la utilización de aplicaciones tales como Co-Rubrics y ChatGPT, ambos disponibles de manera gratuita para complementar la labor docente. Además, se presenta un análisis detallado de los métodos empleados y una discusión sobre las implicaciones y beneficios de la aplicación de la Inteligencia Artificial como herramienta de soporte en la enseñanza universitaria.

Como principales conclusiones se pueden mencionar que los resultados obtenidos permitieron constatar que la IA ha contribuido de manera significativa a optimizar el proceso de creación de nuevos instrumentos de evaluación. La simplicidad y eficiencia demostrada durante su aplicación permiten valorar su potencial como un recurso de interés que permite al docente realizar una redistribución de los tiempos dedicados al desarrollo de actividades académicas y de seguimiento individualizado de los estudiantes. Se puede indicar, entre otras cuestiones, que se ha comprobado de manera efectiva la consistencia y calidad de las evaluaciones realizadas, alcanzando resultados equiparables con otras tradicionales que se habían utilizado hasta la fecha.

Palabras Clave: Instrumentos de evaluación, inteligencia artificial, enseñanza, aprendizaje por competencias.

Introducción

En el ámbito de la educación universitaria, el paradigma de aprendizaje por competencias se ha posicionado como una metodología central para el desarrollo integral de los estudiantes, tanto en lo que respecta a su conocimiento técnico como sus habilidades profesionales. Este enfoque exige no solo la adopción de nuevas estrategias de enseñanza, sino también la evolución de los métodos de evaluación.

En la práctica, la creación y optimización de herramientas, como rúbricas y listas de cotejo son de gran utilidad en la instancia de evaluación, pero requieren una inversión significativa de tiempo y esfuerzo por parte de los docentes. Sin embargo, con el avance de la tecnología y especialmente de la Inteligencia Artificial (IA), se abren nuevas posibilidades para la mejora de estos procesos evaluativos y el soporte para los docentes (Ruiz Velasco Sánchez, 2023).

Este trabajo explora metodologías específicas para el diseño de instrumentos de evaluación apoyados en la Inteligencia Artificial (IA), destacando contribuciones recientes y brechas identificadas tanto en la literatura existente tal como Morales-Chan (2023) que investigaron la aplicación de IA en la personalización de rúbricas y Knox (2020) que discuten el impacto de la IA en la eficiencia de las evaluaciones formativas.

A través del estudio de dos casos concretos en las cátedras de Análisis Numérico correspondiente a Ingeniería en Sistemas de Información y Transferencia del Calor de Ingeniería Mecánica, se demuestra la creación de instrumentos de evaluación aplicando la IA y se comparten los resultados obtenidos. La selección de Co-Rubrics y ChatGPT como herramientas de soporte se basó en su capacidad demostrada para integrarse con sistemas existentes y su compatibilidad con los objetivos pedagógicos específicos de cada cátedra, según lo documentado en estudios previos como el de Bahar et al (2023).

Se detallará el proceso de integración de esta área en la etapa de diseño de herramientas de evaluación, discutiendo las dificultades enfrentadas, los beneficios obtenidos y las justificaciones para el uso de tecnologías avanzadas en este contexto. Además, se analiza como la IA no solo facilita la creación de instrumentos más eficientes y precisos, sino que también permite una mejor gestión del tiempo académico, liberando al docente de algunas tareas tradicionales permitiéndole enfocarse más en el seguimiento individualizado y el desarrollo de competencias en los estudiantes.

Finalmente, se destaca la eficacia de la incorporación de esta para asegurar la consistencia y calidad de las evaluaciones, proponiendo que su uso puede ser tan efectivo como los métodos tradicionales y, en muchos casos, superior. Los resultados indican una transformación prometedora para futuras investigaciones y desarrollos en la aplicación de la IA en la educación universitaria, con el objetivo general de alcanzar un sistema educativo que se adapte y personalice a cada estudiante.

Proceso de Evaluación en el Paradigma por Competencias

En este proceso es fundamental asegurar que las evaluaciones sean coherentes con los objetivos de aprendizaje y que proporcionen datos útiles para mejorar tanto la enseñanza como el aprendizaje. Básicamente se centra en medir el grado de desarrollo de competencias específicas que los estudiantes deben adquirir durante su proceso formativo (Tobón, 2006).

A diferencia de los enfoques tradicionales basados principalmente en el conocimiento teórico, este paradigma pone énfasis en habilidades, destrezas, actitudes y conocimientos aplicados en contextos reales y prácticos. En general, podríamos decir que este proceso consta de las siguientes etapas (Fig. 1):

Definición de Competencias: el primer paso consiste en definir claramente que competencias deben ser adquiridas por los estudiantes de acuerdo con ciertos parámetros, como por ejemplo el nivel en el que están dentro de la carrera. Estas competencias son conjuntos de habilidades, conocimientos y actitudes esenciales para el desempeño efectivo en un campo profesional o académico.

Diseño de Actividades de Aprendizaje y Evaluación: partiendo de las competencias definidas, se diseñan actividades de aprendizaje que permitan implementarlas. Paralelamente, se crean métodos de evaluación que permitan medir efectivamente el desarrollo de estas competencias en los estudiantes. Como veremos más adelante, estas actividades pueden ser proyectos, simulaciones, estudios de caso, entre otros.

Implementación y Seguimiento: las actividades diseñadas son implementadas, y se realiza un seguimiento continuo del avance y progreso de los estudiantes. Este es de suma importancia para ajustar las estrategias de enseñanza y evaluación según sea necesario.

Evaluación: esta instancia se lleva a cabo utilizando diversas herramientas tales como rúbricas, listas de cotejo, portafolios, evaluaciones 360 grados, entre otras. Estas herramientas ayudan a evaluar no solo el resultado final sino también el proceso de aprendizaje del estudiante.

Retroalimentación y Ajustes: teniendo en cuenta los resultados obtenidos en las evaluaciones, se proporciona retroalimentación a los estudiantes para mejorar y perfeccionar sus competencias. Además, este paso se sugiere incluir la reflexión sobre la efectividad de los métodos de enseñanza y evaluación utilizados, realizando los ajustes necesarios para futuras implementaciones.

A continuación, se demuestra como la Inteligencia Artificial (IA) puede integrarse eficazmente en el proceso de creación de herramientas de evaluación dentro del contexto educativo. Mediante el uso de tecnologías avanzadas, es posible facilitar la elaboración de estos instrumentos y enriquecer su capacidad para evaluar con precisión el progreso y las competencias de los estudiantes.

Fig. 1 Etapas del proceso de evaluación dentro del paradigma por Competencias

Al incorporar soluciones de IA tales como el procesamiento de lenguaje natural, redes neuronales, aprendizaje supervisado, entre otros, en la fase de diseño y desarrollo de herramientas evaluativas, es posible alcanzar una mayor objetividad y eficiencia, asegurando que estos recursos sean tanto robustos como adaptables a las diversas necesidades y contextos educativos.

Herramientas de evaluación y dificultades presentadas

En la actualidad, puede afirmarse que la importancia de las herramientas de evaluación en el paradigma de competencias es indiscutible, dado que permiten no solo medir los resultados finales sino también monitorear el proceso de aprendizaje de los estudiantes de una manera integral y continua (Fig. 2).

Herramientas como rúbricas, listas de cotejo, portafolios y evaluaciones de 360 grados son esenciales para proporcionar una visión detallada del desarrollo y progreso de competencias específicas. Sin embargo, la creación y optimización de estas puede ser un proceso que demande mucho tiempo y esfuerzo por parte de los docentes, quienes deben asegurarse de que estas sean tanto exhaustivas como justas (Tobón, 2006).

Fig.2 - Tipos de evaluación del contexto laboral

En este contexto, la Inteligencia Artificial (IA) emerge como un soporte vital para mejorar y agilizar la creación y gestión de herramientas de evaluación. Utilizando algoritmos de aprendizaje automático, esta puede ayudar a los docentes a desarrollar dichos instrumentos que no solo son más precisos y objetivos, sino que también se adaptan mejor a las necesidades individuales de los estudiantes, facilitando así una retroalimentación más efectiva y oportuna. Esta tecnología no solo libera tiempo para que los educadores se concentren más en la enseñanza directa y el apoyo individualizado, sino que también mejora la calidad y consistencia de las evaluaciones realizadas (Coicaud, 2020).

Incorporación de la IA para el diseño de herramientas de evaluación

A continuación, se presenta como solución a los problemas previamente mencionados, la incorporación de una metodología innovadora que permita transformar, mejorar y optimizar el diseño y desarrollo de las diversas herramientas de evaluación en cátedras universitarias. A continuación, se explicará cómo puede mejorarse este proceso y se presentarán dos casos de estudio que demuestran la efectividad de la propuesta.

La aplicación de la Inteligencia Artificial (IA) en la etapa de evaluación, y más específicamente en la de diseño, es una respuesta necesaria ante los desafíos emergentes en la educación moderna. La creciente complejidad de las competencias que deben ser evaluadas requiere opciones que no solo sean precisas y eficientes, sino también altamente adaptativas y capaces de proporcionar retroalimentación contextualizada y significativa a los estudiantes.

La propuesta de integrar IA en el diseño de herramientas de evaluación proviene de diversos focos. Primero, la diversidad en los estilos de aprendizaje y las trayectorias educativas de los estudiantes demanda sistemas que puedan personalizarse a gran escala. Además, el tiempo de desarrollo que supone el diseño manual de estas herramientas puede ser considerable, limitando la disponibilidad del docente para actividades tales como la interacción pedagógica directa y la innovación educativa. La inteligencia artificial, por su parte, puede automatizar y optimizar etapas significativas de este proceso, permitiendo a los docentes centrarse en las actividades que requieren su presencia plena (Coicaud, 2020).

Por su parte, los beneficios de utilizar la IA en este proceso son variados y se detallan a continuación:

Primero, la IA puede analizar grandes conjuntos de datos que representen el desempeño de los estudiantes a fin de identificar patrones y tendencias que pueden no ser evidentes para los humanos, lo que ayuda a refinar los criterios de evaluación con el objetivo de ser más representativos del aprendizaje real.

Segundo, puede proporcionar recomendaciones personalizadas para la mejora de las rúbricas y listas de cotejo, asegurando que estas herramientas estén alineadas con los últimos estándares educativos y las necesidades individuales de los estudiantes. Tercero, la IA puede facilitar el diseño de evaluaciones adaptativas que ajusten su dificultad y tipo de preguntas en tiempo real, basado en las respuestas del estudiante.

Los resultados de integrar la IA en procesos educativos de nivel universitario son prometedores. Las instituciones que han adoptado esta tecnología reportan no solo una mayor precisión en las evaluaciones sino también una mejora en la participación y motivación de los estudiantes (Guardelli, 2024).

Esto se debe a que estas diseñadas con inteligencia artificial se presentan como relevantes y desafiantes de manera apropiada, ajustándose a las capacidades y progreso de cada estudiante. Además, los docentes disponen de mayor cantidad de recursos para intervenir de manera efectiva cuando la IA identifica áreas de riesgo o necesidades específicas de apoyo por medio de análisis de datos y diagnósticos.

Al contemplar estos aspectos, queda claro que la incorporación de la inteligencia artificial en el diseño de herramientas de evaluación no es solo una mejora tecnológica, sino una evolución pedagógica que puede transformar fundamentalmente como medimos y entendemos el aprendizaje en nuestras aulas (Teigens, 2020).

Implementación de rúbricas en Análisis Numérico y Tecnología del Calor utilizando Co-Rubrics y ChatGPT

Como se ha mencionado, en el contexto educativo actual, donde la eficacia y la personalización de la evaluación son cruciales, las herramientas tecnológicas ofrecen oportunidades significativas para mejorar estos procesos.

En este trabajo se demuestra la creación de rúbricas con herramientas como Co-Rubrics y ChatGPT que ha demostrado ser de gran ayuda y soporte al momento de diseñar, implementar y analizar herramientas de evaluación. Esta integración de tecnología facilita un enfoque más dinámico y adaptativo, adecuado para las demandas del aprendizaje basado en competencias.

En el primer caso de estudio, se utiliza Co-Rubrics, que es una herramienta educativa diseñada para facilitar la evaluación de competencias a través del uso de rúbricas y/o listas de cotejo. Esta aplicación es particularmente útil para docentes que buscan una forma sistemática y organizada de valorar las habilidades y conocimientos de los estudiantes de manera detallada y objetiva, además de ser totalmente gratis y poder utilizarla de manera sencilla con Google docs.

Características principales de Co-Rubrics:

Diseño de Rúbricas: permite crear rúbricas personalizadas donde se pueden definir distintos criterios de evaluación y niveles de desempeño para cada criterio. Estas rúbricas pueden ajustarse para cubrir una amplia variedad de tareas y proyectos.

Evaluación Colaborativa: una de sus funciones más destacadas es la capacidad de realizar evaluaciones colaborativas. Esto permite que varios docentes, pares y/o alumnos participen en el proceso de evaluación, ofreciendo una visión más amplia y diversa del desempeño por parte de los estudiantes.

Feedback Automatizado: la herramienta puede generar retroalimentación automática basada en los resultados de las evaluaciones, lo que ayuda a los estudiantes a entender sus áreas de fortaleza y aquellas en las que necesitan mejorar.

Integración con Google Classroom: se integra de manera efectiva con Google Classroom, lo que facilita la gestión de las evaluaciones dentro de un entorno educativo ya familiar para muchos educadores y estudiantes, en caso de ser necesario.

Análisis de Datos: por medio de esta característica ofrece y permite a los educadores visualizar y analizar los resultados de las evaluaciones para identificar tendencias, patrones, realizar ajustes curriculares y mejorar los métodos de enseñanza.

Si bien Co-Rubric hoy en día no integra inteligencia artificial es herramienta valiosa para los educadores que buscan mejorar la precisión, la objetividad y la eficacia de sus procesos de evaluación.

ChatGPT es un modelo avanzado de procesamiento de lenguaje natural desarrollado por OpenAI, basado en la arquitectura GPT (Generative Pre-trained Transformer). Este modelo es capaz de entender y generar texto en lenguaje natural, permitiendo interactuar con los usuarios de manera conversacional. Su capacidad para comprender el contexto y generar respuestas coherentes lo hace una herramienta valiosa en diversos campos, incluyendo la educación (Torres, 2023).

Los beneficios que se pueden mencionar al utilizar ChatGPT en la creación de rúbricas son:

Generación de Descriptores: ChatGPT puede ayudar a los docentes a formular descriptores claros y precisos para cada criterio de las rúbricas proporcionando ejemplos detalladas. Además, puede asegurar que los descriptores sean comprensibles y relevantes para los objetivos de aprendizaje.

Gestión eficiente del tiempo: como sabemos la creación de rúbricas y listas de cotejo puede ser un proceso tedioso, que consume mucho tiempo. ChatGPT puede automatizar parte de este proceso, generando rápidamente textos bien formulados que pueden ser ajustados o adaptados por los docentes.

Consistencia y Objetividad: al usar la IA para generar partes de las rúbricas, se puede lograr una mayor consistencia en el lenguaje y en los criterios de evaluación. Esto ayuda a mantener la objetividad, reduciendo las posibles variaciones que podrían surgir de la interpretación individual entre docentes y estudiantes.

Adaptabilidad: ChatGPT puede ser utilizado para crear herramientas de evaluación adaptadas a diferentes niveles educativos o áreas de estudio. Esto se logra simplemente ajustando las entradas al modelo para reflejar el nivel de detalle y especificidad requeridos.

Soporte Multilingüe: si bien no es el caso para el presente trabajo, es real que, para entornos educativos multilingüe, ChatGPT puede generar herramientas de evaluación en varios idiomas, facilitando el proceso en el idioma preferido de los estudiantes o en contextos bilingües/multilingües como cátedras de idioma.

Es claro que la aplicación de la inteligencia artificial en el proceso educativo ofrece una solución eficiente y efectiva para los desafíos que enfrentan día a día los educadores, liberando tiempo para que estos puedan hacer foco en actividades relacionadas a la enseñanza evitando, en lo posible, la mayor cantidad de tareas administrativas (Ruiz Velasco Sánchez, 2023).

Rúbricas en Análisis Numérico – Ing. En Sistemas de Información

La cátedra de Análisis Numérico, actualmente se dicta en el tercer año de la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información y aborda temas complejos y fundamentales como la transformada de Fourier, la transformada de Laplace, señales y sistemas, y modelos numéricos. Dada la profundidad y amplitud de estos temas, es crucial emplear métodos de evaluación que no solo indiquen la comprensión de los conceptos por parte de los estudiantes, sino que también fomenten su capacidad de aplicar estos conocimientos en problemas prácticos.

En esta cátedra, las evaluaciones se estructuran en instancias integradoras, organizadas por temas. Para cada una de estas instancias, se hace uso de rúbricas detalladas en el proceso de evaluación. Estas son herramientas esenciales para garantizar una evaluación objetiva y consistente del rendimiento estudiantil. Además, en algunos casos, se incentiva a los estudiantes a participar en procesos de autoevaluación, de evaluación entre pares, lo cual no solo enriquece su aprendizaje, sino que también les ayuda a desarrollar una visión crítica y un mayor sentido de responsabilidad hacia su propio proceso educativo.

Dado el número de rúbricas requeridas en un mismo cuatrimestre, que generalmente oscila entre cuatro y seis, la creación manual de estos instrumentos es una tarea ardua que consume gran cantidad de tiempo. Es aquí donde la Inteligencia Artificial se convierte en un aliado valioso. Utilizamos herramientas de IA para asistir en la creación de criterios de evaluación y descriptores. Este enfoque permite generar rápidamente borradores de rúbricas que son precisos, relevantes y adaptados a las necesidades específicas de cada tema tratado en la cátedra (Fig. 3).

	EXCELENTE	MUY BUENO	REGULAR	INSUFICIENTE	PESO
	4	3	2	1	
Empleando la regla del trapecio simple y regla de Simpson ⅜, calcule el área debajo de la siguiente función f(x) = 0.2 + 25x – 200x2 + 675x3 – 900x4 + 400x5 desde a = 0 hasta b = 0,8. Estime el error si el valor correcto para la integral es 1,640533. Utilice 3 (tres) decimales para los cálculos y redondee en caso de ser necesario. Explica cuál de los métodos es más preciso y por qué.	Emplea correctamente la Regla del Trapecio simple y la Regla de Simpson 3/8. Estima los errores de cada método. Explica cuál de los métodos es más preciso y por qué. Llega al resultado final	Emplea corectamente la Regla del Trapecio simple y la Regla de Simpson 3/8. Estima (o no) los errores de cada método. Explica (o no) cuál de los métodos es más preciso y por qué. La resolución alcanzada cumple con el 80% de lo solicitado. Llega a algún resultado final	Emplea bien la Regla del Trapecio simple y/o la Regla de Simpson 3/8. Estima los errores de cada método (o no). Explica cuál de los métodos es más preciso y por qué (o no). No llega al resultado final pero emplea correctamente el procedimiento de cálculo.	No lo resuelve	20%
Utilizando la función anterior, se obtuvo la siguiente gráfica. Indique cuántas raíces observa. Aproxime la segunda raíz utilizando los métodos gráfico, de bisección y Newton-Raphson, en el intervalo (0,7 ; 0,9). El error permitido es = 1%. Se sabe que el valor exacto de la raíz es 0,8101572. ¿Cuántas iteraciones necesitó para cada método de aproximación de raíces? Utilice 3 (tres) decimales para los cálculos y redondee en caso de ser necesario.	Responde que hay 3 raíces en la gráfica. Estima el valor de la raíz correctamente con los métodos gráfico, métodos de bisección y método de Newton-Raphson. Indica cuántas iteraciones necesitó para cada método. Llega al resultado final.	Responde que hay 3 raíces en la gráfica. Estima correctamente el valor de la raíz con dos de tres de los métodos gráfico, método de bisección o método de Newton-Raphson. Indica cuántas iteraciones necesitó para cada método. La resolución alcanzada cumple con el 80% de lo solicitado. Llega a algún resultado final	Responde que hay 3 raíces en la gráfica. Emplea correctamente el método de bisección y método de Newton-Raphson, pero no llega al resultado correcto No indica cuántas iteraciones necesitó para cada método (o no).	No lo resuelve	25%
Se analizó la misma función del punto 1 y se obtuvieron las siguientes coordenadas. Emplee la interpolación lineal de Newton, la Interpolación polinómica de Lagrange de 1º y 2º orden, en el intervalo [0,3 ; 0,5] para estimar el valor de la función cuando x=0,45. Calcule el error de cada aproximación. Utilice 3 (tres) decimales para los cálculos y redondee en caso de ser necesario.	Emplea correctamente la interpolación lineal de Newton, Interpolación de Lagrange de 1º grado e Interpolación de Lagrange de 2º grado. Estima correctamente los errores de cada método de aproximación. Llega al resultado final.	Emplea correctamente dos de los tres métodos (interpolación lineal de Newton, Interpolación de Lagrange de 1º grado e Interpolación de Lagrange de 2º grado). Estima correctamente los errores de dos de los tres métodos de aproximación. Llega a algún resultado final.	Emplea correctamente los métodos (interpolación lineal de Newton, Interpolación de Lagrange de 1º grado e Interpolación de Lagrange de 2º grado), pero no llega al resultado final. Plantea correctamente los errores de los métodos de aproximación sin llegar al resultado correcto.	No lo resuelve	25%
En el método de bisección, cuando se busca la raíz de una función: a. ¿Cómo puede estar ubicada la raíz? b. ¿Cómo evoluciona este intervalo a medida que se aplica el método? Describa detalladamente cada punto	Respuesta correcta y bien explicada	Respuesta correcta y pero no tan clara la respuesta.	Alguno de los puntos pedidos se responde el otro no, o bien la respuesta queda confusa y poco clara	No responde o es incorrecta la respuesta	10%
Para un conjunto de datos simulados, se llevó a cabo un análisis de regresión para modelar la relación entre las variables. Como resultado de este análisis, se obtuvo la siguiente función estimada que describe la relación entre las variables: f(x)=4+2x Seleccione la opción que considere verdadera de las siguientes afirmaciones y justifique, brevemente, su selección. El análisis de correlación establece que la f(x) dada es la función que mejor ajusta los datos dentro de la familia de curvas. El criterio de mínimo error cuadrático establece que la f(x) dada es la función que mejor ajusta los datos dentro de la familia de curvas. Ninguna de las anteriores es correcta. Las opciones a y b son correctas	Respuesta correcta y bien explicada	Respuesta correcta y pero no tan clara la respuesta.	Alguno de los puntos pedidos se responde el otro no, o bien la respuesta queda confusa y poco clara	No responde o es incorrecta la respuesta	10%
Explique, en base al siguiente gráfico, que método de integración se está utilizando para aproximar la curva y analice el error correspondiente.	Respuesta correcta y bien explicada	Respuesta correcta y pero no tan clara la respuesta.	Alguno de los puntos pedidos se responde el otro no, o bien la respuesta queda confusa y poco clara	No responde o es incorrecta la respuesta	10%

Fig. 3 – Ejemplo de rúbricas de Análisis Numérico desarrollada con Co-Rubrics y ChatGPT

Una vez que la IA nos proporciona una base para los criterios de evaluación y los descriptores, procedemos a revisar, pulir y perfeccionar estos elementos para asegurar que cumplan con nuestros estándares académicos. Este proceso de refinamiento es crucial, ya que permite adaptar las herramientas generadas automáticamente a las particularidades y exigencias de nuestro contexto educativo. Las rúbricas finales son luego incorporadas y administradas a través de Co-Rubrics, lo que facilita su implementación y seguimiento en el aula (Fig. 4).

Num	Alumno/a evaluado/Grupo	Número de puntuaciones			Empleando la regla del trapecio simple y regla de 20%			Utilizando la función anterior, se obtuvo la siguiente 25%			Se analizó la misma función del punto 1 y se obtuvieron las 25%			En el método de bisección, cuando se busca la raíz de 10%			Para un conjunto de datos simulados, se 10%			Explique, en base al siguiente gráfico, que 10%			Nota cuantitativa (contando solo el ítem más Máx. punt. 10			Nota cuantitativa (usando la media 100%			Nota global			Comen
		Coev	Auto	Prof	Coev	Auto	Prof	Coev	Auto	Prof	Coev	Auto	Prof	Coev	Auto	Prof	Coev	Auto	Prof	Coev	Auto	Prof	Coev	Auto	Prof	Coev	Auto	Prof	Coev	Auto	Prof	0%	0%	100%	
1	Santiago Ignacio Aguero Villareal	-	-	1	-	-	2	-	-	3	-	-	1	-	-	1	-	-	2	-	-	1	-	-	2,5	-	-	4,5			4,5			
2	Rodrigo Alves	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			0			
3	Aldana Amante	-	-	1	-	-	4	-	-	4	-	-	3	-	-	2	-	-	1	-	-	4	-	-	2,5	-	-	8,13			8,13			
4	Nicolás Antuña	-	-	1	-	-	4	-	-	3	-	-	3	-	-	3	-	-	1	-	-	1	-	-	2,5	-	-	7			7			
5	Jeremias Antunez	-	-	1	-	-	4	-	-	3	-	-	1	-	-	3	-	-	1	-	-	4	-	-	2,5	-	-	6,5			6,5			
6	Hernan Arias	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			0			
7	Agustín Bartoloni	-	-	1	-	-	4	-	-	4	-	-	3	-	-	3	-	-	1	-	-	4	-	-	2,5	-	-	8,38			8,38			
8	Agostina Basualdo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			0			
9	Natanael Adriel Bertello Martin	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			0			
10	Francisco Botta	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			0			
11	Antonella Caminotti	-	-	1	-	-	4	-	-	4	-	-	3	-	-	2	-	-	1	-	-	2	-	-	2,5	-	-	7,63			7,63			
12	Nicolás Campos	-	-	1	-	-	4	-	-	2	-	-	3	-	-	3	-	-	1	-	-	1	-	-	2,5	-	-	6,38			6,38			
13	Victoria Cavallero	-	-	1	-	-	4	-	-	4	-	-	4	-	-	3	-	-	1	-	-	3	-	-	2,5	-	-	8,75			8,75			

Fig. 4 – Resultados automáticos provistos por Co-Rubrics luego de la evaluación.

Luego de dos años de implementación de estas herramientas con la cátedra mencionada, se confirma que la integración de la Inteligencia Artificial en la creación de herramientas como rúbricas y listas de cotejo en la cátedra de Análisis Numérico no solo optimiza los procesos administrativos y de diseño, sino que también mejora la calidad y efectividad de nuestras evaluaciones, asegurando que reflejen de manera precisa y justa el rendimiento de nuestros estudiantes.

Rúbricas en Transferencia del Calor – Ing. Mecánica

Se presenta un segundo ejemplo de implementación, en este caso para la cátedra de Tecnología del Calor, impartida en el cuarto nivel de Ingeniería Mecánica, donde el desarrollo de rúbricas mediante el uso de Inteligencia Artificial y Excel se configura como un pilar fundamental en el proceso evaluativo. Esta cátedra forma parte del bloque de tecnologías aplicadas en el área de conocimiento térmica y fluidos, lo cual establece una necesidad inherente de evaluar tanto la comprensión teórica como la capacidad práctica de resolución de problemas por parte de los estudiantes.

Las herramientas de evaluación diseñadas, particularmente rúbricas, se implementaron durante cuatro instancias previstas en el cursado, incluyendo las sesiones de recuperación necesarias. El objetivo principal fue medir la profundidad del conocimiento adquirido por los estudiantes y su habilidad para aplicarlo en la resolución de problemas de ingeniería, en relación con la teoría impartida durante el curso.

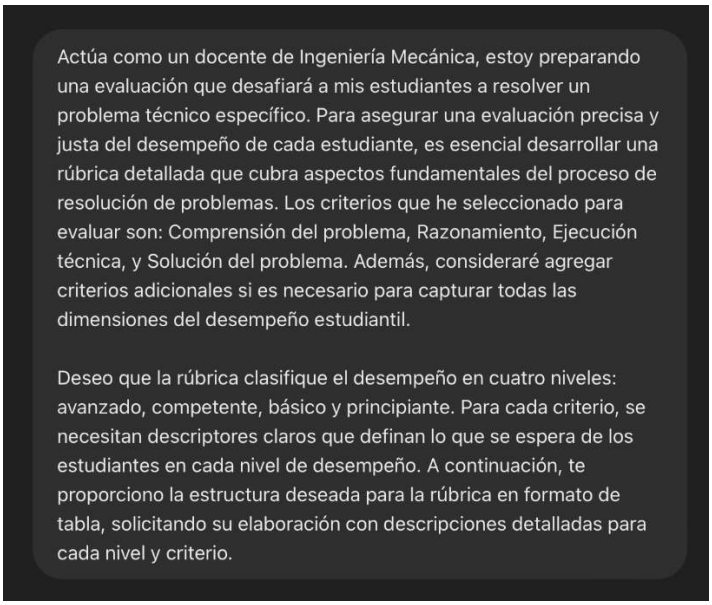
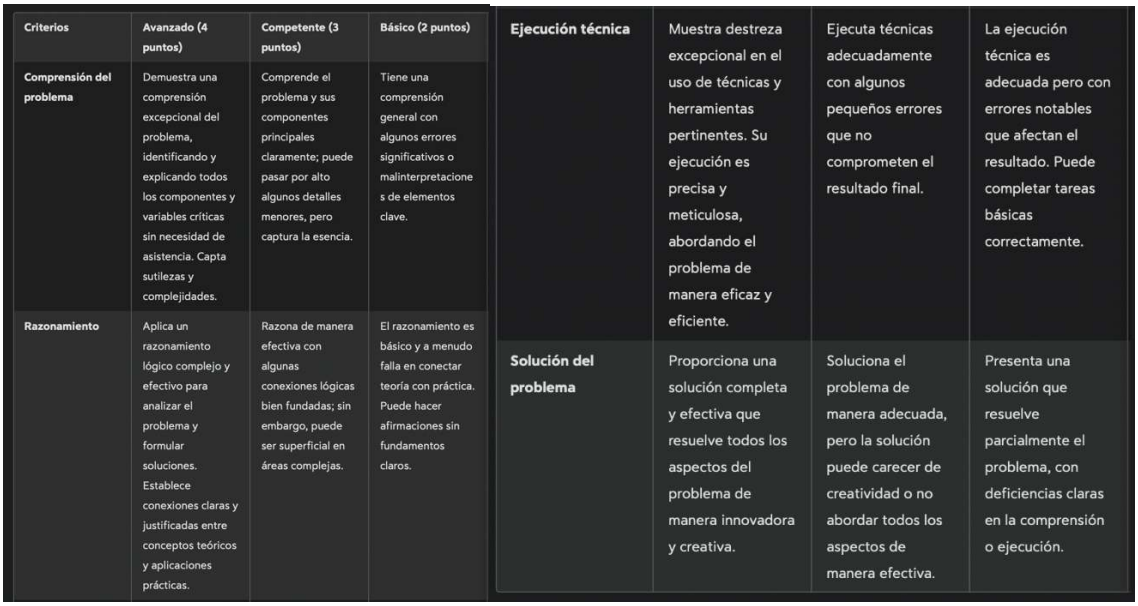


Fig. 5 – Ejemplo de un prompt utilizado para generar la base de la rúbrica a utilizar.

El proceso de desarrollo de las rúbricas para esta cátedra específica comenzó con el uso de herramientas de IA para la generación inicial de los descriptores. Estas herramientas, como ChatGPT, facilitaron la redacción de estos de manera clara y precisa definiendo de manera efectiva los niveles de competencia esperados en cada criterio. La IA permitió un diseño inicial rápido y fundamentado, proporcionando una base sólida que refleja los estándares académicos y las expectativas de desempeño.



Criterios	Avanzado (4 puntos)	Competente (3 puntos)	Básico (2 puntos)
Comprensión del problema	Demuestra una comprensión excepcional del problema, identificando y explicando todos los componentes y variables críticas sin necesidad de asistencia. Capta sutilezas y complejidades.	Comprende el problema y sus componentes principales claramente; puede pasar por alto algunos detalles menores, pero captura la esencia.	Tiene una comprensión general con algunos errores significativos o malinterpretaciones de elementos clave.
Razonamiento	Aplica un razonamiento lógico complejo y efectivo para analizar el problema y formular soluciones. Establece conexiones claras y justificadas entre conceptos teóricos y aplicaciones prácticas.	Razona de manera efectiva con algunas conexiones lógicas bien fundadas; sin embargo, puede ser superficial en áreas complejas.	El razonamiento es básico y a menudo falla en conectar teoría con práctica. Puede hacer afirmaciones sin fundamentos claros.
Ejecución técnica	Muestra destreza excepcional en el uso de técnicas y herramientas pertinentes. Su ejecución es precisa y meticulosa, abordando el problema de manera eficaz y eficiente.	Ejecuta técnicas adecuadamente con algunos pequeños errores que no comprometen el resultado final.	La ejecución técnica es adecuada pero con errores notables que afectan el resultado. Puede completar tareas básicas correctamente.
Solución del problema	Proporciona una solución completa y efectiva que resuelve todos los aspectos del problema de manera innovadora y creativa.	Soluciona el problema de manera adecuada, pero la solución puede carecer de creatividad o no abordar todos los aspectos de manera efectiva.	Presenta una solución que resuelve parcialmente el problema, con deficiencias claras en la comprensión o ejecución.

Fig. 6 – Resultado de la rúbricas base propuesta por el chatGPT

Una vez generados los descriptores, con ayuda de la IA, el proceso continuo con la implementación de estos en una hoja de cálculo de Excel donde se introdujeron fórmulas y ecuaciones que facilitaron la valoración automática de los descriptores, permitiendo calcular de forma eficiente y transparente las calificaciones finales de los estudiantes.

El mencionado proceso se detalla a continuación:

Creación de descriptores: luego de solicitados los descriptores como se puede ver en la Fig. 6, se revisaron y editaron los mismos para incorporarlos en el Excel.

Configuración de fórmulas: se seleccionaron e implementaron fórmulas que ponderaron y sumaron los puntajes asignados a cada criterio, facilitando el cálculo de la calificación final.

Ajustes y validaciones: se realizaron los ajustes necesarios para asegurar que las valoraciones fueran coherentes y reflejaran de manera justa el desempeño de los estudiantes.

Pruebas de funcionalidad: se verifico la funcionalidad de la hoja de cálculo, asegurando que todos los elementos interactúen correctamente y que la herramienta de evaluación sea robusto y libre de errores.

Los resultados indicaron mejoras significativas en la precisión de la evaluación y la participación del estudiante, corroborando estudios anteriores (Maffei et al, 2022) que observaron patrones similares en entornos educativos innovadores. Se identificaron limitaciones, especialmente en adaptación de IA en contextos de baja tecnología.

Conclusiones

Las conclusiones del trabajo reafirman el potencial de la IA para optimizar la creación de herramientas evaluativas, apoyadas por datos empíricos que demuestran mejoras en la eficiencia y precisión. Podemos mencionar, detalladamente, los siguientes puntos: 1.los resultados obtenidos en las cátedras de Análisis Numérico y Tecnología del Calor demuestran que la Inteligencia Artificial ha sido fundamental en optimizar la creación de herramientas de evaluación. 2. La IA ha permitido desarrollar instrumentos más precisos y eficientes, que son capaces de adaptarse a las necesidades individuales de los estudiantes, mejorando significativamente la calidad de las evaluaciones. 3. La implementación de IA en el proceso de evaluación ha liberado a los docentes de tareas repetitivas y administrativas, permitiéndoles dedicar más tiempo a actividades pedagógicas directas y al

seguimiento personalizado de los estudiantes. Este cambio no solo mejora la calidad de la enseñanza, sino que también enriquece la experiencia de aprendizaje del estudiante. 4. La integración de herramientas como Co-Rubrics y ChatGPT ha proporcionado un método sistemático y organizado para evaluar las competencias, asegurando una mayor consistencia y objetividad en el proceso. Los docentes pueden ahora realizar evaluaciones que reflejan de manera más precisa y justa el desempeño real de los estudiantes. 5. La tecnología de IA ha demostrado ser una aliada crucial en la evolución de los métodos de evaluación dentro del paradigma de aprendizaje basado en competencias. La capacidad de personalizar las evaluaciones y de proporcionar retroalimentación inmediata y relevante ha potenciado el desarrollo de competencias clave en los estudiantes, haciendo el proceso de aprendizaje más dinámico y adaptativo a sus necesidades individuales.

Perspectivas futuras

Aunque los resultados han sido en gran medida positivos, se espera continuar explorando y refinando la aplicación de la inteligencia artificial en la educación. La adopción de nuevas tecnologías y algoritmos podría sugerir y sumar mejoras en la eficiencia y efectividad de las herramientas de evaluación. Además, estudios adicionales podrían explorar el impacto a largo plazo de estas innovaciones en los resultados de los estudiantes.

Referencias

Bahar, M., Tenzin D. (2023). ChatGPT in education: Methods, potentials, and limitations, Computers in Human Behavior: Artificial Humans, Volume 1, Issue 2, 100022, ISSN 2949-8821. Recuperado de https://doi.org/10.1016/j.chbah.2023.100022.

Coicaud, S. (2020). Potencialidades didácticas de la inteligencia artificial: Videojuegos, realidad extendida, robótica y plataformas. Mediaciones tecnológicas para una enseñanza disruptiva. Argentina. Noveduc.

Guardelli, E. (2024). Inteligencia Artificial y el Futuro de la Educación. MedTechBiz. Recuperado de https://www.amazon.es/Inteligencia-Artificial-Futuro-Educación-Guardelli/dp/B0D65MTMV8/ref=tmm_pap_swatch_0?_encoding=UTF8&qid=&sr=

Knox, J. (2020). Artificial Intelligence and Education in China. Learning, Media and Technology, 45(3), 304-317.

Maffei, F., Neil, C., Battaglia, N. (2022). Herramientas para determinar estilos de aprendizaje basadas en inteligencia artificial. XVII Congreso de Tecnología en Educación & Educación en Tecnología - TE&ET 2022. 978-950-698-522-6, 10-18. Recuperado de http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/139894

Morales-Chan, M. (2023). Explorando el potencial de Chat GPT: Una clasificación de Prompts efectivos para la enseñanza. http://biblioteca.galileo.edu/tesario/handle/123456789/1348.

Ruiz-Velasco Sánchez, E., Bárcenas López, J. (2023). Inteligencia Artificial para la transformación de la educación. SOMECE.

Sánchez, J. C., Torrijos, C. (2023). La primavera de la inteligencia artificial: Imaginación, creatividad y lenguaje en una nueva era tecnológica. España: Los Libros de La Catarata.

Teigens, V., Skalfist, P., Mikelsten, D. (2020). Inteligencia artificial: la cuarta revolución industrial. Cambridge, Massachusset. Cambridge Stanford Books.

Tobón, S. (2006). Formación basada en competencias: pensamiento complejo, diseño curricular y didáctica. Colombia. Editorial Ecoe.

Torres, J. (2023). La inteligencia artificial explicada a los humanos. España. Editorial Plataforma. ISBN: 978-84-19655-56-1

UTILIZACIÓN DE RÚBRICAS COMO HERRAMIENTAS DE EVALUACIÓN DE RESULTADOS DE ENSAYOS EXPERIMENTALES PARA DETERMINAR CALIDAD DE AGUA

Romina A. Beltrán, Aldana A. Chesta, Paula A. Toselli, Agostina B. Bragas

Grupo de Investigación en Simulación para Ing. Química, GISIQ FRVM de UTN,
Av. Universidad 450, Villa María, Argentina.
Contacto principal: romibeltran@gmail.com

Resumen

Para enfrentar los retos actuales del sistema de evaluación por competencias, se requiere que el docente haga valoraciones basadas en evidencias obtenidas de diversas actividades de aprendizaje, definiendo si son alcanzados o no requisitos establecidos por múltiples indicadores. Existen diferentes alternativas de instrumentos que permiten visualizar el criterio formativo y sumativo. Las rúbricas representan una opción efectiva para tal desafío. Son tablas de valoración que especifican criterios claros y objetivos, precisando la actividad a evaluar, permitiendo disgregar tareas complejas en otras más simples.

En este trabajo se presenta una rúbrica diseñada para obtener una valoración medible y comprobable en torno a una experiencia de laboratorio de Química, asignatura del primer nivel de ingeniería de la FRVM, UTN. Durante su desarrollo, los estudiantes cuentan con el instrumento de evaluación que detalla los criterios de manera clara y precisa para llevar a cabo la práctica de manera efectiva. Comienzan conociendo la metodología de aplicación de tests colorimétricos de determinación de nitratos y cloruros, además de los niveles de dichas sustancias para cada tipo de agua. Luego, se les provee de diferentes muestras (agua de pozo, mineral y de red), enfrentándose al desafío de determinar la identidad o calidad de cada una utilizando los test sin conocer previamente de cual muestra se trata.

Como conclusiones se indica que el uso de la rúbrica promovió el aprendizaje activo involucrando al estudiante en el proceso de evaluación, estimulándolo a reflexionar sobre su propio desempeño, fomentando el desarrollo continuo de habilidades en relación a los procedimientos de laboratorio. La aplicación de este instrumento facilitó las expectativas tanto del docente como del alumno en cuanto a criterios de evaluación y niveles de desempeño esperados. La experiencia, además, fortaleció el manejo de técnicas de interés, permitió un aprendizaje significativo de temas específicos y potenció la autonomía de trabajo.

Palabras Clave: Rúbricas, Herramientas de evaluación, Determinación de calidad de agua, Ensayos de laboratorio.

Introducción

En la planificación de actividades de evaluación, los docentes enfrentan el desafío de diseñar instrumentos que no solo midan el aprendizaje, sino que también motiven a los estudiantes y los acerquen a contextos reales. La evaluación es una etapa fundamental que va más allá de la mera calificación, convirtiéndose en una herramienta clave para la enseñanza y el aprendizaje. En este sentido, Anijovich (2017) señala que el estudiante debe asumir un "rol de sujeto de conocimiento", donde la capacidad de aplicar y transformar conceptos en diferentes contextos es tan importante como su reproducción teórica.

La búsqueda de actividades auténticas y contextualizadas, como método de evaluación, permite una aproximación significativa a la realidad, asegurando que los estudiantes desarrollen competencias relevantes para su futura práctica profesional. Este enfoque se complementa con la utilización de rúbricas, las cuales proporcionan un marco claro y objetivo para la evaluación, facilitando tanto la retroalimentación continua como la autoevaluación por parte de los estudiantes.

En este trabajo se ejemplifica la implementación de una práctica experimental en la asignatura Química General, correspondiente al primer nivel, de la carrera de Ingeniería Química de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Villa María en donde los estudiantes comienzan conociendo la metodología de aplicación de tests colorimétricos de determinación de nitratos y cloruros, además de los niveles de dichas sustancias para cada tipo de agua. Luego, se les provee de diferentes muestras (agua de pozo, mineral y de red), enfrentándose al desafío de determinar la identidad o calidad de cada una utilizando los test sin conocer previamente de cual muestra se trata.

En el contexto de las carreras técnicas, donde las clases prácticas de laboratorio tienen una carga horaria considerable dentro del espacio curricular, la implementación de una rúbrica para evaluar las actividades experimentales se presenta como una herramienta esclarecedora. La propuesta se enfoca en un diseño de evaluación que promueve la reflexión y la mejora continua de las prácticas educativas, alineando los objetivos de aprendizaje con los criterios de evaluación. Además, la integración de la rúbrica en la plataforma Moodle mediante la herramienta "Tarea" permitirá un seguimiento organizado y transparente del progreso de los estudiantes, fomentando un aprendizaje más autónomo y significativo.

Desarrollo

Al planificar actividades de evaluación, los docentes se enfrentan a preguntas cruciales como: ¿qué aportan estas actividades a los estudiantes? ¿Qué tan motivados se sentirán al realizarlas?

La evaluación de actividades es una de las etapas más complejas de planificar. Se entiende que la evaluación es valiosa porque contribuye a la enseñanza y al aprendizaje, fomentando la búsqueda de alternativas en contextos similares a situaciones de la vida real. Desde este punto de vista, según Anijovich (2017), el estudiante asume un “rol de sujeto de conocimiento”, en el que no solo es importante lo que pueda reproducir conceptualmente, sino también cómo pueda transformar los conceptos para ser utilizados en otros contextos.

Buscar actividades auténticas como herramienta para evaluar los aprendizajes permite que estas se acerquen, en la medida de lo posible, a la realidad. Es aconsejable que las actividades presenten una complejidad acorde al nivel de la asignatura y los conocimientos de los estudiantes, y que se desarrollen en contextos colaborativos.

Teniendo en cuenta que la evaluación de cualquier actividad tiene como propósito cuantificar la relación entre los objetivos marcados inicialmente y los resultados alcanzados, se evalúan los aprendizajes en tanto conocimientos construidos, como en el uso de estrategias cognitivas generales como la comunicación clara y precisa, el trabajo en equipo y en la ejecución de un kit de laboratorio para informar resultados fiables.

Como mencionan las referencias citadas y de acuerdo a la propia experiencia docente, se reafirma la importancia de que la evaluación se convierta en una etapa de reflexión y mejora de las prácticas educativas. Esta debe ser coherente con la planificación de la enseñanza, fomentando un diálogo fluido con los estudiantes, cuya interacción promueva oportunidades para que ellos puedan expresar sus ideas y permitir al profesor actuar como guía, adaptándose a la etapa en la que se encuentra cada estudiante, ya sea de manera individual o colectiva.

Especialmente en las carreras técnicas, las clases prácticas de laboratorio son una parte fundamental. Si bien la variedad de clases prácticas es amplia, dependiendo del tipo de contenido y la clase específica, en general la evaluación se basa en un informe final, lo cual puede mostrar poco del desarrollo o del procedimiento llevado a cabo para lograr dicho resultado.

El enfoque evaluativo de ésta propuesta se caracteriza por ofrecer retroalimentación constante, lo cual es vital para que los estudiantes puedan identificar sus errores y mejorar su aprendizaje en tiempo real. La retroalimentación oportuna les brinda la posibilidad de cerrar la brecha entre el

nivel de conocimiento adquirido y el nivel deseado. Como instrumento de gran valor para desarrollar este desafío, se ha implementado el uso de rúbricas, que son tablas de valoración que especifican criterios claros y objetivos, precisando la actividad a evaluar y permitiendo desglosar tareas complejas en otras más simples.

En éste caso, se considera importante valorar procedimiento, ejecución del experimento, análisis e interpretación de los resultados, presentación del informe y trabajo en equipo y colaboración.

Materiales y métodos

Con el propósito de ampliar y diversificar las habilidades de los estudiantes en técnicas analíticas, se ha propuesto familiarizarlos con el uso de métodos de detección rápida de determinaciones de nitratos y cloro residual en aguas, como una alternativa frente a métodos tradicionales utilizados en los laboratorios.

En esta oportunidad, se muestra la implementación de una rúbrica en una práctica experimental concreta de laboratorio en la asignatura Química General de la carrera de Ingeniería Química de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Villa María durante el ciclo lectivo 2023. El objetivo es una interrelación de conocimientos que resulte significativa para el aprendizaje del alumno, considerando la necesidad de integrar los saberes adquiridos en la cátedra, que podrá extrapolar a las siguientes asignaturas relacionadas con química. La experiencia se ha realizado con aproximadamente 50 estudiantes, organizados en 2 grupos de trabajo y a su vez, en subgrupos, debido al espacio físico del laboratorio de docencia.

La actividad experimental propuesta demanda que el estudiante ponga en práctica varias temáticas del programa de la asignatura y búsqueda de información en cuánto a la normativa relativa a aguas de consumo, atendiendo a los límites máximos y/o mínimos de las sustancias a determinar, con el acompañamiento de los docentes durante las clases anteriores.

En la experiencia se les provee de diferentes muestras (agua de pozo, mineral y de red), enfrentándose al desafío de determinar la identidad o calidad de cada una utilizando los test sin conocer previamente de cual muestra se trata.

El método aplicado para detección rápida de nitratos consiste en una técnica colorimétrica donde los iones nitrato se reducen a iones nitrito que, en solución ácida, forman con el ácido sulfanílico una sal de diazonio. Esta reacciona con un derivado del ácido benzoico, dando un azocolorante amarillo anaranjado de distinta intensidad. La concentración de nitratos se determina semicuantitativamente por comparación visual del color de la solución analizada con la tarjeta colorimétrica incluida en el contenido del kit (Figura 1). Cabe aclarar que los colores de la tarjeta se observan a través de una muestra de la misma agua analizada sin la adición del reactivo, con el objetivo de que factores como la coloración propia de la muestra no afecten la percepción del color. Para muestras con más de 150 mg/l de NO^{3-}, deben realizarse diluciones con agua destilada. Este test está diseñado para análisis rápidos y sensibles de cualquier tipo de muestra de agua, por ejemplo: aguas subterráneas, potables, superficiales, de acuicultura, de piscinas, industriales, entre otras, pero no es adecuado para agua de mar (Chesta, et al., 2023).

En el caso de la detección rápida de cloro libre, el mismo reacciona, en solución débilmente ácida, con dietil-p-fenilendiamina (DPD) dando colorante violeta rojizo. La concentración de cloro se determina semicuantitativamente por comparación visual de color de la solución de medición con las zonas de color de una tarjeta colorimétrica. Si el color de la solución de medición correspondiera a la tonalidad más oscura de la escala o fuera más intenso aún, deberá repetirse la medición con nuevas muestras diluidas. El test de cloro, está diseñado para análisis rápidos de varios tipos de muestra de agua, por ejemplo: aguas potables, residuales, de la acuicultura, soluciones desinfectantes, entre otras y no es apropiado para agua de mar. (Figura 2).

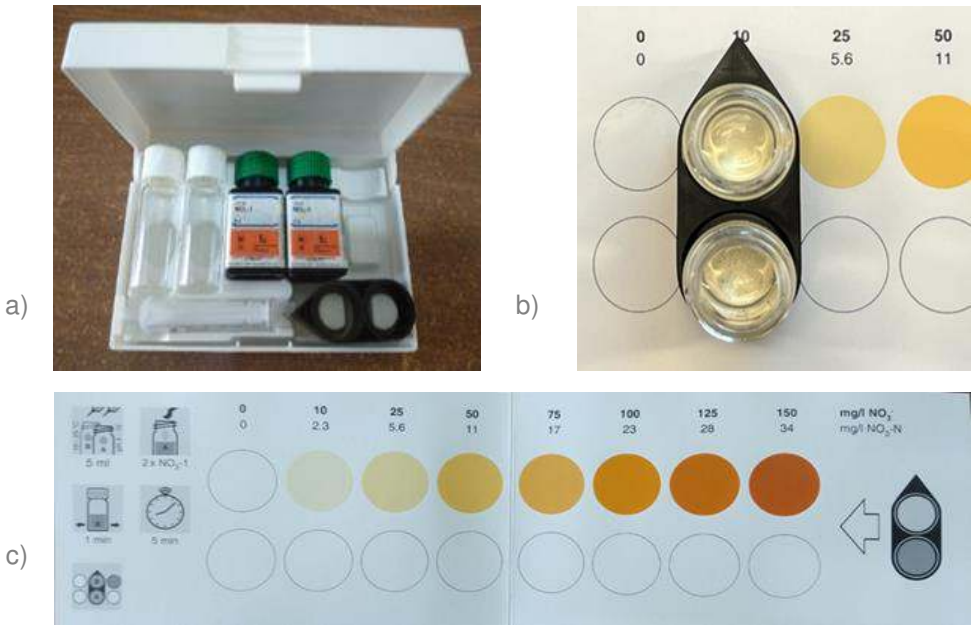


Fig. 1. a) Contenido del kit. b) Lectura de contenido de NO_3^-. c) Tarjeta colorimétrica.

Fig. 2. a) Contenido del kit de Cl_2. b) Estuche cerrado e instrucciones. c) Tarjeta colorimétrica.

La obtención de resultados de las técnicas aplicadas requieren de un nivel de destreza bajo en el manejo de elementos de laboratorio de control de calidad, pero sí considera un nivel acorde para su comprensión e interpretación de resultados y una asociación de conocimientos que el estudiante ha ido desarrollando durante el cursado de la asignatura.

De este modo, el alumno tiene claramente entendido que la obtención de resultados con una metodología sencilla que presenta además la ventaja de su rapidez de aplicación, resultará muy significativo para su desempeño técnico en un laboratorio de calidad de una empresa o institución, y que aun cuando la situación no lo demande puntualmente cuenta con una integralidad de conocimientos que le permite interpretar fehacientemente la validez del resultado alcanzado, las limitaciones o interferencias que podrían afectar la medición y las condiciones que permiten su aplicación. Siendo capaz de discernir acerca de la conveniencia o no de aplicar otras técnicas clásicas que demandan mayores tiempos, otro tipo de instalaciones y/o equipamiento, para alcanzar el objetivo pretendido (Chesta, et al, 2023).

El diseño de la rúbrica debe estar alineado con los resultados de aprendizaje esperados, los cuales definen los conocimientos, habilidades y actitudes que el alumno debe haber adquirido al finalizar la práctica. Es fundamental que el desarrollo de la evaluación basada en rúbricas comience antes de entrar al laboratorio, facilitando la rúbrica a través del aula virtual y proporcionándola junto con la guía de actividades de laboratorio con anticipación. Es importante que se ajuste a las necesidades y requerimientos observados en el momento de la evaluación. Se elige éste recurso por su gran valor al permitir transparencia en la evaluación y ofrecer retroalimentación clara a los estudiantes.

En la Figura 3 se visualizan las recomendaciones para la aplicación de rúbricas en las prácticas de laboratorio mencionadas en Tortajada y Noguera, 2013, que fueron tomadas en cuenta en este trabajo:

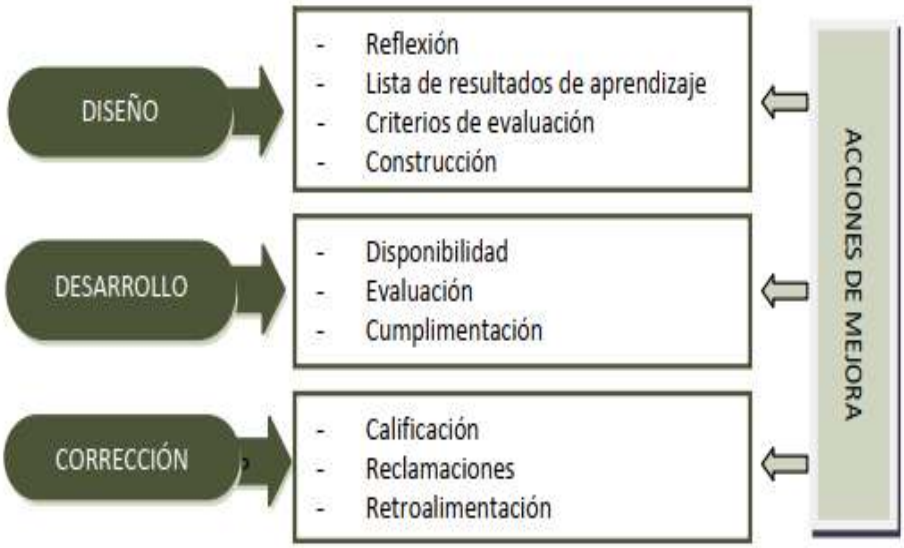


Fig. 3. Recomendaciones para la aplicación de rúbricas en las prácticas de laboratorio

Conocer la rúbrica con antelación ayuda a explicar los aspectos relevantes y enfocar adecuadamente la tarea. Aunque implementar estrategias de evaluación puede ser beneficioso, la gestión de grandes grupos de estudiantes presenta desafíos. No obstante, el uso de herramientas tecnológicas puede simplificar y agilizar el proceso. La Rúbrica implementada se muestra en la Tabla 1.

Se espera la continuación del uso de la misma rúbrica de evaluación para la experiencia en el ciclo lectivo 2024, con el objetivo de asegurar la continuidad y consistencia en la evaluación de las competencias adquiridas por los estudiantes. Su aplicación ha demostrado ser efectiva en la evaluación de las prácticas de laboratorio. Además, se planea extender su uso a las demás experiencias prácticas que se llevan a cabo durante el cursado de la asignatura.

Tabla 1: Rúbrica de evaluación

Criterios a evaluar	Avanzado	Competente	Básico	Principiante
Preparación	La preparación incluye todos los materiales, equipos y procedimientos necesarios descriptos en la guía de trabajo. Los materiales están organizados y listos para su uso.	La preparación incluye entre el 61% y 80% de los materiales y equipos descriptos en la guía de trabajo aunque están organizados y listos para su uso.	La preparación incluye entre el 51% y 60% de los materiales y equipos. La organización de los materiales presenta problemas, aunque los aspectos básicos están cubiertos	Más del 50% de los materiales y equipos faltan o están desorganizados. La falta de preparación afecta significativamente la ejecución del experimento.
Ejecución del Experimento	El experimento se realiza con gran precisión y cuidado. Todos los procedimientos se siguen al pie de la letra, y el manejo de materiales y equipos es impecable.	El experimento se realiza con hasta 2 errores referidos a preparación o cálculos de resultados. Los procedimientos se corrigen y el manejo de materiales es adecuado.	La ejecución muestra hasta 5 errores o procedimientos que no se siguen completamente. El manejo de materiales es parcialmente adecuado.	La ejecución del experimento es deficiente con más de 5 errores. Los procedimientos se omiten o se realizan incorrectamente y el manejo de materiales es inapropiado.
Análisis e Interpretación de Resultados	El análisis de los resultados es profundo y detallado. Las interpretaciones son claras y bien fundamentadas. Las conclusiones están respaldadas por datos y razonamientos.	El análisis es adecuado con más de 3 interpretaciones. Las conclusiones están respaldadas por datos, aunque podrían ser más detalladas.	El análisis es limitado, con 1 o 2 interpretaciones superficiales. Las conclusiones están poco fundamentadas.	El análisis es superficial o incorrecto. Las conclusiones son erróneas o no están basadas en los datos proporcionados.
Presentación del informe	El informe está bien organizado: caratula, introducción, desarrollo, análisis y presentación de resultados, con una estructura clara. La redacción no tiene errores gramaticales ni tipográficos.	El informe está organizado, pero podría mejorar en la introducción o presentación de resultados. Tiene hasta 3 errores gramaticales o tipográficos.	El informe muestra problemas de organización y claridad, con 4 a 6 errores gramaticales o tipográficos que afectan la lectura.	El informe es desorganizado y difícil de seguir. Hay errores graves gramaticales y tipográficos que dificultan la comprensión del contenido
Trabajo en Equipo y Colaboración	Todos los miembros participan activamente, contribuyendo significativamente al trabajo y resolviendo problemas de manera efectiva.	La colaboración es buena. La mayoría de los miembros participan activamente y hay una resolución adecuada de problemas, se podrían mejorar algunos aspectos.	La colaboración es limitada. La participación de algunos miembros es baja y hay problemas en la resolución de conflictos o en la coordinación del grupo	La colaboración es deficiente. La participación es problemática, y el grupo tiene serios problemas en la coordinación y resolución de conflictos.
Seguridad en el laboratorio	Todo el grupo de trabajo cumple con las normas básicas de seguridad en el laboratorio que se especifican en la guía de trabajo.	Al menos 80% de los integrantes del grupo de trabajo cumplen con las normas básicas de seguridad en el laboratorio	Entre el 50 y 79% de los integrantes del grupo de trabajo cumplen con las normas básicas de seguridad en el laboratorio	Menos de 50% del grupo de trabajo cumple con las normas básicas de seguridad en el laboratorio

Esta extensión permite una evaluación más homogénea y equitativa en todas las sesiones prácticas, garantizando que todos los estudiantes sean evaluados bajo los mismos criterios. Al aplicar una rúbrica común, se facilita la comparación de resultados y el seguimiento del progreso de los estudiantes a lo largo del curso, lo que proporciona una visión más completa de su desarrollo académico.

Para mejorar aún más la experiencia de aprendizaje, se propone la integración de la rúbrica de evaluación en la plataforma Moodle, utilizando el recurso de “Tarea”. Esto no solo permitirá a los estudiantes recibir sus calificaciones de manera estructurada y transparente, sino que también les proporcionará un acceso fácil y continuo a las retroalimentaciones detalladas sobre su desempeño. Estas retroalimentaciones serán clave para que los estudiantes identifiquen sus fortalezas y áreas de mejora, promoviendo un aprendizaje más autónomo y reflexivo.

La digitalización del proceso de evaluación a través de Moodle también ofrecerá a los docentes una herramienta eficaz para gestionar las calificaciones, llevar un registro organizado de las evaluaciones y generar informes de progreso que pueden ser utilizados para ajustar estrategias de enseñanza y apoyo personalizado según las necesidades de los estudiantes.

Una vez diseñada la rúbrica, se inserta en la tarea seleccionada a través de la configuración del recurso. Para ello, en el apartado de configuración, es necesario seleccionar la opción 'Calificación' y elegir 'método de rúbrica', además de especificar el tipo de calificación. Tras guardar los cambios y actualizar, se debe acceder a 'calificación avanzada' y seleccionar 'nuevo formulario'. En esta sección, el recurso Tarea permite cargar uno a uno los descriptores de las filas y columnas de la rúbrica, asignándoles un puntaje correspondiente. Si se necesita utilizar la misma rúbrica en una nueva tarea, se podrá seleccionar un formulario 'listo para su uso', evitando así volver a cargar los descriptores manualmente. La visualización de la rúbrica dentro de la herramienta Tarea resulta práctica tanto para los docentes, que pueden seleccionar fácilmente cada descriptor y calcular el puntaje final, como para los estudiantes, quienes pueden revisar los criterios antes y después de la evaluación, resaltados con colores según corresponda.

Conclusiones

A modo de conclusiones, se muestran algunos aspectos más relevantes:

Importancia de la evaluación en el aprendizaje: La evaluación no es solo una herramienta de medición, sino que contribuye significativamente al proceso de enseñanza-aprendizaje.

Situaciones o experiencias contextualizadas: Las actividades de evaluación auténticas permiten a los estudiantes enfrentar situaciones similares a la vida real, promoviendo un aprendizaje autónomo donde adquieren competencias prácticas y relevantes para su desarrollo profesional.

Uso de rúbricas: La implementación de rúbricas como instrumentos de evaluación asegura claridad y objetividad en la medición del desempeño estudiantil, facilitando la retroalimentación y permitiendo a los estudiantes identificar áreas de mejora de manera oportuna.

Desarrollo de habilidades técnicas y analíticas: La propuesta de familiarizar a los estudiantes con métodos de detección rápida en el laboratorio no sólo amplía sus habilidades técnicas, sino que también fortalece su capacidad de interpretar y aplicar conocimientos en situaciones prácticas que serán útiles para otros niveles de química y el propio mundo laboral.

Referencias

Anijovich, R., Cappelletti, G. (2017). *La evaluación como oportunidad.* Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Paidos.

Chesta, A; Beltrán, R; Bragas, A; Bellotti, C; Huerta, S. (2023). *Ventajas de la aplicación de test de detección rápida frente a técnicas analíticas clásicas como alternativa académica*. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Villa María.

Gallardo, K. (2020). *Competency-based assessment and the use of performance-based evaluation rubrics in higher education: Challenges towards the next decade.* Problems of Education in the 21st Century, 78(1), 61-79.

Perrenoud, P. H. (2005). *Diez nuevas competencias para enseñar*. Educatio Siglo XXI, 23, 223-229.

Pignatta, M; Stroppiano, C; Marquez, C; Bragas, A. (2024). *Evaluación por competencias utilizando recursos de moodle.* Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Villa María.

Pozo Flórez, J. Á. d. (2012). *Competencias profesionales: Herramientas de evaluación: el portafolios, la rúbrica y las pruebas situacionales*. España: Narcea.

Rué, J. (2009). *El aprendizaje autónomo en educación superior* Reseñas Educativas (Vol. 20). Narcea ediciones.

Segui, L.; Galiana, M. (2023). *The Challenge of Developing and Assessing Transversal Competences in Higher Education Engineering Courses*. International Journal of Engineering Education, 39(1), 1-12.

Simieli, P; Toselli, P; Pignatta, M. (2022). *Las rúbricas como instrumentos de evaluación dando soporte a las expectativas de docentes y alumnos en la instancia de evaluación*. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Villa María.

Tobón, S. (2013). *Formación integral y competencias. Pensamiento complejo, currículo, didáctica y evaluación* (4ta. Ed.). Bogotá: ECOE.

Tortajada Genaro, L; Noguera Murray, P. (2013). *Diseño y aplicación de las rúbricas en la evaluación in situ del aprendizaje en el laboratorio.* Universidad Politécnica de Valencia.

Sumozas García-Pardo, R., Nieto Moreno de Diezmas, E. (2017). *Evaluación de la competencia digital docente.* España: Síntesis.

Valverde Berrocoso, J. (2014). *El uso de e-rúbricas para la evaluación de competencias en estudiantes universitarios. Estudio sobre fiabilidad del instrumento. REDU*. Revista de docencia universitaria, 12(1), 49-79.

Velasco-Martínez, L. C., Tójar-Hurtado, J. C. (2018). *Competency-based evaluation in higher education—Design and use of competence rubrics by university educators*. International Education Studies; Vol. 11, No. 2, 118-132.

Velasco-Martínez, L. C., Tójar Hurtado, J. C. (2017). U*so de rúbricas en educación superior y evaluación de competencias.* Revista de currículum y formación de profesorado. Vol 22 (3), 183-208.

CÁLCULO DE LA ENTROPÍA EN EL ANÁLISIS DE CUANTIFICACIÓN DE RECURRENCIAS PARA SERIES TEMPORALES CATEGÓRICAS

Fabián C. Tommasini [1], Mercedes X. Hüg [1,2]. Diego Evin [1.3], Fernando Bermejo [1,2]

[1] Centro de Investigación y Transferencia y Acústica (CINTRA), CONICET, Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Córdoba
[2] Facultad de Psicología, Universidad Nacional de Córdoba
[3] Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Entre Ríos
ftommasini@frc.utn.edu.ar

Resumen

El análisis basado en recurrencias está siendo aplicado en diversos campos del conocimiento. Los gráficos de recurrencias (recurrence plots, RP) y el análisis de cuantificación de recurrencias (recurrence quantification analysis, RQA) son métodos (gráfico y numérico, respectivamente) de análisis no lineal, que permiten explorar dinámicas en series temporales de datos continuos o categóricos. Una de las medidas que ofrece el RQA es la Entropía (ENT) de la información, que mide el grado de desorden del sistema o la cantidad de incertidumbre que posee. Originalmente, se propuso calcularla aplicando la fórmula de Shannon a la distribución de frecuencias de las longitudes de las líneas diagonales presentes en el RP. Sin embargo, cuando las series temporales son de naturaleza categórica, los RPs adquieren características particulares. Suelen estar compuestos por estructuras rectangulares en lugar de estructuras lineales, lo que podría alterar las medidas usadas habitualmente, entre ellas, la ENT.

Teniendo en cuenta tales consideraciones, en este trabajo se comparó la definición original con una definición alternativa de ENT propuesta en la literatura, la cual se basa en el área de las estructuras rectangulares que se generan en una serie de datos temporales categóricos. Para esta comparación se utilizó una codificación de episodios videograbados, donde se etiquetó la sincronización en la marcha de una díada madre-hija con discapacidad visual. Los resultados se discuten en función de la importancia de este tipo de avances técnicos para una correcta caracterización de fenómenos complejos que son analizados a partir de este tipo de series temporales.

Palabras Clave: Entropía, Análisis de Recurrencias, Sistemas Dinámicos, Datos categóricos

Introducción

El análisis basado en recurrencias es una herramienta que permite estudiar sistemas dinámicos a través de la identificación y caracterización de patrones de comportamientos que se repiten en el tiempo. Ha demostrado ser útil en escenarios y problemas muy diversos como fisiología (Mathunjwa et al., 2021; Pitsik et al., 2020), ingeniería (Nichols et al., 2006; Qian et al., 2014), estudio de mercados (Bastos & Caiado, 2011; Krishnadas et al., 2022), y psicología (Tommasini et al., 2022; Vrzakova et al., 2019; Wallot, 2017). Para este último campo resulta particularmente atractivo porque permite el estudio de fenómenos comportamentales desde una perspectiva no lineal y no reduccionista, al considerar la interacción de múltiples elementos. Esto resulta esencial porque aborda su naturaleza inherentemente compleja.

Los gráficos de recurrencia (recurrence plots, RP) y el análisis de cuantificación de recurrencias (recurrence quantification analysis, RQA) son métodos de visualización y análisis no lineales para sistemas dinámicos, que miden cómo y en qué medida una señal presenta patrones similares en el tiempo (Marwan, 2008). Las medidas del RQA permiten evaluar propiedades específicas del sistema dinámico que se observan en los RPs. Entre las mismas se encuentran el porcentaje de recurrencia (REC), que indica la estabilidad del sistema; el porcentaje de determinismo (DET), que señala su previsibilidad; o la entropía (ENT) de la información, que mide el grado de desorden del sistema o la cantidad de incertidumbre que posee (Marwan et al., 2007; Webber & Zbilut, 1994).

Una ventaja de estos métodos respecto de otras herramientas no lineales, es que puede ser aplicado tanto a series temporales de datos continuos, por ejemplo, posición registrada a partir de sensores de movimiento; como a series de tipo categóricas, por ejemplo, conductas codificadas mediante etiquetas según lo observado en videos (Wallot & Leonardi, 2018).

Sin embargo, se ha señalado que los RPs de datos categóricos tienden a mostrar estructuras rectangulares o cuadradas (bloques) en lugar de las líneas diagonales y horizontales/verticales típicas en los RP de datos continuos (Fig. 1) (Orsucci et al., 1997, 2006). Esta diferencia estructural implica que algunas medidas estándar de RQA puedan precisar ajustes significativos. En particular, Leonardi (2018) reportó la necesidad de revisar la validez de la medida ENT a partir de datos simulados. La medida tradicional basada en el número y en la distribución de las líneas diagonales, podría estar sesgada cuando es aplicada a RPs con frecuentes estructuras rectangulares, dado que en cada rectángulo están presentes todas las longitudes de diagonales que lo componen. Leonardi propone un cálculo alternativo para que la estimación refleje de una forma más adecuada dicha medida en las series temporales categóricas, evitando los sesgos mencionados.

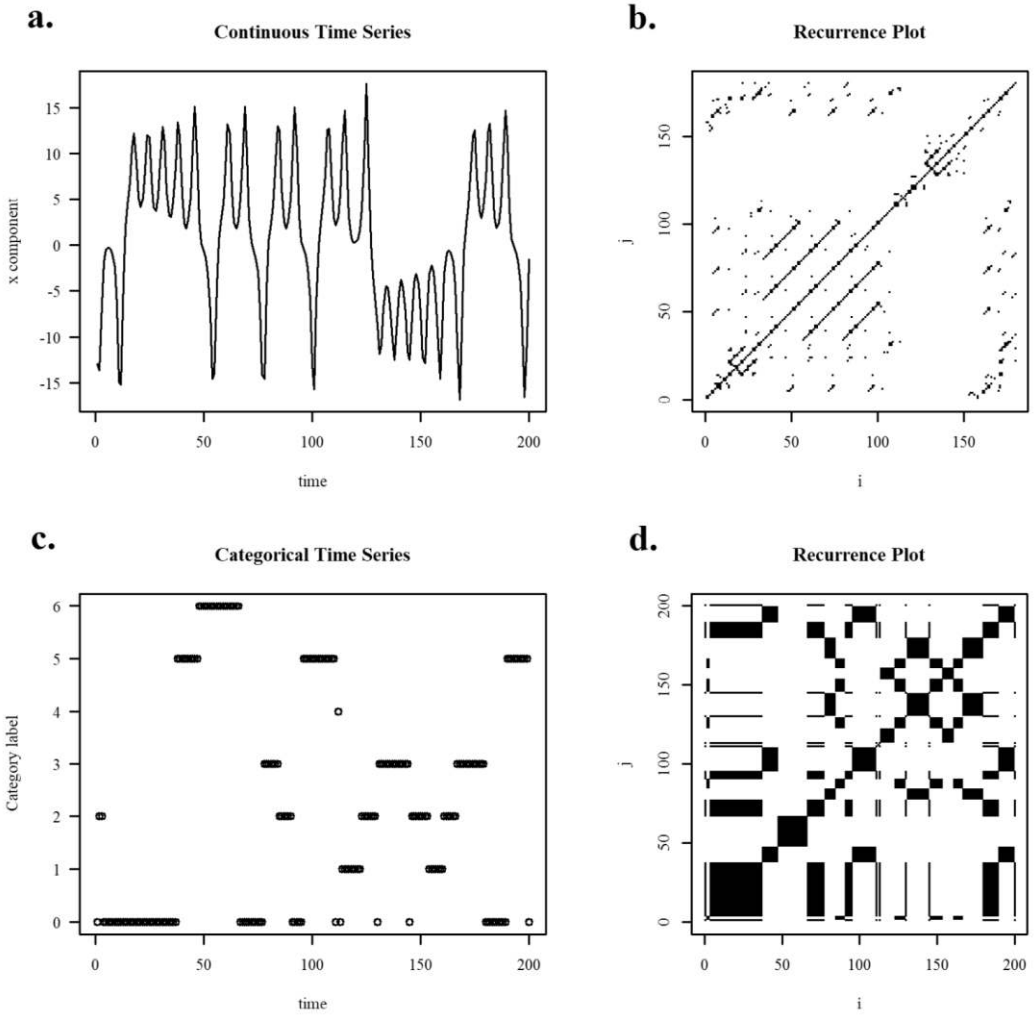


Fig. 1. (a) Ejemplo de serie temporal de datos continuos, (b) RP derivado de dicha serie temporal. (c) Ejemplo de serie temporal de datos categóricos, (d) RP de dicha serie temporal. Extraída de Leonardi (2018).

En el presente trabajo se realizará una comparación de resultados obtenidos con la definición original y con la alternativa de ENT propuesta por Leonardi (2018) para series de datos categóricos obtenidas a partir de una codificación de episodios videograbados de la marcha de una díada madre-hija con discapacidad visual.

Materiales y métodos

Cálculo de la entropía en el RQA

Cabe recordar que la entropía es un concepto empleado en múltiples áreas de la ciencia y que se asocia al grado de desorden o incertidumbre de un sistema dinámico (Greven et al., 2003). Su nombre proviene del griego y significa “transformación” o “cambio”. Se la introdujo originalmente en el área de la termodinámica para cuantificar la porción de energía que no puede ser convertida en trabajo útil y poder explicar la evolución de dichos sistemas.

El mismo término de entropía fue resignificado por Shannon (1948) al estudiar la teoría de la información, como la "cantidad de incertidumbre" que contiene una señal a la que se considera como un canal de información y que puede utilizarse para describir su complejidad.

En el caso del RQA, la medida ENT propuesta por Webber y Zbilut (1994) está basada en la entropía de Shannon de la distribución de las longitudes de las líneas diagonales. Se puede estimar a partir de la distribución de frecuencias $P(l)$ de las longitudes de las diagonales presentes en el RP. Luego, la probabilidad de encontrar una línea diagonal de longitud l en el RP puede calcularse como $p(l) = P(l) / N_l$, donde N_l es el número total de estas líneas. A partir de la fórmula de Shannon, la entropía basada en líneas diagonales ENT_L se define formalmente como:

$$ENT_L = -\sum_{l=l_{min}}^{N_l} p(l) \ln p(l) \quad (1)$$

Sin embargo, como se dijo anteriormente, dicha medida tradicional podría estar sesgada cuando es aplicada a RPs que contienen estructuras de bloques rectangulares (frecuentes en series categóricas), dado que en cada rectángulo están presentes todas las longitudes de las diagonales que lo componen. El cálculo alternativo de ENT propuesto por Leonardi (2018) permite estimar la entropía a partir de la distribución de frecuencias P(a) de las áreas de los bloques presentes en el RP. La define formalmente como ENT_B a partir de la siguiente ecuación:

$$ENT_B = -\sum_{a>1}^{N_a} p(a) \ln p(a) \quad (2)$$

donde $p(a) = P(a) / N_a$ es la probabilidad de encontrar un bloque de área a y N_a el número total de bloques de área mayor a 1 en el RP (es decir, se omiten puntos aislados).

Al centrarse en las coincidencias exactas y las estructuras rectangulares resultantes, el método de Leonardi calcula la entropía de un modo más ajustado a las características de las series temporales categóricas.

En un sistema dinámico analizado mediante recurrencias, un valor más alto de ENT_L debería corresponder a una distribución de las longitudes de las líneas diagonales en el RP más uniformes, es decir, líneas diagonales con longitudes muy variables. Al contrario, valores bajos de entropía deberían corresponderse con RP que presenten una distribución de las longitudes de las líneas diagonales concentrada en torno a unos pocos valores constantes. Lo mismo podría expresarse en términos de áreas de bloque para ENT_B.

En términos prácticos, un sistema con recurrencias de duraciones más impredecibles y heterogéneas debería tener una mayor entropía, mientras que otro con patrones más monótonos y similares debería mostrar una entropía menor.

Caso de estudio: Caminata de díada

Los datos analizados para el presente trabajo provienen de un estudio evolutivo observacional con un diseño de tipo microgenético longitudinal. Participaron una madre y su hija (con edad entre 3 y 4 años en el período de estudio), ambas con diversidad funcional visual. Se realizaron filmaciones de 6 episodios de la díada en situaciones de locomoción utilizando el bastón en entornos urbanos cotidianos a lo largo de 6 meses.

Los episodios fueron etiquetados con diferentes categorías vinculadas a la *caminata* de la díada. A los fines del presente análisis, las categorías de interés fueron: *sincronización* de la marcha conjunta (ambas apoyan alguno de sus pies al mismo tiempo), *no sincronización*, *detención*, y *rodeo* debido al encuentro con un obstáculo en el camino. Además, en otra serie temporal, se categorizó el lugar por el que caminaban: *vereda* o *cruce de calles*.

La base de datos de etiquetas fue construida consignando de forma manual el estado que asumió la categoría analizada en cada cuadro (*frame*) del video, utilizando el software de etiquetado ELAN (Sloetjes & Wittenburg, 2008). Esto dio lugar a anotaciones de eventos con sus tiempos de inicio y finalización. Se codificó un total de 2860 s (~48 min) de video. Luego, las secuencias temporales fueron muestreadas a 4 Hz (250 ms entre muestras).

Se omitieron del análisis aquellos intervalos en los que el comportamiento no podía observarse correctamente en el video, ya sea por pérdida de encuadre o por oclusión de las imágenes. Esto representó un ~9,8% del tiempo total.

Procesamiento de datos

Para estudiar el comportamiento de caminata de la díada, los episodios se segmentaron según la codificación del lugar por el que transitaban. Debido a que la caminata por la vereda es más homogénea ya que es una zona segura para transitar, se descartaron aquellos segmentos donde realizaban un cruce de calles. Sólo los segmentos con caminata por vereda conformaron el corpus final para este estudio.

Para analizar con más detalle cada categoría en el análisis de recurrencia, se utilizó la variante de análisis de recurrencias cromático (Cox et al., 2016), donde cada categoría se representa con un color diferente. Dicho análisis se efectuó para todos los segmentos del corpus adoptando los valores de parámetros recomendados para el caso categórico (Wallot & Leonardi, 2018). Las variables de reconstrucción en espacio de fases: *embedding* (*m*) y *delay* (*d*), tomaron el valor de 1, y para el cálculo del RP se utilizó un valor de *radio* (*r*) igual a 0.

Para determinar los RPs y la ENT_L se desarrolló un software propio escrito en Matlab basado en los algoritmos de Xu et al. (2020) y de Meyers et al. (2020), junto al *CRP Toolbox* (Marwan, 2024). Para el cálculo de ENT_B se adaptó a Matlab el código publicado en el paquete *crqa* de R (Coco et al., 2024).

El análisis estadístico entre los eventos para las diferentes formas de cálculo de la entropía (ENT_L y ENT_B) se basó en una prueba no paramétrica de Mann-Whitney U, ya que los datos no tenían una distribución normal. Se aplicó la corrección de Bonferroni debido a las múltiples comparaciones. El nivel de significancia fue determinado a $\alpha = 0.05$.

Resultados

En la Fig. 2, se presenta la distribución en frecuencia y la duración promedio de los eventos de la situación de caminata categorizados. Como puede observarse, las categorías más frecuentes fueron *no sincronización* y *sincronización* de la marcha. Los eventos de *detención* y *rodeo* fueron muy poco frecuentes. Respecto a la duración, se encontró que los eventos con mayor tiempo

promedio fueron la *detención* y la *no sincronización* de la marcha, mientras que el más breve fue la *sincronización* de la marcha.

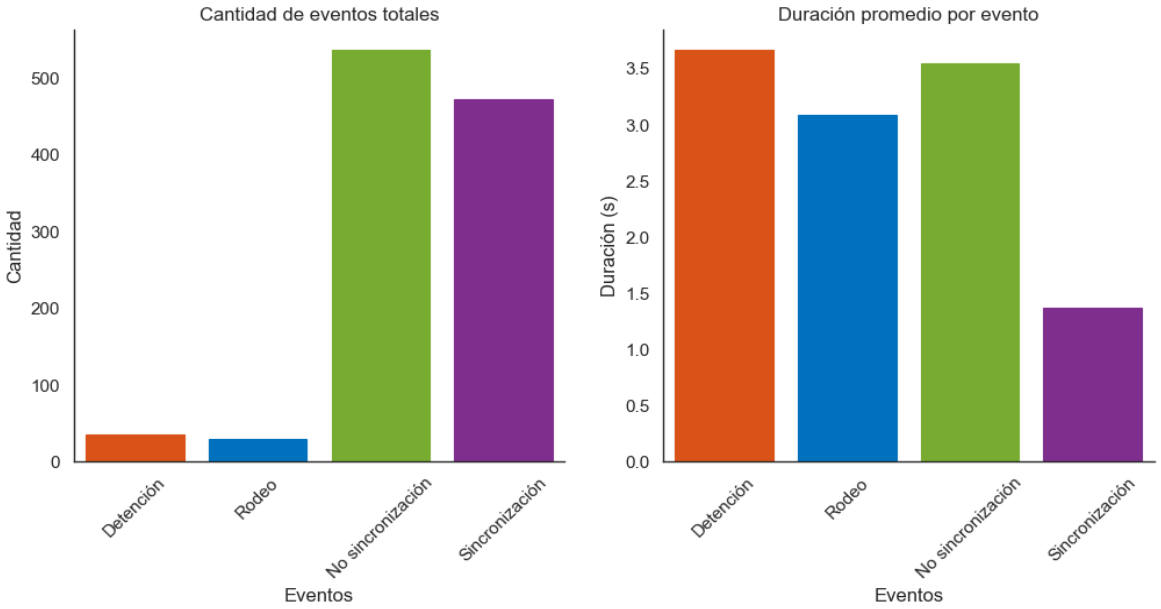


Fig. 2. Cantidad (izquierda) y duración promedio (derecha) de los eventos para el conjunto de datos analizados.

A modo ilustrativo, la Fig. 3 muestra un ejemplo de RP de un segmento de interacción diádica durante la caminata. Como se puede ver, esta herramienta simplifica y resume visualmente las dinámicas analizadas. Se observan las estructuras con forma de bloques rectangulares correspondientes a las recurrencias de la serie. Los distintos colores se corresponden con las diferentes categorías consideradas, mientras que el color blanco representa la ausencia de recurrencias. En este caso, hay una mayor cantidad de estructuras correspondientes a la categoría de *no sincronización* de la marcha con una duración y tamaño variable. La categoría *sincronización* de la marcha se presenta de manera más breve y distribuida uniformemente alternando a la *no sincronización*. Se observa sólo una vez la aparición del evento correspondiente a la categoría *detención*. No hay apariciones de *rodeo*.

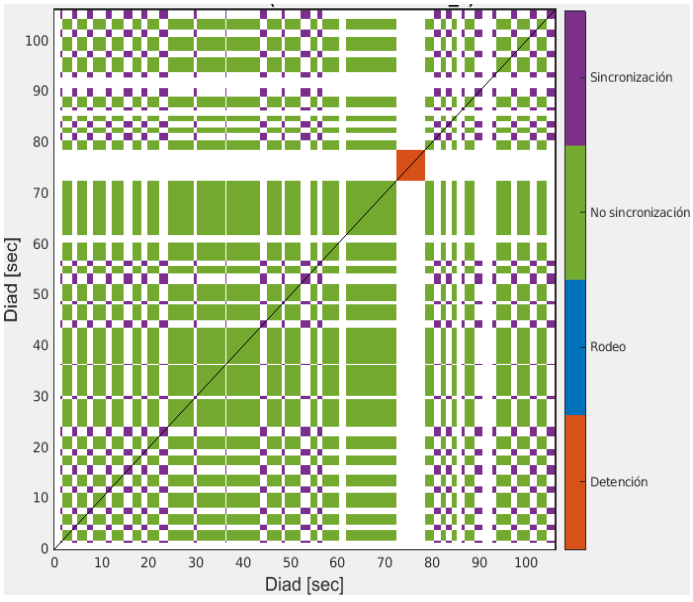


Fig. 3. Ejemplo de RP obtenido para un segmento analizado.

Se evaluaron las medidas de entropía original ENT_L y la definición alternativa ENT_B propuesta por Leonardi (2018), para cada segmento del corpus de datos. La Fig. 4 y la Tabla 1 presentan los valores obtenidos para cada una de las categorías estudiadas.

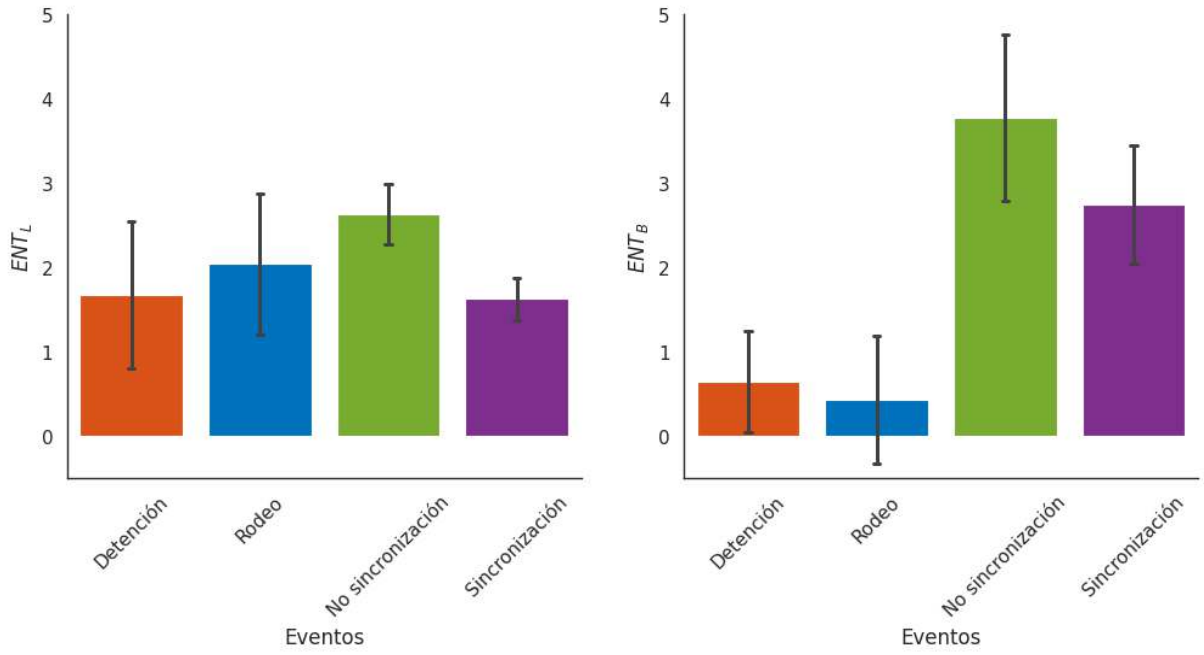


Fig. 4. Análisis comparativo de distribución de valores de entropía estimada para cada categoría según la definición tradicional (ENT_L) y considerando el área de bloques (ENT_B).

Tabla 1. Media (Desviación estándar) de cada evento para ENT_L y ENT_B

	ENT_L	ENT_B
Detención	1.673 (0.904)	0.643 (0.622)
Rodeo	2.040 (0.857)	0.437 (0.783)
No Sincronización	2.632 (0.366)	3.774 (1.011)
Sincronización	1.626 (0.250)	2.749 (0.715)

Al hacer el análisis estadístico, para la ENT_L se observan diferencias estadísticamente significativas entre el evento *no sincronización* y el restos de los eventos: *detención* ($U = 66$, $p = 0.014$); *rodeo* ($U = 313.5$, $p = 0.003$); y *sincronización* ($U = 674$, $p < 0.001$).

En la misma dirección, para la ENT_B se observan diferencias entre el evento *no sincronización* con el resto (*detención*: $U = 4$, $p < 0.001$; *rodeo*: $U = 6.5$, $p < 0.001$; *sincronización*: $U = 556.5$, $p < 0.001$). Sin embargo, también existen diferencias significativas entre el evento *sincronización* de la marcha y los demás eventos (*detención*: $U = 12$, $p < 0.001$; *rodeo*: $U = 17.5$, $p < 0.001$).

Conclusiones

En el presente trabajo se estudió el efecto de las estructuras rectangulares en los RP sobre la estimación de entropía en el análisis de recurrencias para datos categóricos. Se utilizó como caso de estudio una serie temporal correspondiente a una situación de caminata en entornos urbanos cotidianos, de una madre y su hija, ambas con diversidad funcional visual. Los RPs obtenidos

muestran la presencia conspicua de estructuras de bloques, tal como se señala en la bibliografía para datos categóricos. Dichas estructuras son señaladas como responsables de sesgos al momento de la estimación de las medidas del análisis de recurrencias, tales como la entropía ENT (Leonardi, 2018).

Se compararon dos medidas de ENT sobre dichos datos categóricos para medir el grado de desorden del sistema o la cantidad de incertidumbre que posee (Marwan et al., 2007). A partir de su definición, es esperable que cuanto más predecible sea un sistema, menor sea el valor de ENT. En sistemas muy imprevisibles, ENT alcanzaría valores máximos (Leonardi, 2018).

Los resultados para la situación de caminata de la díada mostraron que los valores de ENT_L, (entropía basada en las líneas diagonales del RP, según definición original), son distintos a los de ENT_B (basada en las áreas de los bloques rectangulares, definición alternativa para series categóricas). Se observa que la medida tradicional arroja valores de ENT_L que tienden a ser similares entre las diferentes categorías, mientras que la medida propuesta por Leonardi (2018) permite evidenciar claras diferencias entre ellas.

De acuerdo con el análisis observacional es esperable encontrar diferencias entre los valores de cada categoría, lo cual se ve reflejado en los resultados de la estadística descriptiva. Cabe destacar que los eventos de *detención* y *rodeo* corresponden a situaciones de la marcha que suceden de manera esporádica, mientras que la *sincronización* o la *no sincronización* de la marcha constituyen eventos frecuentes. La duración promedio de los eventos ronda entre los 3 y 3.5 s, excepto para la *sincronización* de la marcha que es menor (~1.5 s).

Los bajos valores de entropía observada en ENT_B para las categorías de *detención* y *rodeo* pueden estar relacionados con la baja variabilidad y en frecuencia de aparición de los eventos en el RP. Si un evento ocurre con muy poca frecuencia, la variabilidad de las estructuras recurrentes asociadas a su aparición tenderá a ser escasas, lo que se refleja en la medición como una entropía más baja. En nuestro caso observamos que en varios segmentos para la categoría *rodeo* o *detención*, solo aparecía un bloque de recurrencia para el intervalo analizado. En estos casos la ENT_L es naturalmente mayor que ENT_B debido que para calcular la primera se considerarán todas las longitudes de las diagonales contenidas en el bloque, mientras que ENT_B será nula, dado que en la Ec. 2 se tendrá $p(a) = 1$ y $\ln(1) = 0$.

Debido a la diferencia en la longitud de las piernas de la madre y la hija, resulta esperable que el ciclo de los pasos pierda sincronización durante la caminata. Así, estas características son adecuadamente evidenciadas en términos dinámicos con las medidas de ENT_B, que son mucho menores para *detención* y *rodeo* respecto a los observados para *sincronización* y *no sincronización* de la marcha. Por su parte, los máximos valores de ENT_B observados en la categoría *no sincronización* reflejan el carácter impredecible de la dinámica de esta modalidad de marcha. Además, la *sincronización* de la marcha evidenció un menor valor promedio de ENT_B respecto a la *no sincronización*. Esto sugiere una mayor flexibilidad en el uso de esta última respecto a la primera. También resulta coherente con observaciones cualitativas realizadas en los episodios de videos que muestran que la marcha no sincronizada se hizo evidente precisamente en situaciones imprevistas, como el repentino interés de la niña por eventos que llamaban su atención.

Este estudio comparativo confirma la validez empírica de la propuesta de Leonardi (2018) para estimar la entropía en el RQA con series temporales categóricas. A diferencia del artículo de referencia, que utilizó datos simulados, aquí se pudo demostrar su aplicación a datos reales del comportamiento de una díada.

Por último, cabe mencionar que, para series de datos continuos, también existen discusiones sobre una estimación alternativa a la forma original de cálculo de la ENT. En estos casos, la necesidad no surge por la formación de estructuras con forma de bloque, sino por el impacto que tiene sobre el cálculo el truncado o el efecto borde al realizar análisis por tramos (Corso et al., 2018; Webber, 2022).

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por CONICET, Argentina (PIP 11220210100187CO. RESOL-2022-1927); la Universidad Tecnológica Nacional, Argentina (PID 8424); y la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica, Argentina (PICT 2018-2260 y PICT 2018-4953).

Referencias

Bastos, J. A., & Caiado, J. (2011). Recurrence quantification analysis of global stock markets. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, *390*(7), 1315–1325. https://doi.org/10.1016/j.physa.2010.12.008

Coco, M. I., Mønster, D., Leonardi, G., Dale, R., Wallot, S., Dixon, J. D., Nash, J. C., & Paxton, A. (2024). *crqa: Unidimensional and Multidimensional Methods for Recurrence Quantification Analysis* (2.0.6) [Computer software]. https://cran.r-project.org/web/packages/crqa/index.html

Corso, G., Prado, T. de L., Lima, G. Z. dos S., Kurths, J., & Lopes, S. R. (2018). Quantifying entropy using recurrence matrix microstates. *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, *28*(8), 083108. https://doi.org/10.1063/1.5042026

Cox, R. F. A., van der Steen, S., Guevara, M., de Jonge-Hoekstra, L., & van Dijk, M. (2016). Chromatic and Anisotropic Cross-Recurrence Quantification Analysis of Interpersonal Behavior. In Jr. Webber Charles L., C. Ioana, & N. Marwan (Eds.), *Recurrence Plots and Their Quantifications: Expanding Horizons* (pp. 209–225). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-29922-8_11

Greven, A., Keller, G., & Warnecke, G. (Eds.). (2003). *Entropy* (First Edition). Princeton University Press.

Krishnadas, M., Harikrishnan, K. P., & Ambika, G. (2022). Recurrence measures and transitions in stock market dynamics. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, *608*, 128240. https://doi.org/10.1016/j.physa.2022.128240

Leonardi, G. (2018). A Method for the computation of entropy in the Recurrence Quantification Analysis of categorical time series. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, *512*, 824–836. https://doi.org/10.1016/j.physa.2018.08.058

Marwan, N. (2008). A historical review of recurrence plots. *The European Physical Journal Special Topics*, *164*(1), 3–12. https://doi.org/10.1140/epjst/e2008-00829-1

Marwan, N. (2024). *CRP Toolbox* (5.29 (R38)) [Computer software]. https://tocsy.pik-potsdam.de/CRPtoolbox

Marwan, N., Carmen Romano, M., Thiel, M., & Kurths, J. (2007). Recurrence plots for the analysis of complex systems. *Physics Reports*, *438*(5), 237–329. https://doi.org/10.1016/j.physrep.2006.11.001

Mathunjwa, B. M., Lin, Y.-T., Lin, C.-H., Abbod, M. F., & Shieh, J.-S. (2021). ECG arrhythmia classification by using a recurrence plot and convolutional neural network. *Biomedical Signal Processing and Control*, *64*, 102262. https://doi.org/10.1016/j.bspc.2020.102262

Meyers, A., Buqammaz, M., & Yang, H. (2020). Cross-recurrence analysis for pattern matching of multidimensional physiological signals. *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, *30*(12), 123125. https://doi.org/10.1063/5.0030838

Nichols, J. M., Trickey, S. T., & Seaver, M. (2006). Damage detection using multivariate recurrence quantification analysis. *Mechanical Systems and Signal Processing*, *20*(2), 421–437. https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2004.08.007

Orsucci, F., Giuliani, A., Webber, C., Zbilut, J., Fonagy, P., & Mazza, M. (2006). Combinatorics and synchronization in natural semiotics. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, *361*(2), 665–676. https://doi.org/10.1016/j.physa.2005.06.044

Orsucci, F., Walter, K., Giuliani, A., Webber, J., & Zbilut, J. P. (1997). *Orthographic Structuring of Human Speech and Texts: Linguistic Application of Recurrence Quantification Analysis* (arXiv:cmp-lg/9712010). arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.cmp-lg/9712010

Pitsik, E., Frolov, N., Hauke Kraemer, K., Grubov, V., Maksimenko, V., Kurths, J., & Hramov, A. (2020). Motor execution reduces EEG signals complexity: Recurrence quantification analysis study. *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, *30*(2), 023111. https://doi.org/10.1063/1.5136246

Qian, Y., Yan, R., & Hu, S. (2014). Bearing Degradation Evaluation Using Recurrence Quantification Analysis and Kalman Filter. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, *63*(11), 2599–2610. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. https://doi.org/10.1109/TIM.2014.2313034

Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal*, *27*(3), 379–423. The Bell System Technical Journal. https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x

Sloetjes, H., & Wittenburg, P. (2008). Annotation by Category: ELAN and ISO DCR. In N. Calzolari, K. Choukri, B. Maegaard, J. Mariani, J. Odijk, S. Piperidis, & D. Tapias (Eds.), *Proceedings of the Sixth International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC'08)*. European Language Resources Association (ELRA). http://www.lrec-conf.org/proceedings/lrec2008/pdf/208_paper.pdf

Tommasini, F. C., Evin, D. A., Bermejo, F., Hüg, M. X., Barrios, M. V., & Pampaluna, A. (2022). Recurrence analysis of sensorimotor trajectories in a minimalist perceptual task using sonification. *Cognitive Processing*, *23*(2), 285–298. https://doi.org/10.1007/s10339-021-01068-9

Vrzakova, H., Amon, M. J., Stewart, A. E. B., & D'Mello, S. K. (2019). Dynamics of Visual Attention in Multiparty Collaborative Problem Solving using Multidimensional Recurrence Quantification Analysis. *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1–14. https://doi.org/10.1145/3290605.3300572

Wallot, S. (2017). Recurrence Quantification Analysis of Processes and Products of Discourse: A Tutorial in R. *Discourse Processes*, *54*(5–6), 382–405. https://doi.org/10.1080/0163853X.2017.1297921

Wallot, S., & Leonardi, G. (2018). Analyzing Multivariate Dynamics Using Cross-Recurrence Quantification Analysis (CRQA), Diagonal-Cross-Recurrence Profiles (DCRP), and Multidimensional Recurrence Quantification Analysis (MdRQA) – A Tutorial in R. *Frontiers in Psychology*, *9*. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02232

Webber, C. L. (2022). Alternate Entropy Computations by Applying Recurrence Matrix Masking. *Entropy*, *24*(1), Article 1. https://doi.org/10.3390/e24010016

Webber, C. L., & Zbilut, J. P. (1994). Dynamical assessment of physiological systems and states using recurrence plot strategies. *Journal of Applied Physiology*, *76*(2), 965–973.

https://doi.org/10.1152/jappl.1994.76.2.965

Xu, T. L., de Barbaro, K., Abney, D. H., & Cox, R. F. A. (2020). Finding Structure in Time: Visualizing and Analyzing Behavioral Time Series. *Frontiers in Psychology*, *11*. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01457

DISEÑO Y EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DE ALTERNATIVAS PARA LA MEJORA DEL ABASTECIMIENTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE LA LOCALIDAD LOS AMORES

Carlos I. Sanseverinatti[1], Ulises Manassero[1], Maximiliano Muller[1], Marcos Agretti[1], Rodrigo Furlani[1]

[1] Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe, Centro de Investigación y Desarrollo en Ingeniería Eléctrica y Sistemas Energéticos (CIESE), Lavaise 610, CP 3000
ulisesmanassero@hotmail.com

Resumen

En los sistemas eléctricos, mantener un nivel estándar de abastecimiento es primordial para las empresas distribuidoras. El corte de energía puede generar penalizaciones por energía no suministrada. En ciertos casos, donde los aglomerados se encuentran al final del corredor de alimentación, esta tarea resulta un desafío. Un ejemplo es la localidad Los Amores, en el norte de la Provincia de Santa Fe, que se encuentra abastecida por una línea de media tensión con una topología radial muy extensa, que supera los 100 km en su troncal. Por sus características técnicas, es vital encontrar alternativas de diseño que minimicen la energía no suministrada. Este trabajo analiza varias propuestas para mejorar el abastecimiento en la localidad de Los Amores. Para ello, se estudian opciones convencionales, como la construcción de líneas y estaciones transformadoras, y enfoques innovadores, como operar la red como una micro-red con autoabastecimiento mediante inserción de energía renovable. La metodología se basa, en primer lugar, en modelar la red y simular escenarios típicos para evaluar las condiciones operativas. Luego, las alternativas se analizan mediante indicadores técnico-económicos. Los resultados muestran que, aunque tanto la construcción de infraestructura como el funcionamiento como micro-red cumplen con los requisitos técnicos, la primera opción tiene costos de instalación, operación y mantenimiento altos; mientras que la alternativa de la micro-red no solo elimina las penalizaciones por energía no suministrada, sino que también reduce costos de compra de energía y genera ingresos por el exceso de generación.

Palabras Clave: micro-red, energía no suministrada, indicadores técnico-económicos.

Introducción

En los últimos tiempos, diversos estudios estadísticos han demostrado una estrecha relación entre el desarrollo socio-económico de la población y la calidad del acceso a la energía de la misma (IRENA, 2017). Los conglomerados con mejores condiciones de abastecimiento eléctrico poseen mayores niveles de calidad de vida. Esta es una cuestión crítica en redes de tipología radial convencional donde, en función de la ubicación de la población en la red, puede presentar importantes inconvenientes en el servicio, como una alta tasa de cortes de suministro. En estos casos, es prioritario un análisis del estado de la red con el fin de realizar la propuesta de mejoras de la calidad del servicio eléctrico (Micangeli, 2020).
En general, estos análisis se tratan de diversos estudios técnico-económicos que pretenden hallar la alternativa de mejora óptima en la red que presente el menor costo posible (Shahzad, 2023). Por ejemplo, es posible plantear soluciones tradicionales como la expansión del sistema de distribución y transmisión eléctrico, o la repotenciación de Estaciones Transformadoras (ETs), etc. Sin embargo, en los últimos años, se han destacado propuestas no convencionales que se focalizan en sistemas distribuidos de alta inserción de energías renovables (Ferahtia, 2024). Estos enfoques definen a los sistemas eléctricos como microredes (MRs) (Berkery Lab, 2018). Las soluciones a los problemas de calidad de servicio desde esta perspectiva son prometedoras al permitir a la red funcionar en isla frente a la existencia de una contingencia simple, además de otorgar la posibilidad de obtener mayores beneficios económicos en comparación a las obras tradicionales. Sin embargo, resulta relevante un estudio detallado de la configuración de la MR, junto con los efectos de la misma en el sistema. Por ejemplo, en (Kneževic, 2024) se desarrolla una estrategia de control para MRs, en donde se busca la estrategia óptima para el despacho de energía entre energía renovable fotovoltaica y eólica, junto con almacenamiento de baterías, vehículos eléctricos y celdas de

hidrógeno. El objetivo del trabajo es obtener la configuración óptima que maximice el despacho de energía con el menor costo de red posible. En cambio, en (Loboichenko, 2024) se proponen diversas opciones para el uso de biomasa en MR, con diferentes métodos de integración y operación de plantas de biogás en las mismas. Se concluye que el uso e implementación de MR que incorporan biogás contribuirá a la independencia energética de los estados y al logro de los objetivos de desarrollo sostenible.
En este trabajo se presenta un estudio comparativo de obras tradicionales, y el diseño y configuración de una MR para mejorar la calidad de servicio eléctrico en la localidad Los Amores, Provincia de Santa Fe. En primer lugar, se realiza el modelado de la red con el fin de conocer el estado actual de las variables eléctricas de la misma. Luego, se proyectan las dos propuestas de mejora de la red para un período de estudio. Por último, se verifican los valores técnicos de la red, comprobando no solo el cumplimiento de la normativa, sino también la mejora del sistema, y finalmente se comparan indicadores económicos con el propósito de escoger la solución que presente el menor costo.

Metodología

La red de estudio pertenece a la localidad de Los Amores del Departamento Vera, ubicada al norte de la provincia de Santa Fe, y al sur lindante con la provincia de Chaco. En la actualidad, posee 203 usuarios en baja tensión. La distribución eléctrica para los usuarios se realiza en 13,2 kV conformada por tres Sub-Estaciones Transformadoras (SETs). El abastecimiento de la localidad se realiza de forma radial, a través de una línea aérea de media tensión (LAMT) en 13,2 kV, proveniente de la estación de rebaje (ER) 33/13,2 kV Cañada Ombú, ubicada en la localidad homónima. La línea que vincula ambos distritos recorre 25,12 km hasta llegar a la zona urbana de la localidad de Los Amores. A su vez, la ER Cañada Ombú es alimentada en 33 kV por la Estación Transformadora (ET) Reconquista, de 132/33/13,2 kV, conformando el corredor Reconquista - La Sarita - Garabato - Colmena - Intiyaco - Golondrina - Los Tábanos - Cañada Ombú. Este corredor se abastece a través de una LAMT troncal de 33 Kv del orden a los 135 km desde la ET Reconquista a la localidad en estudio. La Fig. 1 presenta las trazas de las LAMT de 33 kV y 13,2 kV en la zona de influencia del estudio.

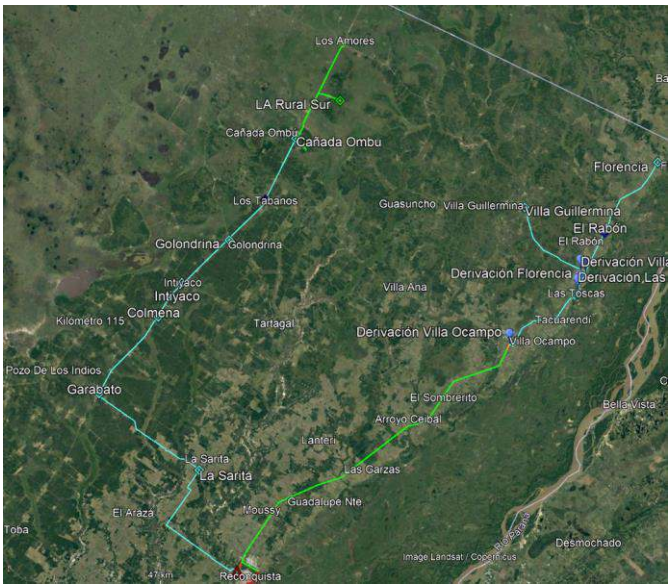


Fig. 1. Imagen satelital de trazas de LAMT en la zona de influencia del estudio. Referencias: LAMT de 33 kV, en color cian y LAMT de 13,2 Kv en color verde.

Se observa que la localidad Los Amores se ubica en una posición relativa de la red que representa altos riesgos de interrupciones del servicio eléctrico, debido a la posibilidad de fallas o perturbaciones en diferentes puntos de la línea, agravados por su topología radial. Además, debido

a la gran longitud de su troncal, se presentan importantes caídas de tensión en los nodos de carga más alejados de la ET Reconquista, que resultan inadmisibles.
Con el fin de determinar la calidad del servicio técnico de la red, en relación a la energía no suministrada (ENS), se analizan dos factores definidos en la normativa del Ente Nacional de Regulador de la Electricidad (ENRE) (ENRE, 2017): la frecuencia de las interrupciones de energía (cantidad de veces que se interrumpe servicio a un usuario; máx. permitido de 4 interr./semestre) y la duración de la interrupción (máx. permitido de 3 hs/interr.). Los valores de estos factores medidos en la red de Los Amores son:

- Frecuencia de interrupciones: 24,8 interrupciones/año (12,4 interrupciones/semestre).
- Tiempo máximo de interrupción: 2,96 horas/interrupción.

En función de los datos obtenidos con respecto a los establecidos por la normativa, se observa que la red analizada no cumple con los estándares de calidad. Por lo tanto, resulta de vital importancia proponer alternativas de obras con el fin de disminuir al mínimo posible la ENS a los usuarios.

Modelado de la red

Con el fin de analizar los impactos técnicos de cada obra propuesta, se realiza el modelado de la red en un software de simulación. Se escoge, en función a las herramientas disponibles, el software ETAP 19 versión estudiantil que permite realizar el modelado de redes eléctricas y la simulación de flujos de carga en diferentes escenarios. Para este caso particular, se consideraron las siguientes hipótesis de estudio:

- El modelo Base corresponde al estado actual de la línea generado con mediciones reales de las demandas, a partir de los cuales se desprende el escenario Base Pico (máxima demanda) y el escenario Base Valle (mínima demanda).
- Niveles de calidad del producto técnico exigidos en el Anexo 27 de los procedimientos de CAMMESA (CAMMESA, 2021).
- Límite de capacidad de transmisión de potencia de las líneas según el límite térmico impuesto por sus conductores.
- Se consideran aceptables los valores de tensión que se encuentren dentro del rango 0,93 – 1,07 por unidad (pu) en barras de 33 y 13,2 kV.
- Factor de potencia de las demandas igual a 0,85 inductivo.
- Las cargas de cada localidad se modelan en forma concentrada en cada nodo correspondiente.
- Se considera un equivalente de red que representa su punto de conexión con el Sistema Argentino de Interconexión (SADI).

El modelo de la red se observa en la Fig. 2. Los diferentes colores representan los niveles de tensión de cada barra (rojo: 132 kV, azul: 33 kV, verde 13,2 kV).
Para el modelado de la demanda de la red eléctrica de Los Amores se utilizaron las mediciones de consumo provistas por la Empresa Provincial de Energía de Santa Fe (EPESF) en los nodos de carga de dicha localidad. Los datos obtenidos indican el consumo de corriente a lo largo de todo un año, con un paso temporal de 30 minutos, totalizando 17520 mediciones de corriente. Teniendo en cuenta las mediciones, y la tensión correspondiente a los nodos intervinientes, los datos se trasladaron a valores de potencia.

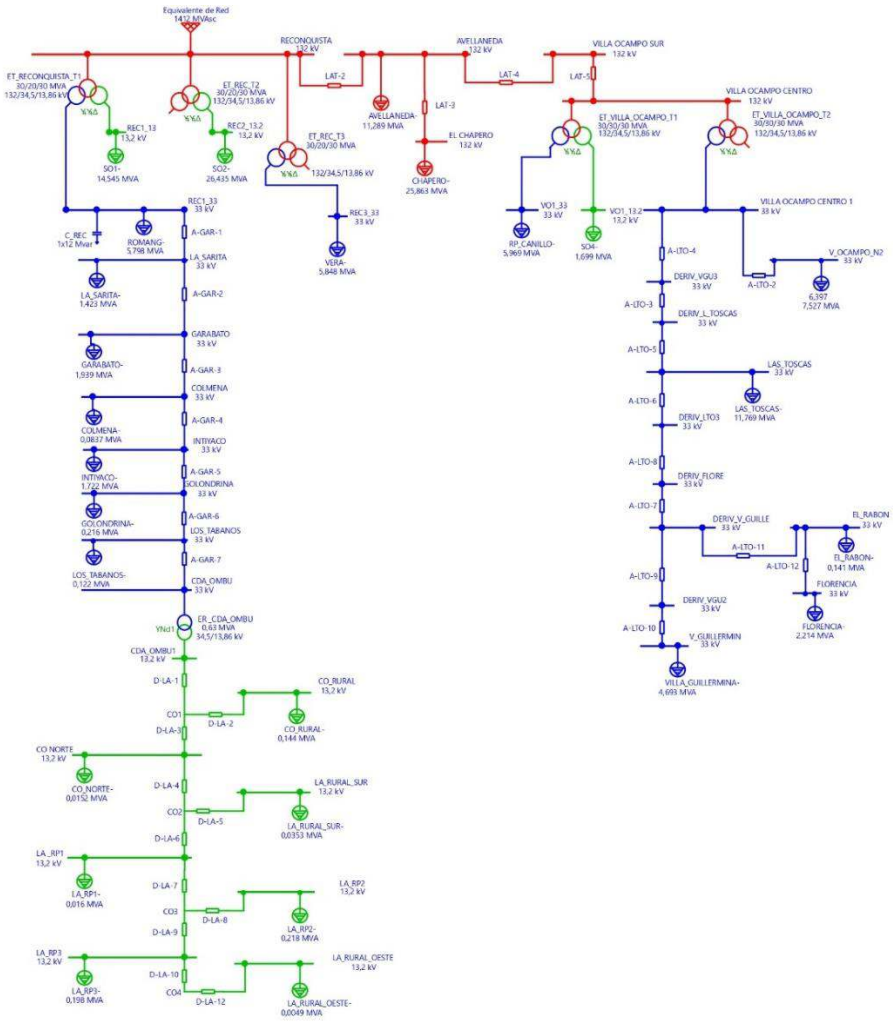


Fig. 2. Esquema unifilar modelado de la red completa en estudio. Referencias: Rojo: 132 kV; azul: 33 kV; verde: 13,2 kV.

Los valores de tensión, cargabilidad de conductores y de transformadores en condiciones Base tanto Pico como Valle se presentan en la Fig. 3 y Fig. 4 respectivamente.

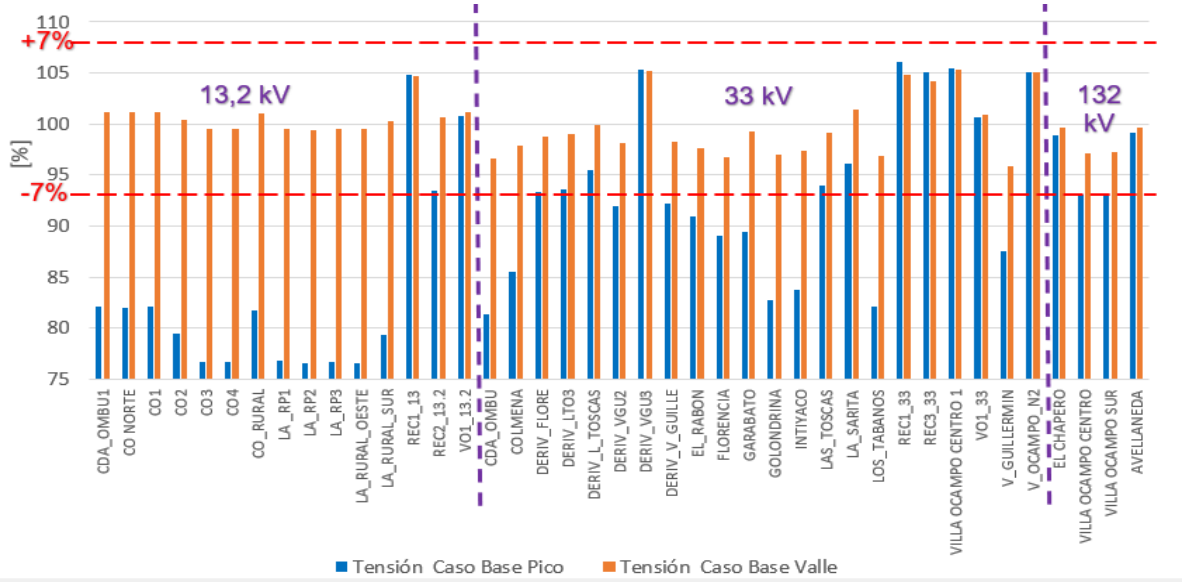


Fig. 3. Tensiones porcentuales de las barras de la red en estudio para los escenarios Base de mínima (Valle) y máxima (Pico) demanda.

Se observa que, para el caso Base Pico, se registran valores de tensión muy bajos, en algunos casos llegando al orden del 76% de la tensión nominal, fuera del rango admisible de ±7%. Por otra parte, para el caso Base Valle se mantienen condiciones de operación admisibles.
A partir de la Fig. 4 se observa que, para ambos escenarios de demanda, las líneas no exceden los límites térmicos de cargabilidad. Por otro lado, se advierte que el transformador de la estación de rebaje (ER) Cañada Ombú (ER_CDA_OMBU) muestra una sobrecarga del 8,1%, y en el Transformador 2 de la ET Villa Ocampo (ET_VILLA_OCAMPO_T2-P), una leve sobrecarga del 0,4%. Es importante señalar que las sobrecargas identificadas no representan un problema significativo en el corto plazo, ya que se consideran leves a moderadas, y los transformadores tienen la capacidad de trabajar por encima de su capacidad de diseño durante ciertos períodos de tiempo sin sufrir daños graves. No obstante, para asegurar la continuidad y la eficiencia del sistema eléctrico, es recomendable evitar la sobrecarga en la ER Cañada Ombú.

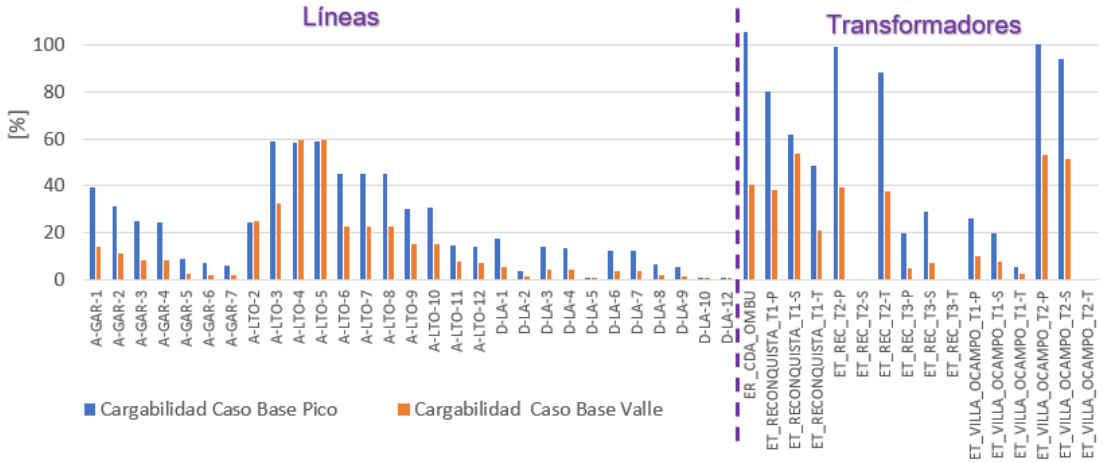


Fig. 4. Cargabilidad de las líneas y transformadores para escenarios Base de mínima (Valle) y máxima (Pico) demanda.

Obras de mejoras en la red

En las secciones siguientes se exponen las distintas alternativas de obras planteadas con el propósito de mejorar las condiciones actuales de la red. La comparativa de los indicadores técnicos y económicos de cada propuesta será tratada en el apartado de Resultados y Discusiones.

Propuesta tradicional de obras

Existen diferentes alternativas convencionales para la mejora de la red en estudio, como la instalación de una nueva ET o ER; la construcción de un nuevo tendido de LAMT de 33 kV entre otra localidad cercana; o la utilización de equipos de soporte reactivo para mejorar los perfiles de tensión, como bancos de capacitores o reguladores de tensión (RAT). La elección de la alternativa depende de las ventajas que esta misma presente en función a las otras.
Para la red en estudio, se decide la instalación de una nueva LAMT de 33 kV de 68,4 km de longitud y conductor de sección 95/15 Al/Ac que conecte la ET Villa Ocampo a la ER Cañada Ombú (LN_OBRA_4 en la Fig. 5). Se plantea también la repotenciación de la ER Cañada Ombú colocando un transformador 33/13,2 kV de 0,63 MVA en paralelo con el que se encuentra operativo (Fig. 6), de manera de disminuir el nivel de cargabilidad del transformador actual, y la instalación de un RAT (ver Fig. 5) en el nodo de 33 kV de Garabato de 150 A de corriente nominal (la capacidad del dispositivo se obtuvo en función a la tensión y potencia nominal aguas abajo del corredor). Se pretende que la nueva LAMT no funcione en anillo con el esquema de red base, sino que entre en servicio únicamente en caso de que no se tuviera suministro en el corredor RECONQUISTA-GARABATO-CDA_OMBU, a causa de algún desperfecto o corte programado.

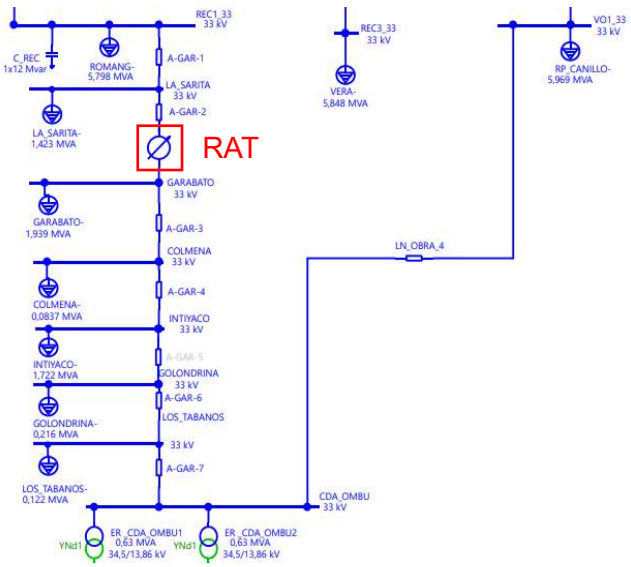


Fig. 5. Construcción LAMT de 33 kV entre ET Villa Ocampo y ER Cañada Ombú, e instalación de RAT en barra de GARABATO.

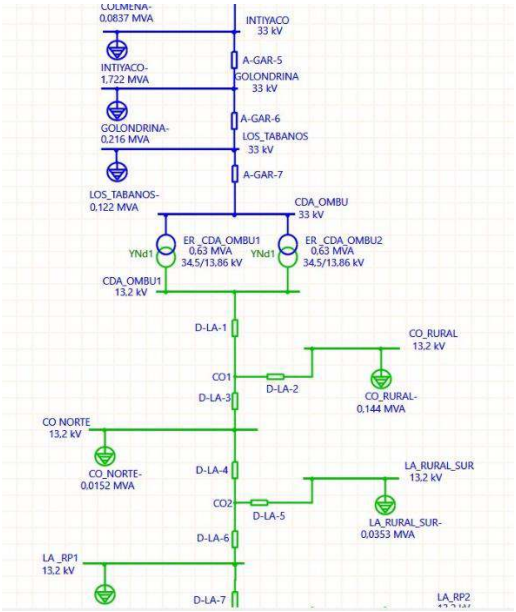


Fig. 6. Repotenciación de ER Cañada Ombú con transformador en paralelo de 0,63 MVA.

La elección de las obras presentadas anteriormente se realiza luego de una búsqueda exhaustiva entre alternativas similares hasta obtener la combinación más conveniente de obras en términos de tensión admisible en nodos de carga y niveles de carga aceptables en LAMT y transformadores.

Propuesta Microred con inserción de energías renovables

En esta sección se plantea la mejora de la calidad de servicio de la red Los Amores desde una perspectiva enfocada en MRs. Esto significa que la red cuente con generación distribuida de alta inserción de renovables, de manera de poder funcionar como una MR, y mantener el abastecimiento a pesar de posibles contingencias aguas arriba.
En función de los datos geo-climáticos del lugar, las fuentes de energía renovable posibles de aprovechar son tres: solar fotovoltaica, eólica, y biogás/biomasa. De acuerdo a valores de temperatura e irradiancia, velocidades de viento, y actividades agroganaderas de la zona, se concluye que la única generación factible es la solar fotovoltaica. La velocidad del viento, aunque homogénea, alcanza sólo los valores mínimos límite para que la turbina comience a operar, mientras que la baja actividad agraria no es suficiente para aportar la materia prima necesaria para la producción de energía a través de biogás o biomasa (Energydata (1), 2023). Por otro lado, los niveles de irradiancia y temperatura resultan óptimos para el aprovechamiento de energía fotovoltaica (Energydata (2), 2023). Es importante señalar que a los sistemas de generación se les acoplan sistemas de almacenamiento, ya que este tipo de generación es no gestionable. Debido a que son un complemento óptimo para la generación fotovoltaica en función a los rendimientos y a la facilidad de operación, se eligen baterías de ion-litio como sistema de almacenamiento (Shahzad, 2023).
Para este caso de estudio se han escogido paneles del tipo monocristalino, que, aunque tengan mayor costo de inversión, presentan el mejor rendimiento. La estrategia de control de la MR se basa, de manera resumida, en alimentar las cargas por PFV siempre que la demanda sea menor a la generación. El excedente de energía se utiliza para cargar las baterías. En el caso de ser superada la generación por la demanda, utilizar la alimentación de la red de Media Tensión (MT).

Hipótesis simplificadoras y definición de variables económicas

Para realizar el análisis de las obras en la red, en lo respectivo a las consideraciones técnicas, se enfoca principalmente en los valores de tensión de las barras, y la cargabilidad de las líneas y

transformadores. Para la comparativa económica, se asumen todos los valores en USD, y se consideran las siguientes hipótesis:

- El precio de compra de energía es el promedio indicado en el informe anual de CAMMESA (CAMMESA. 2022).
- El precio de venta de energía es el estipulado del Programa Prosumidor II (EPESF, 2023).
- Tasa de inflación anual en USD: 3%; tasa de descuento anual en USD : 8%; tasa efectiva anual (TEA): 3%.
- Vida útil del proyecto: 25 años.

Los costos a considerar, así como las variables económicas a comparar, se resumen a continuación:

- Costo Anualizado: Es una medida estandarizada del costo de un financiamiento, que incorpora todos los costos y gastos inherentes a la adquisición y mantenimiento de un determinado elemento, y se expresa en USD/año. A partir de este costo se realizan los flujos de caja.
- Costo de ENS: penalizaciones impuestas por ENS.
- Costo Inversión: costo de compra del elemento en particular.
- Valor Actualizado Neto (VAN): Es un criterio de inversión que consiste en actualizar los cobros y pagos de un proyecto para conocer las ganancias o pérdidas de esta. Su cálculo se realiza a partir de los flujos de dinero, la inversión, y el tipo de descuento o interés para el período de estudio (Ec. 1).

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^{\mathrm{n}} \frac{F_t}{(1+i)^t} \quad (1)$$

  Donde F_t es el flujo de dinero en cada período t; I_0 es la inversión realizada en el momento inicial (t = 0); n es el número de períodos, e i es el tipo de descuento o interés exigido a la inversión.
- Tasa Interna de Retorno (TIR): Cuando el VAN se fija en cero, la fórmula de la TIR calcula los flujos de efectivo interrumpidos de un proyecto o inversión. Lo hace de acuerdo con una estimación del valor de un proyecto futuro, basándose en los beneficios estimados en comparación con los gastos estimados (Ec. 2).

$$TIR = \sum_{t=1}^{n} \frac{F_t}{(1+\mathrm{i})^t} - I_0 \quad (2)$$

Resultados y discusiones

A continuación, se presentan los resultados técnico-económicos de las simulaciones, comenzando por el análisis de las variables eléctricas para luego avanzar con la comparativa de costos.

Evaluación técnica

La Fig. 7 presenta una gráfica comparativa de los perfiles de tensión en barras de carga para el escenario de máxima demanda (Pico) de las dos propuestas de mejora. Se considera solo este caso y no el de mínima demanda debido a que es donde se han medido tensiones inadmisibles en la red base. Se observa que, tanto para la obra convencional como para la MR, no existe ninguna barra fuera de los límites de voltaje exigidos por la normativa. Esto significa en una mejora en comparación al caso Base, donde existían barras con hasta un 76% de valores de tensión.

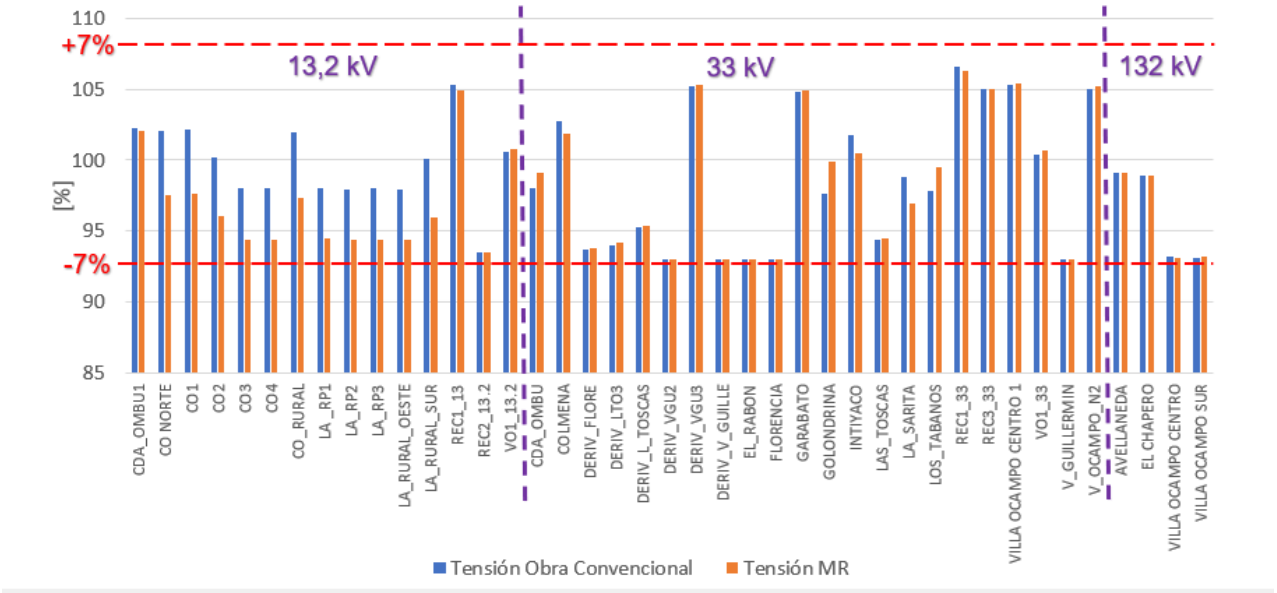


Fig. 7. Tensiones porcentuales de las barras de la red en estudio para escenario de Pico de demanda. Comparación de alternativa de obras

Con respecto a la cargabilidad, la Fig. 8 presenta los niveles para escenario Pico tanto de la obra convencional como de la MR. Se observa que ninguna LAMT ni transformador supera los límites admisibles de cargabilidad.

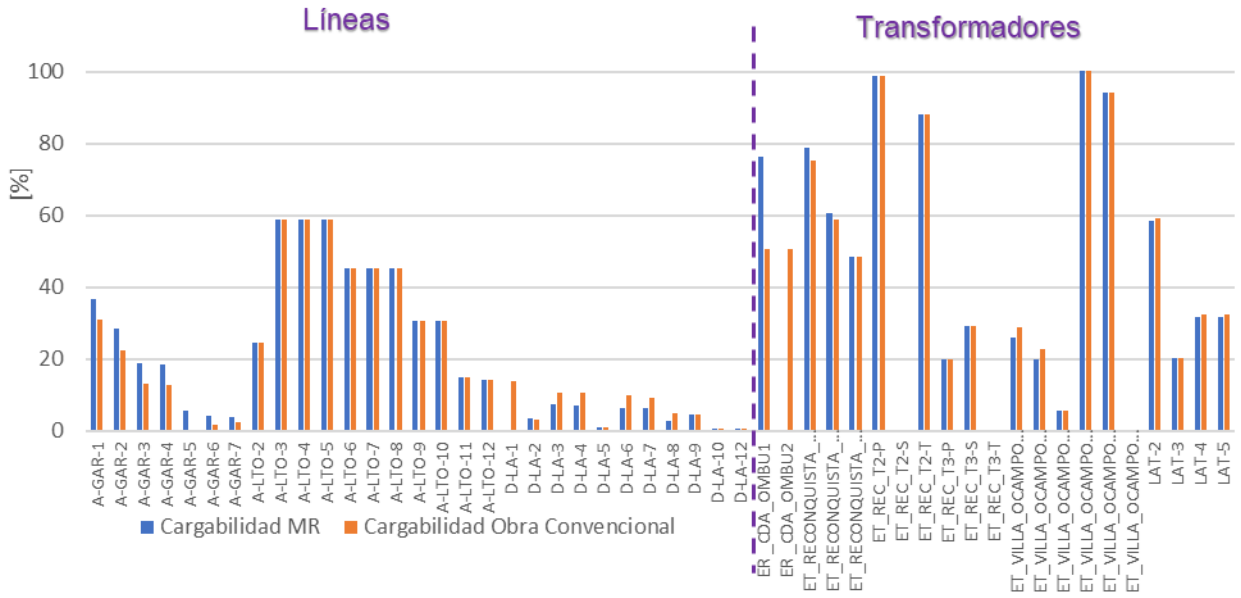


Fig. 8. Cargabilidad de las líneas y transformadores para escenarios Base de mínima (Valle) y máxima (Pico) demanda.

Evaluación y comparativa económica

Una vez verificado el cumplimiento de las condiciones técnicas de ambas propuestas de mejoras a la red, se procede a evaluar los indicadores económicos, con el fin de escoger la alternativa de menor costo. Para esto, se utilizan los indicadores de rentabilidad VAN y TIR detalladas anteriormente.

Para la obtención del VAN y TIR de cada una de las alternativas, resulta necesario, a su vez, la obtención del flujo de fondos respectivo. Para ello, se procede a listar el detalle de costos e inversiones correspondientes a cada una de las alternativas, así como los propios de la red actual,

es decir, sin mejoras. Cabe aclarar que la evaluación de rentabilidad económica se circunscribe a la localidad de Los Amores.

Costos de la red actual, obra convencional, y MR

Los costos generados en la red actual se desprenden del valor de la energía comprada a la red, y de las penalizaciones impuestas por la ENS por encima de los límites permitidos por ENRE. La cantidad de energía, así como la ENS calculada, hace referencia a la energía promedio consumida por la localidad de Los Amores y a las interrupciones definidas en la sección Metodología. Los costos obtenidos se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1. Costos caso Base.

Elemento	Precio unitario	Cantidad (kWh)	Total (USD)	Tipo de costo	Observaciones
Precio Compra energía (USD/kWh)	0,087	597.892	52.016,6	Costo anual	Costo de compra de energía durante un año para Los Amores.
Costo ENS (USD/kWh)	1,4	29.497	41.295,5	Costo anual	Penalización anual ENS proporcional Los Amores para energía por encima del límite establecido por ENRE.

Los costos correspondientes a la primera alternativa a analizar se desprenden, por un lado, de la inversión inicial correspondiente a cada uno de los nuevos elementos a instalar, es decir, línea, transformador y RAT; y, por el otro, de los costos de mantenimiento propio de cada uno de estos elementos. Además, se mantiene el precio de compra de energía invariable respecto del caso base, pero se elimina la penalización por ENS por encima del límite permitido, ya que el diseño de esta alternativa se focaliza en el cumplimiento de los requerimientos exigidos por ENRE. Los resultados obtenidos se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2. Costos obra convencional.

Elemento	Precio unitario	Cantidad (kWh)	Total (USD)	Tipo de costo	Observaciones
LAMT Rural Convencional 33 kV ST 95/15 Al/Ac (USD/km)	40.477	68,4	2.768.674	Inv. Inicial	-
Transformador 33/13,2 kV 630 kVA (USD)	21.799	2	43.598	Inv. Inicial	Incluye estación de rebaje en Los Amores
RAT 33 kV 150 A (USD)	63.057	1	63.057	Inv. Inicial	
Campo de línea de 33 kV (USD)	192.952	1	192.952	Inv. Inicial	
Operación y mantenimiento preventivo (USD)	86.260	1	86.260	Costo anual	Calculado como 3% de elementos a mantener
Precio Compra energía (USD/KWh)	0,087	597.892	52.017	Costo anual	Costo de compra de energía durante un año

De la misma manera, los costos propios de la alternativa de MR consisten tanto en la inversión inicial de la adquisición e instalación de los elementos nuevos a la red, como de su posterior operación y mantenimiento. En este caso, además, se suma el costo de reemplazo de los elementos cuya vida útil sea menor al período de análisis de la inversión, así como el valor excedente de

aquellos que la superen. En función a las simulaciones, se observa una reducción en la energía comprada a la red, así como un ingreso proveniente del exceso de generación que se vende a esta. Los resultados obtenidos se detallan en la Tabla 3.

Tabla 3. Costos MR.

Elemento	Precio unitario	Cantidad (kWh)	Total (USD)	Tipo de costo	Observaciones
Paneles	1000 [USD/kWp]	196	196000	Inv. Inicial	-
Baterías	790 [USD/kWh]	524	413960	Inv. Inicial	Reemplazo a los 15 años.
Inversor	500 [USD/kW]	125	62500	Inv. Inicial	Reemplazo a los 15 años.
RAT 33 kV 150 A	63057	1	63057	Inv. Inicial	-
Mant. Paneles	6,3 [USD/kWh]	196	1235	Costo anual	-
Mant. Baterías	8 [USD/kWh]	524	4192	Costo anual	-
Mant. Inversor	15 [USD/kWh]	125	1875	Costo anual	-
Precio Compra energía de red	0,087 [USD/kWh]	402596	35026	Costo anual	Costo de compra de energía durante un año.
Precio Venta energía a red	0,021 [USD/kWh]	90840	1908	Ingreso anual	Ingreso por venta de exceso energía a red.
Valor excedente Baterías	790 [USD/kWh]	174,67	137987	Ingreso último año	Ingreso por excedente después de 25 años.
Valor excedente Inversor	500 [USD/kWh]	41,67	20833	Ingreso último año	Ingreso por excedente después de 25 años.
Valor excedente PFV	100 [USD/kWh]	196	1960	Ingreso último año	Ingreso por excedente después de 25 años.

Una vez definidos los costos indicados en la Tabla 1, Tabla 2 y Tabla 3 se confeccionaron los flujos de fondo correspondientes a cada una de las opciones. Los mismos, se presentan gráficamente en las Fig. 9 y 10.

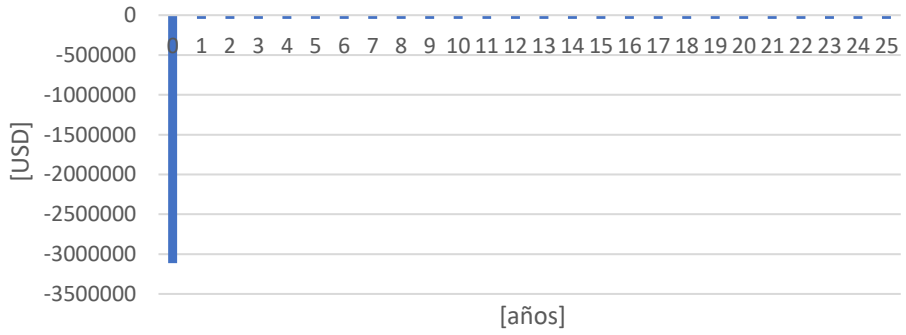


Fig. 9. Flujo de fondo para construcción de LAMT (Obra Convencional).

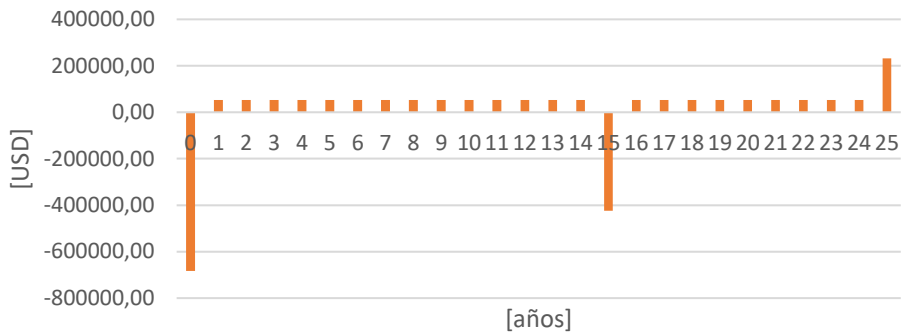


Fig. 10. Flujo de fondos para instalación de MR.

Finalmente, a partir de los flujos de fondos presentados, se obtienen los resultados de los indicadores de rentabilidad, indicados en la Tabla 4.

Tabla 4. Indicadores de rentabilidad.

Variable	Obra Convencional (Nueva LAMT)	MR
TIR Anual	-	3,28 %
VAN	-$3.896.217	$17.786

A partir de la observación de la Fig. 9, resulta evidente la inviabilidad de la readecuación de la LAMT planteada. Por otro lado, de la Tabla 4 se observa que el valor de VAN resulta no representativo, así como imposible obtener el TIR, debido a que todos los valores del flujo de fondos son negativos.
Por su parte, para la alternativa de la MR, la Fig. 10 presenta un flujo de caja de distribución acorde a lo esperado, es decir, un ingreso negativo importante al comienzo del proyecto, y una serie de ingresos positivos (ahorros respecto de caso Base) a lo largo de su vida útil. Cabe destacar que, en el período 15, se observa un incremento en los costos debido a la reposición de baterías e inversor, cuya vida útil es 10 años menor al tiempo de evaluación del proyecto. A su vez, en el último año de evaluación, se da un incremento de las ganancias, que resulta del valor residual excedente de los elementos que no cumplieron la totalidad de su vida útil. Según se evidencia en la Tabla 4, la alternativa de MR presenta un VAN positivo y un TIR de 3,28%, que es mayor al 3% que se asumió para la TEA del mercado, lo que la convierte en una opción rentable y conveniente.

Conclusiones

Los principales problemas técnicos observados en la localidad de Los Amores incluyen una alta tasa de cortes de suministro, así como altos tiempos de reparación, lo que deriva en una falta de confiabilidad de la red de distribución eléctrica, así como el incumplimiento de los requerimientos técnicos exigidos por ENRE. Dichos problemas surgen por la característica radial de la alimentación, ubicándose Los Amores al final del recorrido del corredor, caracterizado por largos tramos de línea alimentados con instalaciones inadecuadas. En este trabajo se compararon dos alternativas: primeramente, una opción convencional a partir de obras y readecuaciones de la red existente; seguidamente, una propuesta innovadora, por medio de la instalación de una MR alimentada por paneles fotovoltaicos. A partir de las evaluaciones técnicas llevadas a cabo, se observa que ambas propuestas cumplen su objetivo, presentando mejoras a la calidad del producto y del servicio técnico en la localidad. En este aspecto, el principal problema se observa en las altas penalizaciones por ENS, que superan ampliamente los permitidos por ENRE.
Si bien ambas soluciones resuelven ese inconveniente, la instalación de la LAMT presenta un costo muy alto, tanto de instalación como de operación y mantenimiento, lo que la vuelve una opción económicamente inviable. Sin embargo, esto no ocurre con la alternativa de la MR, que no solo resuelve las penalizaciones por ENS, sino que presenta tanto ahorros en la compra de energía a la red, como ingresos propios por los excedentes de generación renovable vertidos hacia la misma

red. Por los expuesto con anterioridad, se concluye que la instalación de una MR de características resulta la solución más apropiada para los problemas identificados en la localidad de estudio.
Finalmente, cabe destacar que la inviabilidad de la primera alternativa resulta propia de circunscribir las evaluaciones a la localidad Los Amores, ya que la construcción de una LAMT de las dimensiones planteadas representaría una mejora importante en todo el corredor, disminuyendo considerablemente las interrupciones de suministro, así como las penalizaciones por ENS. Sin embargo, por el alcance de este trabajo, las soluciones implementadas se limitan a la localidad de estudio.

Referencias

Berkery Lab. (2018). Microgrids definitions. Recuperado de https://gridintegration.lbl.gov/microgrid-definitions

Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico S.A. (CAMMESA). (2021). Los procedimientos - Anexo 27: "Reglamentación aplicable a la presentación adicional de la función técnica de transporte de la energía eléctrica firme en el mercado eléctrico mayorista". Recuperado de cammesaweb.cammesa.com

Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico S.A. (CAMMESA). (2022). Informe Anual 2022. Recuperado de https://cammesaweb.cammesa.com/informe-anual/?doing_wp_cron=1691961085.6065979003906250000000

Empresa Provincial de Energía Santa Fe (EPESF). (2023). Cargo Ley N° 12.692. Recuperado de https://epe.santafe.gov.ar/renovables/

Energydata (1). (2023). Global Wind Atlas. Recuperado de https://globalwindatlas.info/es

Energydata (2). (2023). Municipio de los Amores, Project detail. Global Solar Atlas. Recuperado de https://globalsolaratlas.info/detail?s=-28.103095,-59.977752&m=site&c=-28.103481,-59.977798,11

Ente Regulador de la Electricidad (ENRE). (2017). Normas de calidad del servicio público y sanciones para el periodo 2017-2021. Recuperado de https://www.enre.gov.ar/web/bibliotd.nsf/203df3042bad9c40032578f6004ed613/ac09d037c4af4b3e032580ba004d501b/$FILE/anexo%2016.pdf

Ferahtia S; Houari A; Cioara T; Bouznit M; Rezk H; Djerioui A. (2024). Recent advances on energy management and control of direct current microgrid for smart cities and industry: A Survey, Applied Energy, vol (368), pp. 123501. doi: https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.123501

International Renewable Energy Agency (IRENA). (Octubre 2017). Electricity storage and renewables: Costs and markets to 2030. Recuperado de https://www.irena.org/publications/2017/Oct/Electricity-storage-and-renewables-costs-and-markets.

Kneževic S.; Šošic D. (2024). Isolated Work of a Multi-Energy Carrier Microgrid, Energies, vol (17), pp. 2948. doi: https://doi.org/10.3390/ en17122948

Loboichenko V.; Iranzo A; Casado-Manzano M; Navas J.; Pino F.; Rosa F. (2024). Study of the use of biogas as an energy vector for microgrids, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol (200), pp. 114574. doi: https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114574.

Micangeli A.; Fioriti D.; Cherubini P.; Duenas-Martinez P. (2020). Optimal Design of Isolated Mini-Grids with Deterministic Methods: Matching Predictive Operating Strategies with Low Computational Requirements, Energies, vol (13), pp. 4214. doi: https://doi.org/10.3390/en13164214

Shahzad S.; Abbasi M.A.; Ali H.; Iqbal M.; Munir R.; Kilic H. (2023). Possibilities, Challenges, and Future Opportunities of Microgrids: A Review, Sustainability, vol (15), pp. 6366. doi: https://doi.org/10.3390/su15086366

INTRODUCCIÓN A LA INGENIERÍA QUÍMICA: ACTIVIDAD EXPERIMENTAL DE MEZCLA DE SÓLIDOS GRANULARES.

Milena V. Monesterolo, Aldana A. Chesta, Juan P. Iglesias, Santiago Barbuio

Grupo de Inv. en Simulación para Ing. Qca., FRVM de la UTN. Av. Universidad 450 – XGB5900
Villa María, Cba., Argentina.
Email: vaninamonesterolo.vm@gmail.com

Resumen

Se planea implementar un trabajo experimental como actividad demostrativa para estudiantes del nivel inicial de la carrera, cátedra Introducción a la Ingeniería Química, a efectos de introducir situaciones problemáticas representativas de los desafíos profesionales que deberán enfrentar en el mundo real.

Se plantea la necesidad de obtener una mezcla homogénea de sólidos, sin segregación, como situación problemática, especialmente cuando éstos difieren en propiedades físico químicas y/o geométricas, entre otras. Se propone una experiencia sencilla a escala de laboratorio, utilizándose un equipo de mezclado tipo doble cono, de vidrio pyrex con una capacidad de 950 mililitros, para mezclar dos variedades de granos de pimienta. La selección de materiales permite visualizar fácilmente la evolución de la operación.

Con el objetivo de optimizarla, se propone el uso de un indicador estadístico como el índice de mezclado. Se toman muestras periódicas determinando fracciones másicas de material por conteo para distintos tiempos de trabajo hasta alcanzar un valor estable que caracteriza la homogeneidad de la mezcla, dado por la desviación estándar que adquiere un valor mínimo y constante, logrando un grado óptimo de operación para dicho tiempo. Luego, la experiencia se repite modificando proporciones de los componentes, velocidad de rotación y recalculando dicho índice para cada nueva condición, proponiendo a los alumnos su análisis e interpretación de resultados.

Se prevé continuar la propuesta utilizando otros mezcladores de tipo W, cilindro horizontal, tipo Y, entre otros, disponibles en planta piloto que resultan ampliamente empleados a nivel industrial a efectos de comparar su comportamiento.

Como conclusiones se indica que se ha configurado una actividad experimental sencilla que permite proponer y resolver una situación real de proceso, familiarizando al alumno con equipamiento de simple manejo, resultando adecuado para observar y analizar cuestiones operativas, constituyendo un disparador para la discusión conceptual a nivel de grupos de trabajo.

Palabras Clave: Mezcla de sólidos, Índice de mezclado, Diseño experimental aplicado a la enseñanza.

Introducción

En el ámbito de la Ingeniería Química, la capacidad de abordar y resolver situaciones problemáticas es esencial para el desarrollo profesional de los estudiantes. El presente trabajo plantea la implementación de un diseño experimental como actividad demostrativa para los alumnos de nivel inicial, en el contexto de la cátedra Introducción a la Ingeniería Química. El objetivo es introducirlos a desafíos profesionales representativos de vida profesional mediante una experiencia práctica en el laboratorio.

La problemática específica abordada en esta actividad es la obtención de una mezcla homogénea de sólidos, sin segregación, a pesar de las diferencias en propiedades físico-químicas y/o geométricas de los materiales. Para ello, se ha diseñado una experiencia sencilla utilizando un

equipo de mezclado tipo doble cono de vidrio Pyrex, en el que se mezclan dos variedades de granos de pimienta. Este equipo permite una visualización clara de la evolución de la operación.

Con el propósito de optimizar el proceso de mezclado, se propone el uso de un indicador estadístico: el índice de mezclado. Se toman muestras periódicas para determinar las fracciones másicas de material por conteo durante distintos tiempos de operación, hasta alcanzar un valor estable que caracteriza la homogeneidad de la mezcla. Este se identifica mediante la desviación estándar, que adquiere un valor mínimo y constante, indicando el grado óptimo de mezclado para un tiempo específico.

Además, se modificó la velocidad de rotación del equipo, y se recalculó el índice de mezclado para cada nueva condición. Los alumnos debieron analizar e interpretar estos resultados. Se prevé continuar la propuesta utilizando otros tipos de mezcladores disponibles en la planta piloto, tales como el mezclador tipo W, cilindro horizontal, tipo Y, entre otros, para comparar su comportamiento.

Esta actividad experimental se propone como una herramienta didáctica efectiva que permite a los estudiantes visualizar y resolver situaciones reales de proceso, familiarizándose con equipamiento de fácil manejo y favoreciendo la observación y el análisis de cuestiones operativas. Además, actúa como un disparador para la discusión conceptual en el contexto de grupos de trabajo. A través de esta actividad, se desarrollan competencias específicas para el primer nivel de ingeniería química, tal como se establece en la planificación de la cátedra, permitiendo a los estudiantes adquirir habilidades fundamentales para su formación profesional.

Desarrollo

El mezclado de sólidos es una operación unitaria que consiste en integrar, reunir, incorporar, juntar, combinar dos o más sustancias con el fin de obtener un producto o subproducto. El objetivo principal es lograr la homogeneidad de mezclas de dos o más ingredientes sólidos. (Baumann et al., 2008; Mc.Cabe et al., 2007).

El comportamiento de los materiales granulares es de gran interés industrial y ha sido objeto de estudio e investigaciones por más de 200 años. Muchos parámetros están involucrados en el proceso de mezclado, algunos de ellos son la forma, tamaño y masa de las partículas, fuerzas de fricción, velocidad angular y llenado del tambor mezclador (Dury C. and Ristow G., 1997; Dai et al., 2024).

El mezclado es una operación fundamental en la fabricación de diversos procesos industriales, como alimentos, productos farmacéuticos, cerámicos, plásticos, detergentes, fertilizantes, entre otras. Estos requieren una mezcla homogénea de componentes para asegurar calidad y rendimiento. Se han presentado en la bibliografía diferentes técnicas experimentales y evaluaciones de eficiencia de mezclado para distintos tipos de mezcladores. La calidad y las propiedades finales de un producto dependen en gran medida de la uniformidad de la mezcla. Si ésta, es inadecuada, puede resultar en productos no homogéneos que carecen de consistencia en términos de composición química, color, textura, sabor, reactividad y tamaño de partícula (Arntz et al., 2008; Liu et al., 2018).

Por lo general cuando se trabaja con gases o líquidos, estos alcanzan la homogeneización, mientras que con los sólidos esto no ocurre, debido a que tienden a segregarse. La clasificación y caracterización de las mezclas y los procesos de mezclado se basa en la identificación de materiales particulados. Estas diferencias en las propiedades físicas pueden facilitar tanto la mezcla como la segregación de los componentes, lo que dificulta alcanzar el punto de homogeneidad óptimo (Muzzio et al., 2003; Mc. Cabe et al., 2007).

Por otra parte, el grado de uniformidad requerida dependerá del tipo de producto a realizar. La variación en la composición de un medicamento por lo general tiene una tolerancia mucho menor que en el caso de un alimento. Ésta, tampoco debe ser exagerada, debido a que cambios abruptos

alteran la calidad del mismo. La generación de una mezcla homogénea puede ser crítica en la calidad del producto final, por lo que el diseño y operación de mezclado resultan esenciales (Lin et al., 2024). Desafortunadamente, faltan herramientas para predecir cuantitativamente estos procesos. En la mayoría de los casos, los parámetros que producen un grado aceptable de mezcla se determinan empíricamente (Liu et al., 2018).

Se reconocen tres tipos de mecanismos de mezclado en sólidos: Convección, difusión y esfuerzos cortantes o de cizallamiento. El primero se produce con equipos de rotación o mezcla. El segundo cuando las partículas se desplazan sobre una superficie inclinada, por gravedad y el último se da cuando se utilizan superficies que ejercen fuerzas cortantes sobre los planos de deslizamiento entre las distintas regiones de las muestras. Generalmente durante el mezclado se produce una combinación de los mismos. (Gilbertson and Eames, 2003; Bancroft et al., 2021).

Los mezcladores son dispositivos que permiten que dos o más grupos de partículas sólidas diferentes, puedan moverse al azar, produciendo una distribución uniforme en un determinado tiempo. Existen distintos tipos, los cuales se adaptan a requerimientos específicos de cada industria. Entre los más comunes se encuentran los de cuerpo móvil, cilíndricos, cúbicos cónicos, bicónicos y en forma de v, y los de cuerpo fijo, como los de proyección y de tornillo helicoidal. En el caso de los mezcladores de tambor rotatorio, predomina el proceso difusivo, existiendo también un componente convectivo. En la figura 1 se muestra el mecanismo de mezclado en el equipo de doble cono. Éstos son adecuados para mezclar uniformemente polvos densos, sólidos granulares y materiales abrasivos. Se utilizan comúnmente para la fabricación de mezclas precisas cuando los componentes están presentes en trazas o cuando los ingredientes tienen diferente tamaño y densidad. Son ampliamente usados en la industria química, farmacéutica, de fertilizantes, pinturas, alimentos y otros. La geometría del recipiente permite una descarga rápida y completa del material mezclado (Rodas Cobos, 2015).

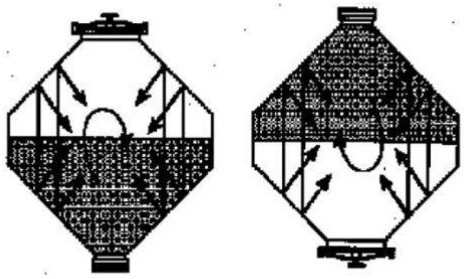


Fig. 1. Mecanismo de mezclado de doble cono. Fuente: Rodas Cobos, 2015.

Podemos diferenciar distintos tipos de mezclado, como podemos identificar en la figura 2. En la imagen de la izquierda se observa una mezcla perfecta. Ésta es imposible de lograr por medios mecánicos. En la del centro podemos visualizar una mezcla al azar y en la derecha una segregada. Este último caso es el que se trata de evitar.

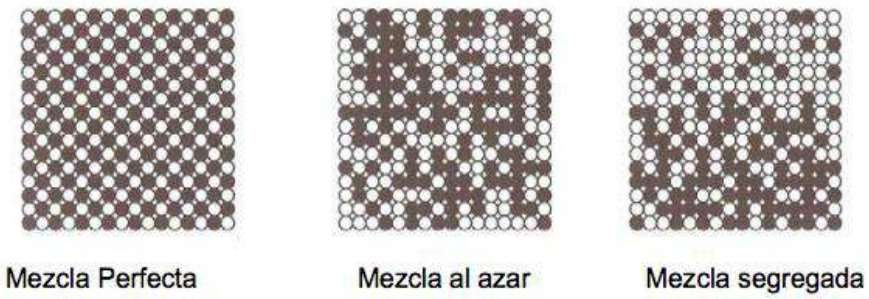


Fig. 2. Tipos de mezclado. Fuente: Rhodes, 1998.

El grado de mezclado se puede cuantificar por medio de métodos estadísticos. Las ecuaciones que se pueden utilizar son las del valor medio y la desviación estándar, presentadas en las ecuaciones 1 y 2, respectivamente (Alhwaige et al., 2008; Earle and Earle, 2004).

$$\bar{x} = \frac{\Sigma nixi}{n_0} \tag{1}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(xi - \bar{x})^2}{n-1}} \tag{2}$$

En donde n es el número de muestras obtenidas, x_i la fracción del componente que se desea contabilizar y $\bar{x}$ representa el contenido medio de las muestras.
Lacey (1943), determinó valores máximos σ_0^2 y minimo σ_R^2 cuando se tiene un sistema binario. La desviación estándar de la mezcla al azar se puede determinar según la desviación mínima, por medio de la ecuación 3.

$$\sigma_R^2 = p.\frac{q}{n_0} = \frac{p(p-1)}{n_0} \tag{3}$$

n_o es el número de partículas de la muestra, p y q son las fracciones de los dos componentes, en donde (p + q =1). Cuando la mezcla es al azar, el valor de la desviación es mínimo. Para una mezcla totalmente segregada es máximo. Ecuación 4.

$$\sigma_o^2 = p(p-1) \tag{4}$$

Por lo general, las diferencias en las desviaciones estándares, no alcanza para conocer el grado de homogeneidad. Por lo que se requiere determinar la desviación máxima. Para esto puede utilizarse el índice de mezclado, ecuación 5, también definido por Lacey (1954).

$$M_L = \frac{\sigma_0^2 - \sigma^2}{\sigma_0^2 - \sigma_R^2} \tag{5}$$

Donde σ es la desviación de la mezcla real. En esta ecuación M_L puede tomar valores entre 0 y 1. Siendo completamente segregada para 0 y para 1 mezcla al azar. Se han presentado en la bibliografía otras ecuaciones para índice de mezclado, las mas comunes se detallan en la tabla 1.

Tabla 1: Índices de Mezclado. Fuente: Schofied y Sutton, 1978.

Índice	Autor	Ecuación	Rango
1	Lacey (1954).	$M_1 = \frac{\sigma_0^2 - \sigma^2}{\sigma_0^2 - \sigma_R^2}$	0 a 1
2	Kramer (1988).	$M_2 = \frac{\sigma_0 - \sigma}{\sigma_0 - \sigma_R}$	0 a 1
3	Weideman y Bonilla (1955).	$M_3 = \frac{\sigma_R}{\sigma}$	<1 a 1
4	Ashton y Valentin (1996)	$M_4 = \sqrt{\frac{log\ log\ \sigma_0^2 - log\ log\ \sigma^2}{log\ log\ \sigma_0^2 - log\ log\ \sigma_R^2}}$	0 a 1
5	Poole, Taylor y Wall (1964)	$M_5 = \frac{\sigma}{\sigma_R}$	>>1 a 1
6	Carely, Macauley, Donald (1930)	$M_6 = \frac{\sigma^2 - \sigma_R^2}{(1-(1-n))}$	>>1 a 1

Si bien se han presentado algunas ecuaciones basadas en el estudio probabilístico, existen más de 30 ecuaciones diferentes. Esto se debe a que no todos los sólidos se caracterizan de la misma manera. En la mayoría el tiempo máximo de mezclado no debería superar los 15 min. Por encima de éste, puede generarse la segregación. Por lo general se origina por las propiedades de los sólidos, como la distribución de tamaño, forma, densidad, adhesión y cohesividad (cargas electrostáticas). Se han reportado algunos mecanismos de segregación, entre los que podemos nombrar segregación por trayectoria, dependiente del tamaño, densidad y viscosidad del medio, debido a que de esto dependerá la distancia recorrida por las partículas antes de detenerse, percolación por finos y ascenso de partículas grandes, ambos originados por el mismo fenómeno, en el cual las partículas pequeñas se concentran en el fondo y las de mayor tamaño en la parte superior. Para evitar este proceso se recomienda controlar los tamaños, trabajar con partículas con densidades parecidas, reducir las vibraciones, entre otras. (Vila,1997; Mc Cabe et al., 1991; Nema, 2023).

A partir del análisis de la teoría presentada a los alumnos y desarrollada anteriormente se propone el desarrollo de una prueba a escala piloto, sencilla para evaluar las bondades de un mezclador doble cono de vidrio, dicho equipo se describe en el apartado siguiente y se muestra en la figura 3. Se planteó como punto de partida, desarrollar una mezcla binaria de variedades de pimienta, para realizar un producto comercial.
Esta combinación de materias primas, esta presente en el mercado, posee características de interés culinario, brinda aroma y frescura a los alimentos aportando un sabor particular. La misma se comercializa en distintas presentaciones.
A partir de las diferentes mediciones realizadas se tratan de establecer parámetros de índice de mezcla y tiempos de mezclado.
En el desarrollo de la experiencia participaron aproximadamente 50 estudiantes de primer año del ciclo lectivo 2023, quienes trabajaron en el laboratorio durante 4 horas organizados en grupos reducidos, en un entorno diseñado para el desarrollo de tales actividades. Cabe aclarar que no todos los grupos realizan la práctica al mismo tiempo, debido a que son numerosos y el espacio físico del laboratorio es acotado, además, se cuenta con diferentes equipos de trabajo, tales como molinos, equipos de tamizados, entre otros, ubicados en el sector de la planta piloto de la facultad. Al finalizar la actividad los alumnos presentaron un informe por grupo, con la descripción de lo realizado, cálculos y gráficos correspondientes, además de una interpretación y análisis de los mismos. Posteriormente presentaron los resultados grupales, por medio de una exposición oral, lo que concluyó con un debate y discusión general. En el presente trabajo se muestra lo obtenido por uno de los grupos, sin embargo, es importante destacar que de manera general las conclusiones fueron similares. Se considera la posibilidad de implementar otras variantes para la operación tratada en un futuro, las cuales aun no han sido diagramadas, con el fin de continuar evaluando y optimizando los procesos de mezclado en condiciones controladas.

Materiales y métodos

Mezclador de vidrio tipo doble cono.
Balanza analítica.
Vasos de precipitado.
Cucharas.
Granos de pimienta (dos variedades, blanca y negra).

En la figura 3 se muestra el equipo de mezclado existente en el laboratorio de la FRVM de la UTN. Se dispone de un mezclador de doble cono fabricado en vidrio Pyrex, cuyo diámetro es de 120 mm y su capacidad es de 950 mililitros. Posee dos tapas roscadas desmontables de 45 mm, en la parte superior e inferior, que permiten la carga y descarga del mismo, así como la toma de muestras. Este equipo permite visualizar el proceso de mezcla de manera directa, lo cual es muy beneficioso para fines educativos. El recipiente está unido a un eje rotatorio accionado por un motor con variador de velocidad, el cual permite trabajar a diferentes velocidades.

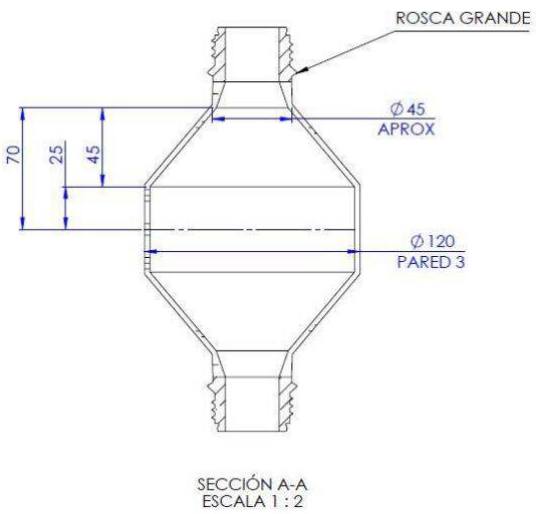


Fig. 3. Mezclador de vidrio tipo doble cono utilizado en la experiencia.

Las variedades de granos de pimienta negra y blanca, poseen colores que proporcionan un contraste visual. Esto permite observar fácilmente la homogeneidad y la segregación en el mezclado. Por otra parte, ambas variedades tienen propiedades físicas similares, como densidad y tamaño, por lo que no se introducen demasiadas variables para ser consideradas, pudiendo utilizarse las ecuaciones básicas, analizadas previamente.

Otra característica importante, es que son materiales no tóxicos y fáciles de manipular por los alumnos, lo cual hace que sea una actividad segura para realizar con alumnos del nivel inicial. Por último, se tiene en cuenta que es un ejemplo que refleja situaciones reales en procesos industriales, en donde debe alcanzarse una mezcla homogénea, que asegure la calidad del producto final.

Se realizó la carga del mezclador de doble cono con ambas variedades de granos de pimienta, asegurando una proporción inicial del 50% en peso, para cada tipo de grano. Este proceso se realiza a una velocidad de rotación mínima de 25 rpm. Esto minimiza la segregación y promueve la mezcla uniforme. Durante la experiencia, se toman muestras en intervalos de 1 minuto, recolectando alícuotas de cuatro puntos distintos del mezclador, para garantizar la representatividad.

Resultados y discusiones

Se obtuvo el índice de mezclado para cada muestra obtenida, considerando la desviación estándar de la proporción de las diferentes partículas en cada muestra y se continúa el proceso de mezclado hasta que el mismo alcance un valor constante, lo que indica que la mezcla ha logrado un estado de homogeneidad óptimo. En el caso de partículas granulares, se toman cuatro muestras con n partículas cada una. La fracción de cada tipo de partícula, x_i, se determinó mediante el conteo directo de cada clase.

Cabe destacar que, aunque haya finalizado el proceso de mezclado, la fracción de cada partícula, x_i, no será idéntica, en todas las muestras, debido a la probabilidad existente de tomar cantidades diferentes de cada una durante el muestreo. Es por esto que se determina la desviación estándar, respecto a la mezcla de origen (McCabe, 1991).

Del análisis visual, presentado en la figura 4 se puede observar el comportamiento de la operación en diferentes intervalos de tiempo. Esto permite visualizar patrones de flujo y el proceso de mezclado aleatorio. Durante los primeros minutos del proceso, la mezcla desarrolla un mecanismo de flujo convectivo, como se describe en la bibliografía para mezcladores de baja segregación. (Rodas Cobos, 2015).

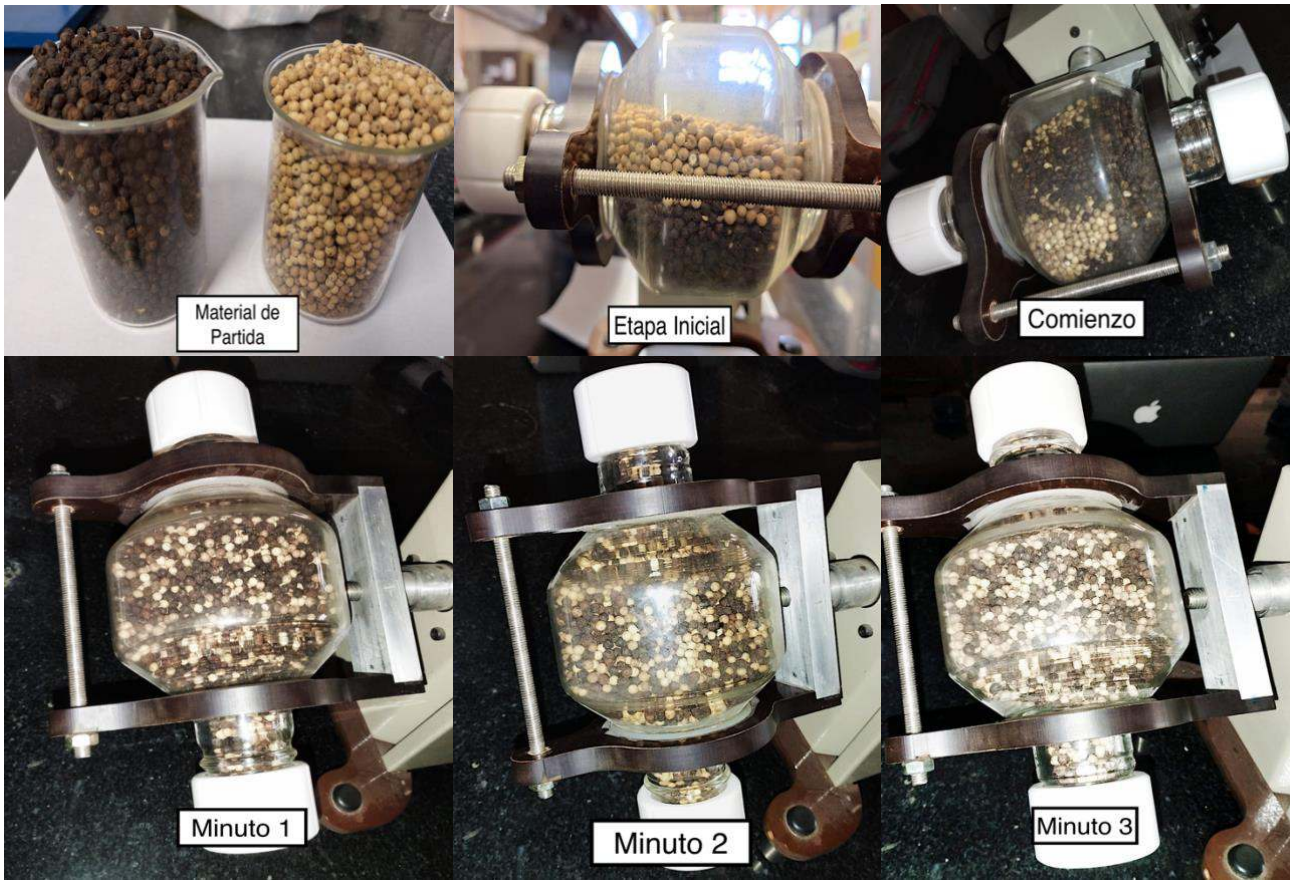


Fig. 4. Evolución del mezclado durante la operación.

En la tabla 2 se presentan los resultados obtenidos a partir del análisis de la toma de datos de las diferentes muestras para cada intervalo de tiempo. Durante el primer minuto si bien los valores arrojados por la varianza e índice de mezclado, permitirían estimar que el mezclado es completo, se puede visualizar que existen franjas de partículas iguales, por lo que en este punto la mezcla no se considera óptima. Este comportamiento continúa hasta el minuto tres. En este punto la imagen permite determinar que la distribución es uniforme debido a que las partículas están ordenadas al azar. Tal comportamiento es respaldado por los parámetros numéricos analizados en tabla para dicho intervalo, por lo que se considera que alcanza un punto óptimo de mezclado.
A partir del minuto 4, los resultados muestran una disminución en la homogeneidad. Esto podría atribuirse a la reagrupación de partículas con propiedades similares, como lo establecen Ottino y Khakhar (2000). La mezcla comienza a perder su uniformidad debido a las variaciones en el comportamiento de las partículas bajo condiciones de flujo continuo.

Tabla 2: Resultados de las muestras tomadas

Tiempo	Media	σ	σ_0	σ_R	M_L
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1	0.557	0.024	0.497	0.038	1.004
2	0.567	0.106	0.495	0.040	0.960
3	0.518	0.048	0.500	0.039	0.997
4	0.596	0.081	0.491	0.036	0.978
5	0.511	0.128	0.500	0.038	0.940

Luego del minuto 5, la homogeneidad de la mezcla comienza a estabilizarse, lo cual concuerda con los resultados presentados en la bibliografía, indicando que el sistema ha alcanzado un equilibrio

dinámico donde los mecanismos de mezclado y segregación se contrarrestan mutuamente (Baumann et al., 1994).

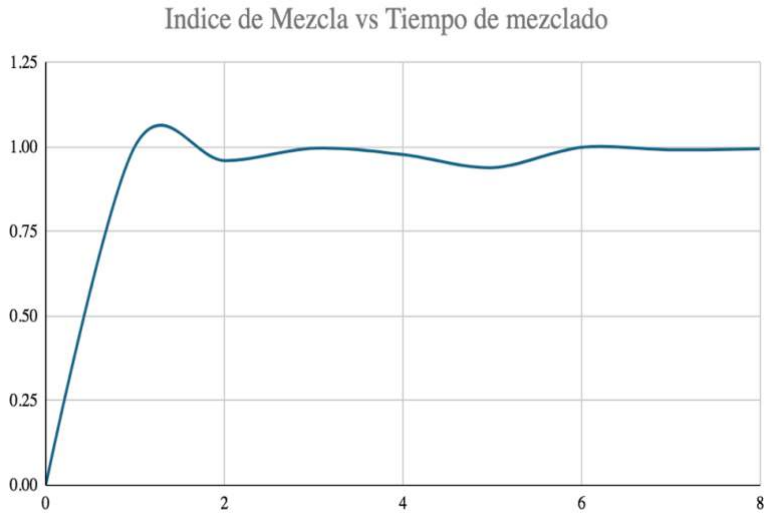


Fig. 5. Mezclado de pimienta blanca y negra.

Esto sugiere que extender el tiempo de mezclado más allá de este punto no aporta beneficios adicionales en términos de homogeneidad, incurriendo en costos de operación innecesarios. A partir de los resultados analizados, se establece reducir el tiempo de operación a 3 minutos, lo que optimiza el proceso asegurando una uniformidad aceptable con un consumo mínimo de energía y tiempo.

Los resultados analizados en el texto se evidencian claramente en la figura 5, la cual ilustra cómo varía el índice de mezcla en función del tiempo. Esta permite observar de manera detallada la evolución de la homogeneidad de la mezcla a lo largo del proceso. Esta visualización resalta cómo el índice de mezcla alcanza un valor constante, indicando el óptimo en los intervalos considerados. Se realizaron variaciones en las velocidades de rotación del mezclado para evaluar su impacto en los parámetros analizados. A pesar de estos cambios, los resultados obtenidos fueron similares a los de velocidad mínima de rotación. Sugiriendo que la misma, es suficiente para lograr una mezcla efectiva.

Conclusiones

La actividad experimental resultó sencilla de reproducir en el laboratorio, el alumno comprendió con facilidad y pudo operar el equipamiento sin inconvenientes.

Esta experiencia práctica resultó efectiva para desarrollar las competencias específicas como la observación, diseño y ejecución de la experiencia.

Se adaptaron las técnicas de mezclado a las propiedades específicas de los sólidos involucrados, permitiendo examinar cuestiones operativas básicas y analizar detalladamente los resultados obtenidos.

La actividad resultó atractiva para los alumnos, quienes mostraron interés por los diferentes aspectos de la práctica, logrando determinar un tiempo de mezclado óptimo. Concluyendo de acuerdo al análisis de resultados que el mezclado de este tipo de sólidos inicialmente es eficiente, pero la prolongación del tiempo no mejora de manera notable el proceso.

Los resultados obtenidos durante la experiencia realizada concuerdan de manera significativa con los datos descritos en la bibliografía analizada, para mezclas de sólidos particulados, siendo fuerzas

electrostáticas las que se oponen a la mezcla perfecta pudiendo ocasionar segregación de los sólidos a medida que aumenta el tiempo de mezclado. Por tal motivo se concluye que el práctico ha respondido a las características pretendidas.

Los estudiantes demostraron una participación activa en su proceso de aprendizaje, aplicando conocimientos teóricos para resolver situaciones prácticas y relacionadas con mezclas del mercado. Esta experiencia promovió una actitud positiva hacia el aprendizaje, contribuyendo considerablemente a la comprensión del tema.

Se aspira a futuro, extender esta experiencia con otros tipos de mezcladores disponibles en la planta piloto, tales como mezclador tipo W, tipo Y, entre otros, para comparar su comportamiento con el utilizado en la práctica en cuestión, frente la mezcla binaria trabajada.

Referencias

Alhwaige A., Tasirin S., Mokhtar A., Wan Daud W. (2008). Study The Homogeneity of Mixing a Binary Polyethylene Granular Mixture in Fluidised Bed Mixer. Lecture Notes in Engineering and Computer Science. 2173.

Arntz M. M. H. D., den Otter W. K., Briels W. J., Bussmann P. J. T., Beeftink H. H., Boom R. M. (2008). Granular Mixing and Segregation in a Horizontal Rotating Drum: A Simulation Study on the Impact of Rotational Speed and Fill Level. AIChE Journal Vol. 54, No. 12, 3133-3146.

Baumann I., Duska C., Boban, M. (2008). Mixing of solids in different mixing devices. Sadhana. Vol 33. 721-731. DOI: 10.1007/s12046-008-0030-5.

Baumann G., NosI I.M.J., Wolf D.E. (1994). Particle Trajectories and Segregation in a Two-Dimensional Rotating Drum. Europhysics Letters, Vol. 27 (3), 203-208.

Bancroft R. S. J., Johnson C. G., (2021). Drag, diffusion and segregation in inertial granular flows. Journal of Fluid Mechanics, Vol. 924, A3. DOI:10.1017/jfm.2021.560.

Dai S., Zhang S., Gao F., He X., Daichao Sheng D. (2024). Investigation of particle segregation in a vertically vibrated binary mixture: Segregation process and mechanism, Computers and Geotechnics, Vol. 169, 106236, DOI: 10.1016/j.compgeo.2024.106236.

Dury C., Ristow G., (1997). Radial Segregation in a Two-Dimensional Rotating Drum. Journal de Physique I, Vol 7 (5), 737-745.

Earle R.L., Earle M.D., (2004). Unit Operations in Food Processing. Web edition. The New Zealand Institute of Food Science & Technology (Inc.).

Gilbertson, MA., and Eames, I. (2003). The influence of particle size on the flow of fluidised powders. Powder Technology, 131, 197 – 205.

Lacey P.M.C. (1943). The mixing of solid particles. Trans.I.Chem.E., 21, 53–59.

Lacey PM. (1954). Developments in the theory of particle mixing. J. Appl. Chem. Vol. 4, 257– 68.

Lin L., Zhang, X., Yu M., Mujtaba I. M., Chen X., (2024). Optimized Structure Design for Binary Particle Mixing in Rotating Drums Using a Combined DEM and Gaussian Process-Based Model. Digital Chemical Engineering, Vol 12, 100175.

Liu Y., Gonzalez M., Wassgrena C. (2018). Modeling granular material blending in a rotating drum using a finite element method and advection-diffusion equation multi-scale model. AIChE Journal Vol. 64, No. 9, 3277-3292.

McCabe W.L., Smith J.C., Harriot P. (1991). Operaciones Unitarias en Ingeniería Química. Cuarta Edición. España. McGraw-Hill.

McCabe W.L., Smith J.C., Harriot P. (2007). Operaciones Unitarias en Ingeniería, Química. Séptima edición. McGraw-Hill.

Muzzio F. J., Goodridge C. L., Alexander A., Arratioa P., Youn H., Sudah O., Mergen G. (2003). Sampling and characterization of pharmaceutical powders and granular blends, Int. J. Pharmaceutics, Vol. 250, 51–64.

Nema, P. K. (2023). Unit Operations in Food Processing. India: Nipa Genx Electronic Resources and Solns Pvt Limited.

Ottino J. M., Khakhar D. V., (2000). Mixing and segregation of granular material. Annu. Rev. Fluid. Mech. Vol. 32, 55–64.

Rielly C. D., (2015). Mixing Theory. Pharmaceutical Blending and Mixing, First Edition, John Wiley & Sons, Ltd. Published by John Wiley & Sons, Ltd.

Rodas Cobos D. I. (2015). Determinación del índice de mezcla de tres fármacos sólidos granulares (unicomponentes y multicomponentes), por medio del estudio de la distribución de acetilsalicílico, en función del tiempo de mezclado, para una empresa farmacéutica. Tesis de grado. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

Rhodes M., (2008). Introduction to Particle Technology, John Wiley & Sons, England.

Schofied C., Sutton H. M. (1978). Mixing fundamentals in Powder Europa, Seminar A, Powder mixing systems, Rhein-Main-Halle,Wiesbaden, Warren Spring Laboratory, Stevnage, UK, and International Powder Institute, Chicago IIIINOIS 60690, USA, 1978.

Vila J. (1997). Tecnología Farmacéutica. Aspectos fundamentales de los sistemas farmacéuticos y operaciones básicas. Volumen 1. Madrid: Editorial Síntesis S.A.

TOMOGRAFÍA COMPUTADA APLICADA A ESTUDIOS DE POROSIDAD EN FUNDICIÓN DE Al-Si

Martín D. Felcaro[1], Felipe V. Díaz[2], Matías E. Peralta[3]

[1]Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad Regional Rafaela, UTN, 2300 Rafaela
[2]Departamento de Ingeniería Electromecánica, Facultad Regional Rafaela, UTN-CONICET, 2300 Rafaela
[3]Departamento de Validación de Equipos y Componentes, INTI Centro Litoral, 2300 Rafaela
Email: martinfelcaro8@gmail.com

Resumen

La tomografía computada de rayos X (TC) tiene la habilidad de reconstruir el interior de muestras, componentes y/o piezas ensambladas, actuando en forma no invasiva y generando imágenes 3D, las cuales pueden ser evaluadas cuantitativamente a partir de complejas herramientas digitales. Esta técnica suele ser muy requerida debido a que ofrece información muy precisa acerca de heterogeneidades, defectos, fisuras, inclusiones, poros y, además, de la geometría de los sólidos evaluados. A modo de ejemplo, este trabajo presenta, empleando TC, una metodología para analizar la porosidad cercana a la zona de fractura en una muestra de fundición de Al-Si, solicitada a flexión de 3 puntos. En este estudio, se evalúan diferentes regiones de interés (ROIs), las cuales fueron segmentadas antes y después del proceso de carga mecánica. El software utilizado en el procesamiento de las imágenes tomográficas posibilitó el diseño de una estrategia para evaluar y comparar la porosidad en diferentes ROIs, lo cual a su vez permitió evaluar la correlación entre la porosidad y el plano de fractura. En dichas ROIs se evaluó, cuantitativamente, la distribución espacial, conteo, tamaño y forma de los poros. El análisis exhaustivo de estas ROIs posibilitó evaluar la fractura, la cual ocurre en un plano de transición entre dos subpoblaciones diferentes de poros. Finalmente, para el presente caso, donde las tensiones normales son máximas en los bordes de dicho plano, la fractura inicia en el borde superior debido a que la densidad de poros es mayor que en el borde inferior.

Palabras Clave: Tomografía computada, Aleación de Al-Si, Porosidad, Fractura, Regiones de interés.

Introducción

La tomografía computada de rayos X (TC) es una técnica no-destructiva que posibilita evaluar la estructura interna de un conjunto, componente o muestra, con elevada resolución (Hanke, 2016; Maire, 2014; Rueckel, 2014). Esta técnica utiliza un software especial para la generación de un modelo 3D del sólido evaluado y para el pos-procesamiento de los datos obtenidos, posibilitando la evaluación cuantitativa de tamaño, forma, cantidad y distribución espacial de defectos, fisuras, poros y/o inclusiones generadas a partir de diferentes procesos de fabricación.

Por otra parte, las aleaciones Al-Si de moldeo, usadas en la producción de componentes industriales con diferentes niveles de resistencia y tenacidad, son materiales que brindan un amplio rango de propiedades mecánicas, las cuales dependen de la composición química, las condiciones de fundición, la velocidad de solidificación y el tratamiento térmico (Glazoff, 2018). Sin embargo, estas aleaciones pueden contener mayor o menor porosidad, lo cual va en detrimento de dichas propiedades. Es importante destacar que estas dependen, fuertemente, de la cantidad, tamaño, forma, y distribución espacial de los poros. En los últimos años, la TC ha sido una importante herramienta no-destructiva para el estudio de los mismos a partir del pos-procesamiento de las imágenes generadas (Mathew, 2021).

En este trabajo, la TC se aplica al análisis de una muestra de aleación de Al-Si obtenida por moldeo de arena (Felcaro, 2023). Se evalúa, en primer lugar, la porosidad global de dicha muestra, y luego, dos pequeños volúmenes adyacentes al plano de fractura. La generación de la misma fue llevada

a cabo a partir de un ensayo de flexión de 3 puntos, incorporando, de esta manera, la singularidad de esta solicitación a estudios previos llevados a cabo a partir de la solicitación axial (Cuyás, 2002).

En los volúmenes mencionados, denominados regiones de interés (ROIs), se evaluó la distribución espacial, conteo, tamaño y forma de los poros. Además, se compararon gráficos de dispersión de parámetros de forma en función de parámetros de tamaño. Finalmente, a partir de la distribución espacial de los poros y el diagrama de momento flector inherente al ensayo de flexión, fue posible evaluar la influencia de la porosidad en las secciones transversales más exigidas por la solicitación externa.

Materiales y métodos

Material y parámetros de tomografía

La muestra evaluada es de aleación Al-Si obtenida por moldeo de arena. Las dimensiones de la misma son 25,48 mm x 5,18 mm x 4,55 mm. Su composición química, mostrada en la Tabla 1, fue obtenida usando un espectrómetro de chispa por emisión óptica Brucker (Q4 Tasman).

Tabla 1. Composición química de la muestra.

Al	Si	Fe	Cu	Zn	Mg	Mn	Ti	Cr
Base	5,23	0,66	0,59	0,36	0,36	0,14	0,05	0,03

Las imágenes de la muestra se obtuvieron empleando un tomógrafo General Electric Phoenix V |tome| x S 240 (Fig. 1), usando un voltaje de aceleración de 75 kV y una corriente de filamento de 100 µA. Por otro parte, los parámetros de resolución, magnificación y tamaño de punto focal fueron 34,22 µm/vóxel, 5,84x y 7,5 µm, respectivamente, con un total de 1000 proyecciones, 3 fotogramas promediados por cada proyección, y un tiempo de escaneo de aproximadamente 1 hora. Cabe destacar que, antes de tomografiar la muestra, se llevó a cabo un ajuste dimensional empleando un patrón de distancias del tipo *ball bar* (Hiller, 2012; Zwanenburg, 2022).

Fig. 1. Tomógrafo utilizado.

Parámetros de análisis

Con el objetivo de realizar un análisis exhaustivo de la porosidad de toda la muestra, se compararon los valores máximos y mínimos que alcanza cada parámetro representativo (Tabla 2). En cuanto a tamaño, se evaluó: volumen (V) y diámetro (D), y en cuanto a forma: compacidad (C) y esfericidad (SG), en cada poro.

Tabla 2. Valores máximos y mínimos de los parámetros representativos.

D_{min} (mm)	D_{max} (mm)	V_{min} (mm^3)	V_{max} (mm^3)	C_{min}	C_{max}	SG_{min}	SG_{max}
0,17	1,35	0,01	0,26	0,08	0,73	0,44	0,7

La compacidad se define como la relación entre el volumen del poro (V) y el volumen de la esfera circunscripta en dicho poro (Vs), como se presenta en la Ec. 1

$$C = \frac{V}{Vs} \tag{1}$$

Por otra parte, la esfericidad se define como la relación entre el volumen V y el área superficial del poro.

En la Tabla 2, es posible advertir que los parámetros V y C poseen un rango más amplio en comparación con D y SG, respectivamente. Por esta razón, se seleccionaron los primeros para llevar a cabo el análisis de la porosidad de toda la muestra.

Considerando el tamaño de los poros en función de V, se definieron diferentes subpoblaciones, tanto para la muestra total como para las ROIs vinculadas a las superficies de fractura. Estas subpoblaciones fueron asociadas a cuatro categorías de poros: pequeños, medianos, grandes y muy grandes. La Tabla 3 muestra los rangos de cada categoría.

Tabla 3. Rango de volumen de cada subpoblación definida.

PEQUEÑOS	MEDIANOS	GRANDES	MUY GRANDES
V: 0 – 0,033 mm^3	V: 0,033 – 0,067 mm^3	V: 0,067 – 0,10 mm^3	V: > 0,10 mm^3

Ensayo de flexión y evaluación vía ROIs

La muestra fue ensayada a flexión de 3 puntos hasta su fractura, empleando una prensa hidráulica AMOB Group (PH4C 60T). La Fig. 2 muestra una representación esquemática de dicho ensayo de flexión.

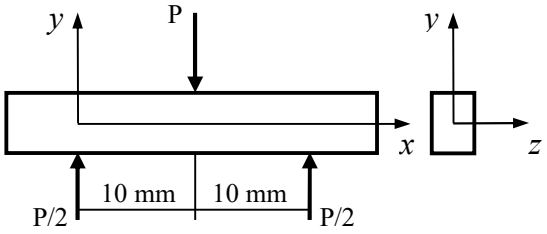


Fig. 2. Representación del ensayo de flexión de 3 puntos.

La carga P de rotura fue de 227 N. Este valor de rotura se alcanzó con una velocidad de carga de 98 N/s. Es importante destacar que, la flexión de 3 puntos genera tanto momento flector (M) como esfuerzo de corte (Q) en las secciones transversales de la muestra entre ambas cargas P/2 (Gere, 2009). Debido a que el esfuerzo de corte muestra valores bajos, las tensiones de corte generadas pueden despreciarse. El momento flector genera compresión en la mitad superior de la muestra y tracción en la mitad inferior, por lo tanto, la tensión normal que produce la fractura de la muestra, será compresiva en la mitad superior y de tracción, en la mitad inferior. La Fig. 3 muestra como varía dicho momento flector para las secciones transversales ubicadas entre ambas cargas P/2. La variación es simétrica con respecto a la sección transversal donde se aplica la carga P. El valor máximo corresponde a la carga de rotura. Los valores para las secciones transversales asociadas a las cargas P/2 son nulos.

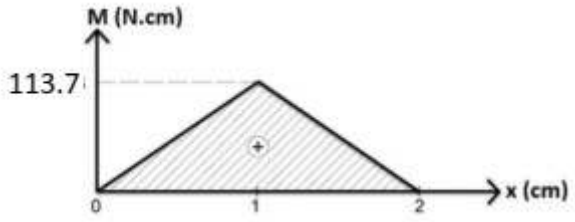


Fig. 3. Distribución de momento flector.

Posterior a la fractura, se realizó nuevamente el proceso de tomografiado, seguido de un pos-procesamiento del modelo 3D a fin de generar diferentes ROIs, a partir de las cuales fue posible evaluar la morfología y distribución espacial de los poros cercanos a las superficies de fractura. Dicho pos-procesamiento, llevado a cabo usando el software VGSTUDIO MAX 3.0 (Volume graphics, 2024), posibilitó realizar un estudio exhaustivo de las condiciones de la muestra cerca de la fractura, a fin de establecer una correlación entre los datos de porosidad y la misma.

Las ROIs evaluadas fueron 2, cada una conteniendo una superficie de fractura. La Fig. 4 muestra, en un corte de tomografías, el alcance (3 mm) de cada una. La correspondiente al lado izquierdo se la denomina ROI 1, y la del lado derecho, ROI 2.

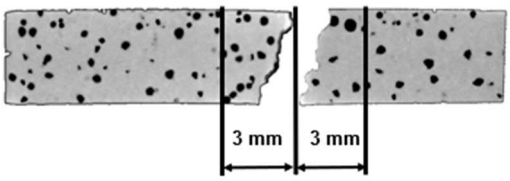


Fig. 4. Definición de ROIs.

Resultados y discusión

Evaluación de porosidad en la muestra

Luego de realizar la tomografía de la muestra, previa a su rotura mediante el ensayo de flexión por 3 puntos, como se mencionó previamente, se generaron diferentes imágenes 3D. La Fig. 5 muestra una de ellas. A partir de la escala de colores, es posible advertir una supremacía de poros pequeños por sobre poros de gran tamaño.

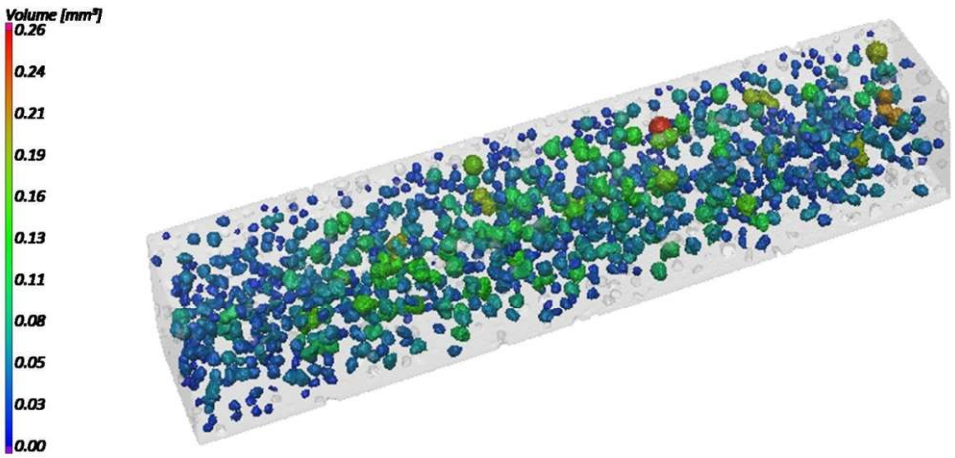


Fig. 5. Porosidad de la muestra tomografiada.

La Fig. 6 muestra un gráfico de conteo de poros vs volumen. La curva sería cuasi-gaussiana solo expandida a derecha. La mayoría de los poros se hallan dentro del rango de 0,025-0,075 mm^3. Por sobre el valor de 0,125 mm^3, el número de poros es muy bajo.

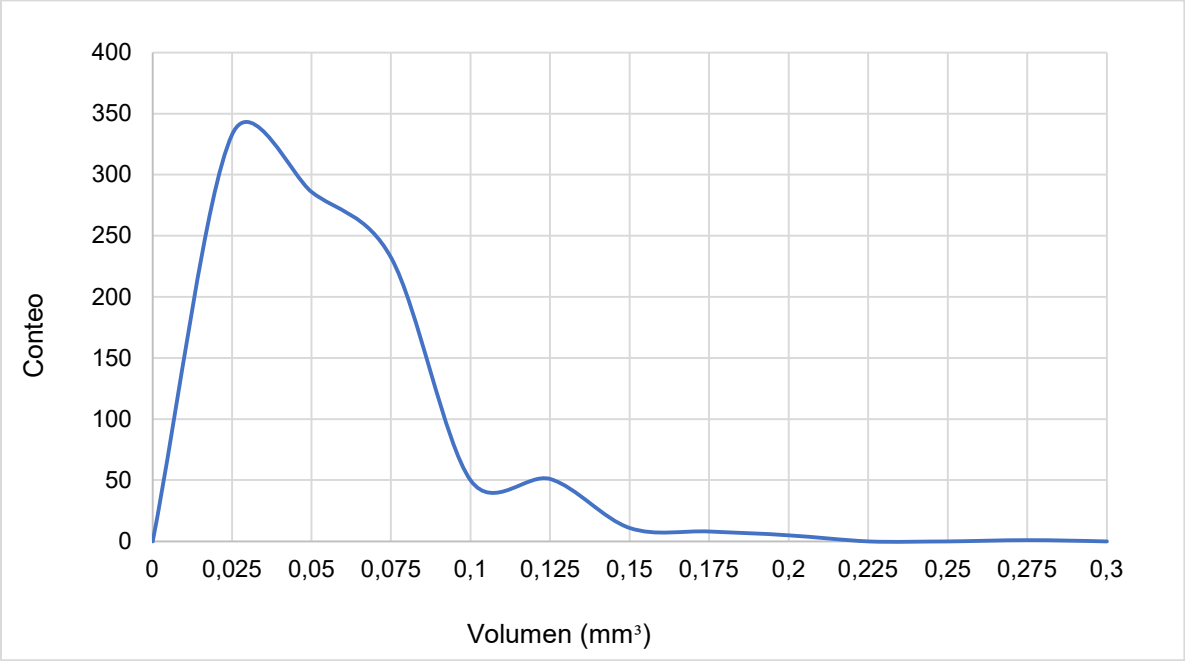


Fig. 6. Conteo de poros vs volumen.

La Toabla 4 muestra la cantidad de poros para cada una de las subpoblaciones definidas previamente (ver Tabla 3). Cabe destacar que para dicha segmentación se tomó en cuenta la zona principal de la curva cuasi-gaussiana (rango de 0-0,1 mm^3), la cual se subdividió en 3 zonas de igual amplitud (poros pequeños, medianos y grandes). La categoría poros muy grandes es las correspondiente a la expansión a derecha de dicha curva.

Tabla 4. Cantidad de poros en cada subpoblación.

PEQUEÑOS	MEDIANOS	GRANDES	MUY GRANDES
V: 0 – 0,033 mm^3	V: 0,033 – 0,067 mm^3	V: 0,067 – 0,10 mm^3	V: > 0,10 mm^3
494	322	117	51

Del total de poros de la muestra (948), el 50,2% corresponde a la categoría de poros pequeños, el 32,7% a poros medianos y el 11,9% a los denominados grandes. En cuanto a la categoría de poros muy grandes, esta contiene solo el 5,2%.

Por otra parte, tomando en cuenta los parámetros de forma y tamaño, C y V, respectivamente, mencionados más arriba como los más representativos para el análisis, se construyó el grafico de dispersión mostrado en la Fig. 7, en el cual cada círculo azul corresponde a las coordenadas C y V de un poro.

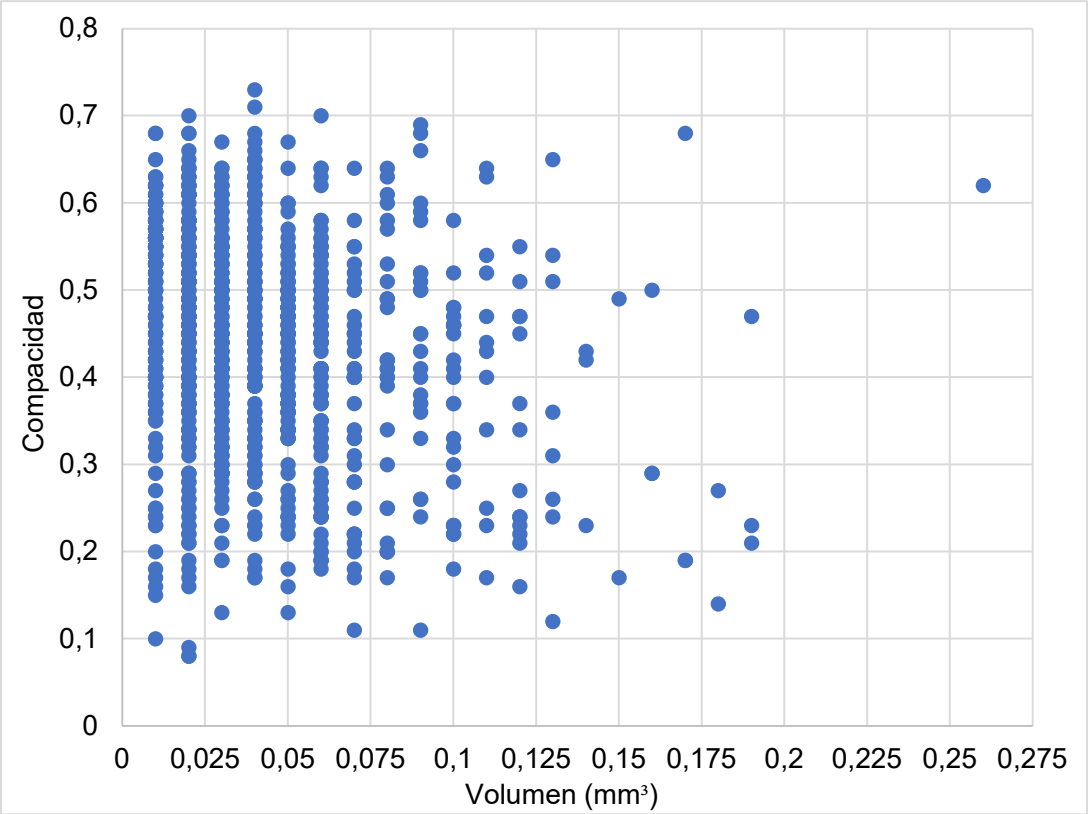


Fig.7. Gráfico de dispersión, forma en función de tamaño de cada poro.

En esta figura es posible advertir que la mayoría de los poros son pequeños y medianos, concentrándose más de las tres cuartas partes del total en el rango de 0 a 0,06 mm^3. En cuanto al factor forma evaluado, la mayoría de los poros presentan valores bajos y medios a de compacidad, con un total de 846 poros en el rango de 0,2 a 0,6. Cabe destacar que esta cantidad representa el 86% del total de poros.

Evaluación de porosidad en ROIs

Para llevar a cabo una evaluación que posibilite explicar el plano donde se produce la fractura, fue necesario analizar la porosidad cercana a la misma. El análisis de la muestra en el estado inicial, desarrollado más arriba, posibilitó la determinación de los parámetros más representativos de los poros y, además, la segmentación en categorías según el tamaño de los mismos. Estos parámetros y categorías fueron usados en el análisis de las regiones de interés que contienen a las superficies de fractura. Las Tablas 5 y 6 muestran el número de poros para cada subpoblación evaluada, en las regiones de interés 1 y 2, respectivamente.

Tabla 5. Cantidad de poros en cada subpoblación de la ROI 1.

PEQUEÑOS	MEDIANOS	GRANDES	MUY GRANDES
V: 0 – 0,033 mm^3	V: 0,033 – 0,067 mm^3	V: 0,067 – 0,10 mm^3	V: > 0,10 mm^3
83	22	7	1

Es importante destacar que la ROI 1 contiene un total de 113 poros, de los cuales el 73,5% corresponde a poros pequeños. Este valor porcentual asciende a 92,9% cuando se considera la suma de poros pequeños y medianos. El valor, para la suma de poros grandes y muy grandes, es menor al 8%.

Tabla 6. Cantidad de poros en cada subpoblación de la ROI 2.

PEQUEÑOS	MEDIANOS	GRANDES	MUY GRANDES
V: 0 – 0,033 mm^3	V: 0,033 – 0,067 mm^3	V: 0,067 – 0,10 mm^3	V: > 0,10 mm^3
45	26	14	11

La ROI 2 contiene un total 96 poros. De estos, menos de la mitad corresponden a la categoría pequeños (46,9%) y, la suma de pequeños y medianos alcanza un 73,9%. A diferencia de la ROI 1, en esta región, la suma de las categorías grandes y muy grandes superan el 26%.

De estos valores se desprende que las subpoblaciones de poros asociadas a las superficies de fractura son diferentes en tamaño. Esto contribuiría a explicar la ubicación del plano de fractura.

Las Figs. 8 y 9 muestran las distribuciones de conteo para las regiones de interés 1 y 2, respectivamente. Estas distribuciones corroboran las notables diferencias, en cuanto a tamaño de poros, que muestran las regiones de interés evaluadas.

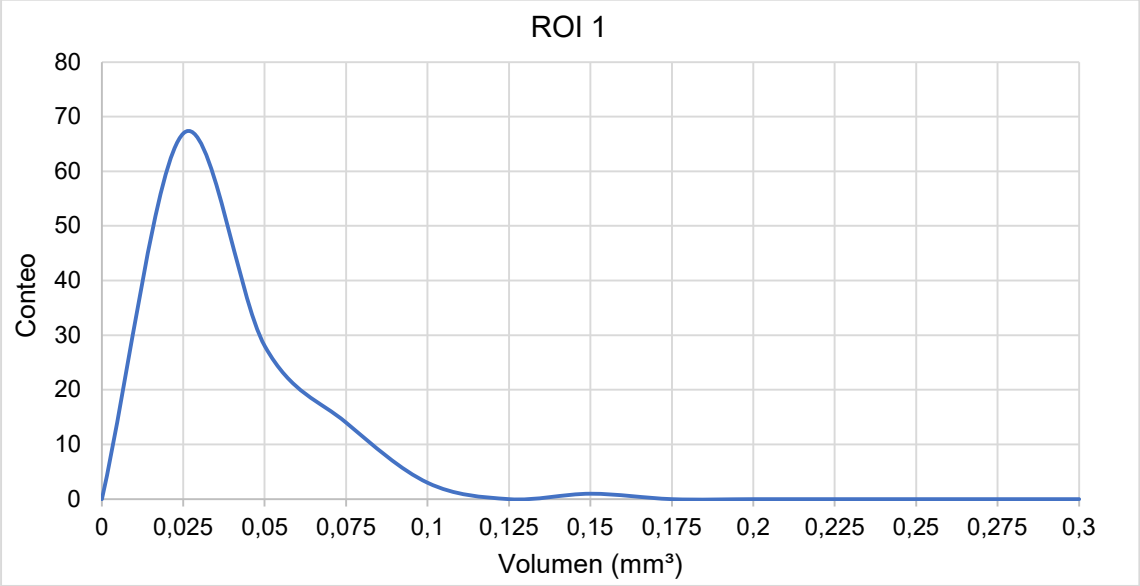


Fig. 8. Cantidad de poros vs volumen para la ROI 1.

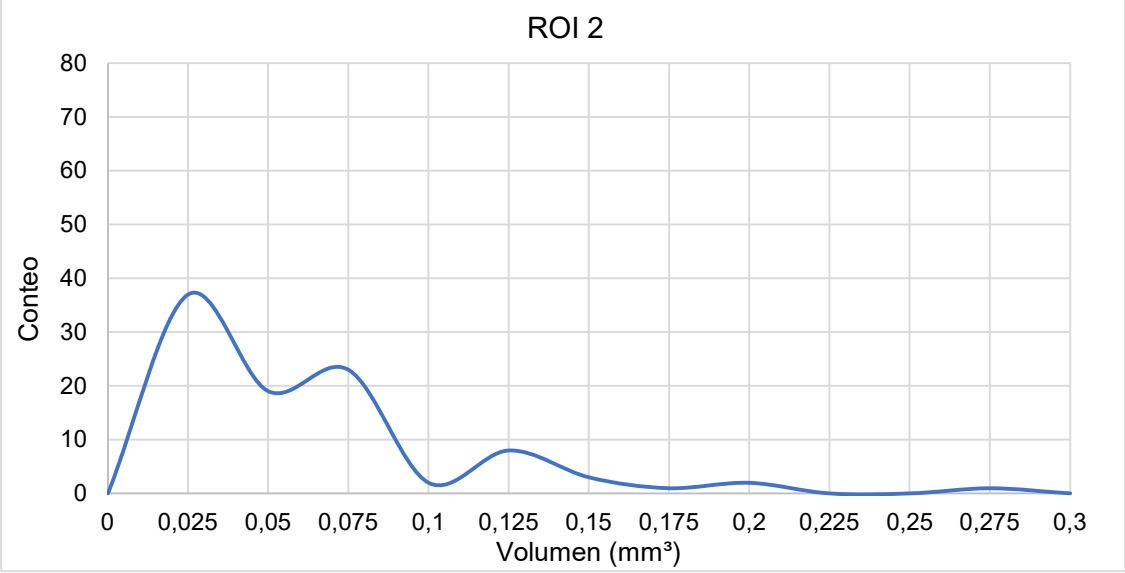


Fig. 9. Cantidad de poros vs volumen para la ROI 2.

Los gráficos de dispersión mostrados en las Figs. 10 y 11 relacionan forma y tamaño de los poros. En cuanto a la forma, los poros de la ROI 2 son ligeramente más homogéneos. Sin embargo, en cuanto al tamaño, los poros de ROI 1 son notoriamente más homogéneos (la dispersión en tamaño es muy notoria en ROI 2).

La mayoría de los poros de ROI 1 poseen un rango de compacidad de 0,2 a 0,7, ligeramente mayor a los poros de la ROI 2 (0,2 – 0,6). Gran parte de los poros pequeños de ROI 1 tienen valores elevados de compacidad (tienden a la forma esférica ideal). Si bien en ROI 1 hay poros con baja compacidad, esta ROI contiene una gran cantidad de poros con C > 0,5. Por el contrario, en ROI 2, la mayoría de los poros tienen C < 0,5.

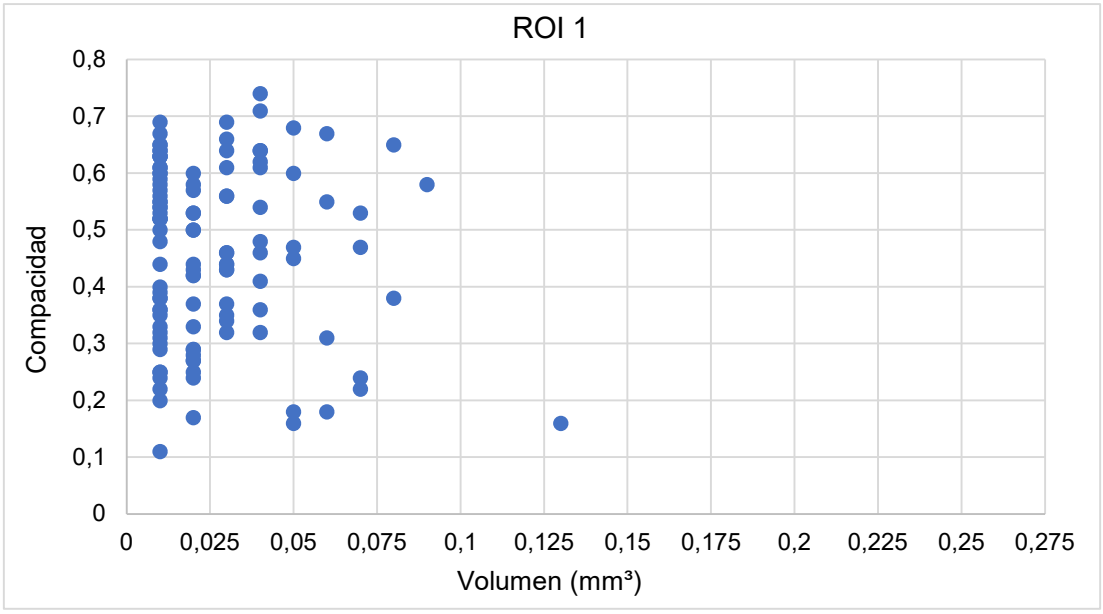


Fig.10. Gráfico de dispersión para ROI 1.

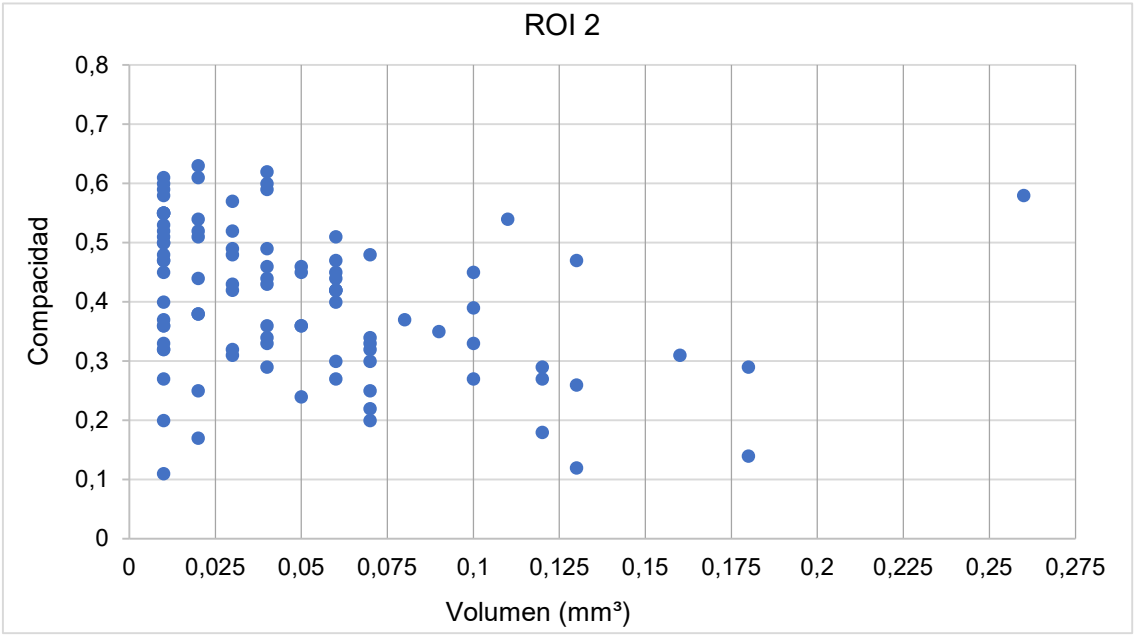


Fig.11. Gráfico de dispersión para ROI 2.

Correlación entre porosidad y fractura

En un plano (sección transversal de la muestra) que contenga gran cantidad de poros que lo atraviesen, su momento de inercia (Iz) disminuirá sensiblemente. Es importante notar que Iz representa la rigidez de forma de dicha sección transversal. La Ec. 2 muestra la influencia de Iz en cuanto a la generación de tensiones normales asociadas a M (Hibbeller, 2016).

$$\sigma_x = -\frac{M\,y}{I_z} \tag{2}$$

En esta expresión, y es la ordenada del punto a evaluar con respecto al eje z de la sección transversal, el cual es baricéntrico (ver Fig. 2). Por lo tanto, despreciando las tensiones de corte por ser de muy bajo valor, la fractura siempre iniciará en la zona más alejada del eje z, necesariamente en el borde superior o inferior de la sección transversal. Por lo tanto, interesa en particular, la porosidad cercana a dichos bordes para la estimación del valor máximo que alcanza σ_x. En cuanto al plano de fractura, será aquel más afectado por la combinación de M elevado e Iz bajo, como es posible deducir de ec. (2). Además, si la porosidad está muy alejada del eje z, Iz disminuirá una cantidad muy elevada, como es posible deducir a partir de su expresión

$$I_z = \int_A y^2 \,.\, dA \tag{3}$$

Cabe mencionar que M disminuye linealmente a partir del plano de aplicación de la carga P en el ensayo de flexión de 3 puntos, donde el mismo es máximo (ver Fig. 3). En cambio, la modificación de Iz a lo largo de la muestra es más compleja, ya que depende de la cantidad, tamaño y ubicación de los poros. De este planteo se deduce que la muestra romperá en una región medianamente central ya que es donde M es elevado (al acercarnos a los puntos de apoyo este disminuye considerablemente); y dentro de esta región central de M elevado, el plano de fractura quedara definido por la porosidad, ya que el valor de Iz mostraría gran variabilidad según la distribución y características de los poros.

De esta manera se plantea como hipótesis que el plano de fractura de la muestra debe ser uno que se encuentre en una región central de la misma (no necesariamente en la sección transversal equidistante de ambos extremos) y que dentro de dicha región central deberá ser un plano atravesado por gran cantidad de poros de modo tal que el Iz del mismo tenga un valor muy bajo. Así, la combinación de valor bajo de Iz y elevado de M generara la máxima tensión normal σ_x que inicie la fractura de la muestra.

La Fig. 12 muestra un modelo 3D donde es posible ver la ubicación del plano de fractura. Esta se produce en un plano que no es el de aplicación de la carga. Además, dicha fractura no ocurre en un plano normal al eje longitudinal de la muestra, sino que presenta una ligera inclinación.

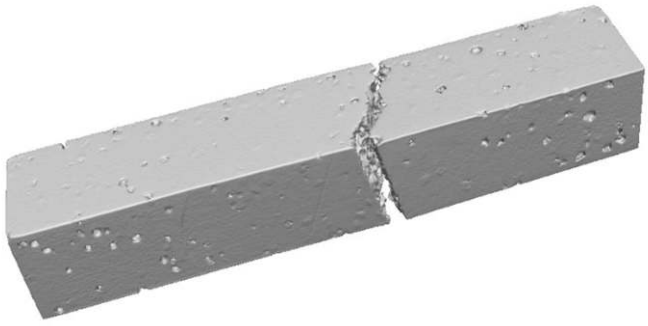


Fig. 12. Modelo 3D de la muestra fracturada.

En la Fig. 13, que muestra dos imágenes que representan la zona de la pieza donde se produjo la fractura, antes y después de la misma, se puede apreciar con claridad que dicha fractura se genera en un plano de transición que separa una región densa de poros pequeños de otra menos densa que contiene poros de mayor tamaño.

El perímetro rojo en dicha Fig. 13 contiene un conjunto de poros pequeños en la parte delantera de la muestra hacia uno de sus bordes (cara sobre la cual se aplicó la carga). Esta elevada densidad de poros cercanos a superficie, como se mencionó más arriba, generará un valor muy bajo de Iz, debilitando a esta zona con respecto a las zonas adyacentes, y provocando un aumento de la tensión normal. Finalmente, la propagación se producirá, con velocidad elevada, siguiendo un plano con alta densidad de poros, que a su vez constituye el límite entre dos zonas con gran diferencia en cuanto a la densidad de porosidad.

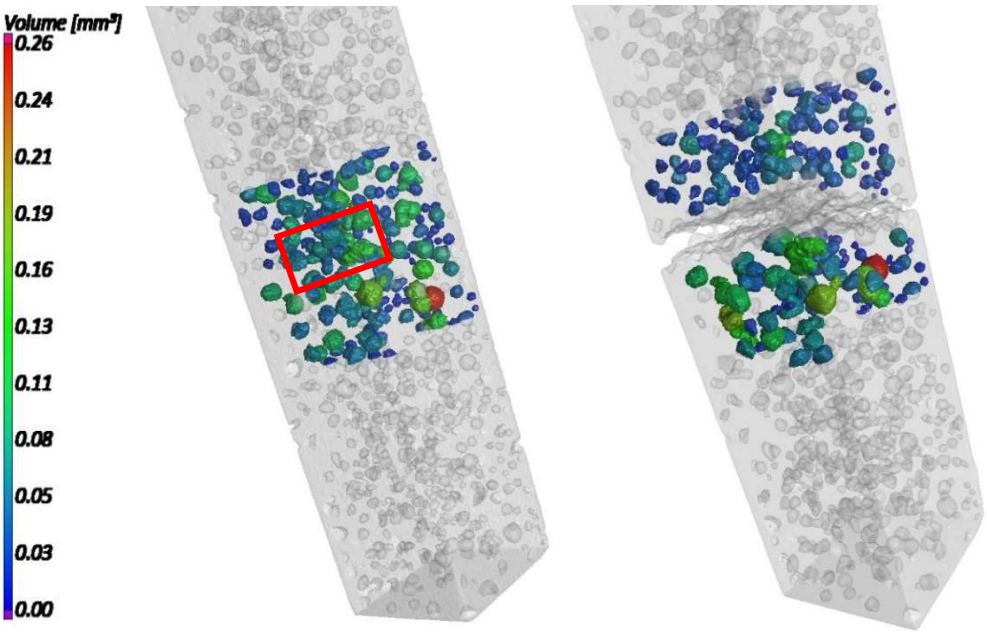


Fig. 13. Porosidad antes y después de la fractura.

Conclusiones

En el presente estudio se utilizó tomografía computada de rayos X para evaluar inicialmente la porosidad global y luego, más detalladamente, la cercana a la fractura, en una muestra de fundición de Al-Si solicitada a flexión de 3 puntos. El software de pos-procesamiento empleado posibilitó la creación de modelos 3D y la segmentación del volumen evaluado en 2 ROIs que incluyen a las superficies de fractura.

Los resultados obtenidos muestran en la mayoría de los poros, de cada ROI y de la muestra global, valores medios a bajos de compacidad (rango de 0,2-0,6), y valores bajos en cuanto al tamaño (0,02-0,033 mm^3).

En las ROIs asociadas a las superficies de fractura, es posible advertir marcadas asimetrías en cuanto al tamaño de los poros. Estos resultados posibilitaron evaluar la fractura, la cual ocurrió en un plano de transición entre una zona de alta densidad de poros pequeños y otra de menor densidad con poros de mayor tamaño.

La fractura se produjo en una región perteneciente al tercio medio, donde M es elevado. El plano de fractura queda definido por la porosidad, ya que el Iz presenta una gran variabilidad en cuanto

al tamaño, forma y distribución de los poros. Necesariamente este plano de propagación es aquel cuya porosidad, sobre todo la cercana a los bordes (en este caso, al borde superior sobre el cual se aplicó la carga), hace mínimo el Iz.

Finalmente, a partir de los resultados obtenidos, es posible advertir la gran utilidad de la técnica propuesta para examinar cuantitativamente la porosidad cercana a superficies de fractura, lo cual podría llevarse a cabo en cualquier tipo de material poroso.

Referencias

Cuyás, J.C., Mugica, G. W., Tovio, D. O., Gonzales, A. C. (2002). Relación entre porosidad y propiedades mecánicas de aleaciones de aluminio de moldeo. Estado del conocimiento, vol. (38), 139–149.

Felcaro, M., Díaz, F., Peralta, M. (2023). Tomografía computada de rayos x aplicada a estudios de porosidad en fundiciones de aluminio. CAIM-CAIFE, 1-12.

Glazoff, M.V., Khvan, A., Zolotorevsky, V.S., Belov, N.A., Dinsdale, A. (2018). Casting Aluminum Alloys: Their Physical and Mechanical Metallurgy. Oxford, England: Butterworth-Heinemann.

Hanke, R., Fuchs, T., Salamon, M., Zabler, S. (2016). X-ray microtomography for materials characterization. Materials Characterization Using Nondestructive Evaluation (NDE) Methods. 45-79.

Hibbeler, R. (2016). Mechanics of Materials. London, England: Pearson.

Hiller, J., Maisl, M., Reindl, L.M. (2012). Physical characterization and performance evaluation of an xray micro-computed tomography system for dimensional metrology applications. Meas. Sci. Technol., vol. (23), 1-18.

Maire, E., Withers, P.J. (2014). Quantitative X-ray tomography. Int. Mater, vol. (59), 1-43.

Mathew, J., Williams, M.A., Srirangam, P. (2021). X-ray computed tomography studies on porosity distribution in vacuum induction cast Al-7Si alloys. JOM, vol. (73), 3866–3872.

Rueckel, J., Stockmar, M., Pfeiffer, F., Herzen, J. (2014). Spatial resolution characterization of an X-ray microCT system. Appl. Radiat. Isot., vol. (94), 230-234, 2014.

Volume graphics. (1 de agosto de 2024). VGSTUDIO MAX. Recuperado de: https://www.volume-graphics.com/en/products/vgsm.html.

Zwanenburg, E.A., Williams, M.A., Warnett, J.M. (2022). Performance testing of dimensional X-ray computed tomography systems. Precision Eng., vol. (77), 179-193.

ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE UNA ESTACIÓN DE GENERACIÓN HÍBRIDA FOTOVOLTAICA Y EÓLICA PARA APLICACIONES DIDÁCTICAS

Matías E. Tielli[1], Vanesa B. Hetze[1], Celeste V. Sfiligoy[1], Ramiro L. Bertero[1]

[1]Grupo de Investigación de Energías Renovables, Facultad Regional San Nicolás, Universidad Tecnológica Nacional, Colón 332, San Nicolás, 2900
mtielli@frsn.utn.edu.ar

Resumen

La combinación de tecnologías fotovoltaicas y eólicas ofrece una solución sostenible y eficiente para la generación de energía renovable. Se presenta en este trabajo, la implementación de la primera planta piloto modelo de generación híbrida, fotovoltaica y eólica, en el predio de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Nicolás. La experiencia pretende recoger la energía generada y canalizarla de manera eficiente al Laboratorio de Baja Tensión, dependiente de Depto. Eléctrica de la Facultad.
El objetivo de esta publicación es comunicar las fases de implementación y análisis llevados a cabo para la instalación de la planta piloto. Primeramente, se realizó una selección de la estación hibrida a utilizar en la planta piloto. Se utilizaron datos estadísticos de radiación solar, velocidad y dirección del viento, previamente recolectados, para pronosticar la generación de energía. Luego se realizó un análisis de optimización considerando la captación del recurso eólico, costos de montaje y mantenimiento, y la reducción de las pérdidas en el transporte de energía hacia el laboratorio.
La implementación de este nuevo sistema permite desarrollar nuevas experiencias en el laboratorio, incluyendo la recopilación de datos estadísticos sobre la producción de energía renovable, el ensayo de aerogeneradores para evaluar su rendimiento bajo diferentes condiciones ambientales, el ensayo de sistemas de baterías para analizar su capacidad de almacenamiento y respuesta, y el estudio de sistemas de generación híbrida para comprender mejor su funcionamiento y optimización.
En síntesis, esta experiencia, llevada a cabo por el Grupo de Investigación de Energía Renovable, propone una oportunidad para la experimentación práctica y el aprendizaje en el campo de las energías renovables y la ingeniería eléctrica. Los datos recolectados por la planta piloto son de utilidad para futuros lineamientos de investigación.

Palabras Clave: Estación híbrida, Generación fotovoltaica, Energía eólica, sostenibilidad, didáctica

Introducción

Cada día resulta más evidente la necesidad de una transformación profunda en las formas de organización de la producción y consumo en general, y de la energía en particular. Según el Panel Intergubernamental de expertos en Cambio Climático (2021), el sector energético, y en particular la producción y el consumo de combustibles fósiles, es responsable del 73% de las emisiones humanas de gases de efecto invernadero (GEI). Especialmente interpelado se encuentra el sector eléctrico, por ser responsable de cerca del 40% de estas emisiones.
La necesidad de avanzar en una transición energética se ha convertido en un tema de gran relevancia en la actualidad debido a la crisis socioambiental que se ha generado por la sobreexplotación de combustibles fósiles. Esta crisis ha llevado a la necesidad de implementar políticas y medidas que permitan la reducción de emisiones de GEI, la promoción de la eficiencia energética, una creciente electrificación de diversos sectores y procesos, y el fomento al uso de fuentes renovables para la generación de energía eléctrica y térmica. En este contexto, se hace necesario repensar y profundizar los esfuerzos por encontrar nuevas formas de producción y consumo, propiciar sistemas eficientes y sustentables de generación, transporte y distribución de la energía eléctrica, fomentar la electrificación en los usos finales de la energía, a la par de impulsar mecanismos de descarbonización, descentralización, desconcentración y democratización del sistema energético en post de avanzar en un proceso de transición energética justa.

En cuanto al sector eléctrico, en las últimas décadas la irrupción del nuevo paradigma de la generación distribuida (GD) ha fomentado el crecimiento de sistemas de generación de pequeña y mediana escala, principalmente basados en energías renovables no convencionales (ERNC), situados cercanos a los centros de demanda. Como consecuencia de esto, las redes de distribución tradicionales con flujos de potencia unidireccionales se encuentran en una transición hacia lo que se denominan Redes de Distribución Activas (RDAs), con posibles flujos de potencia bidireccionales debidos a la inserción de GD y otros tipos de recursos energéticos distribuidos (REDs) como pueden ser sistemas de almacenamiento de energía o estaciones de recarga de vehículos eléctricos. Estas transformaciones que vienen sufriendo los sistemas eléctricos con respecto al esquema tradicional de generación centralizada-transmisión-distribución, sumado a la intermitencia característica de las fuentes de ERNC, traen aparejados nuevos desafíos en el diseño, la operación óptima y el control de estos.

En Argentina, la GD se encuentra enmarcada en la Ley 27.424 promulgada en el año 2017 y reglamentada a nivel nacional en el año 2018. En la provincia de Buenos Aires, la evolución de la reglamentación sobre la GD comenzó con la adhesión a la Ley Nacional 27.424 a través de la Ley 15.325, sancionada en abril de 2022. Este marco legal permite a los usuarios-generadores inyectar energía renovable a la red de distribución y beneficiarse de exenciones impositivas, como la exención del impuesto a los ingresos brutos y del impuesto de sellos en los contratos con las distribuidoras. En enero de 2023, mediante el Decreto 2371/2022, se estableció la reglamentación necesaria para implementar estos beneficios y se creó el Registro de Usuarios-Generadores de Energía Renovable de la provincia.

El objetivo del proyecto propuesto es implementar un sistema de generación híbrida, combinando tecnologías fotovoltaicas y eólicas, instalado en el techo del ala de la dirección de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Nicolás (UTN-FRSN). El propósito principal es recoger la energía generada por el sistema, canalizarlas de manera eficiente y llevarlas hasta el laboratorio de baja tensión de ingeniería eléctrica para su análisis y aprovechamiento.

La instalación de una generación híbrida en la universidad se integra de manera sinérgica con las demás iniciativas del grupo de investigación. En conjunto con la instalación de una estación meteorológica, este proyecto permitirá utilizar el sistema híbrido como una plataforma de investigación para analizar la eficiencia y el rendimiento de la generación de energía renovable en condiciones específicas, como el clima local, la orientación del equipo y su integración con la red eléctrica de la universidad.

Al combinarlo con el proyecto de diseño y ejecución de un emulador de una turbina eólica, no solo tendremos una plataforma para realizar experimentos de investigación que generen más datos y, por consiguiente, publicaciones académicas, sino que también podremos desarrollar nuevas experiencias y trabajos prácticos para la cátedra de Control Automático.

Los resultados y descubrimientos obtenidos a través del análisis de datos de la generación híbrida pueden servir como base para publicaciones académicas, presentaciones en conferencias y colaboraciones en proyectos de investigación con otras instituciones.

Materiales y métodos

Aspectos del recurso eólico

Para evaluar el aspecto del recurso eólico se aprovecharon las conclusiones arribadas en estudio de comportamiento del viento en edificaciones ubicadas en la ribera del río Paraná (Tielli, M. y Hetze, V., 2017).

A modo de resumen, se realizó un modelado del comportamiento del viento en la ciudad utilizando el software Flow Design de Desk, centrándose en el edificio de la UTN-FRSN con coordenadas -33.332027 y -60.205624. La simulación, que consideró una altura de túnel de viento de 500 metros

y un ancho de flujo de 300 metros, fue representada en 3D con una malla detallada cerca de las estructuras civiles (23,8 cm de separación entre nodos) y más espaciada en otras áreas (1,6 metros). Los resultados mostraron una notable aceleración del viento en la parte superior de los edificios.

Además, se utilizó el software AutoCAD Fluid de Autodesk, especializado en la resolución de problemas de mecánica de fluidos y caracterizado por su flexibilidad y capacidad de paralelización. La malla generada contenía 45,000 nodos, con mayor densidad en las zonas de separación de la capa límite y aceleración del viento. Este software emplea el modelo de turbulencia RANS, cuya precisión es inferior a la de modelos como DES o LES. Para validar la simulación, se compararon las velocidades y direcciones del viento con los datos del Servicio Meteorológico Nacional y se analizaron las ráfagas provenientes del río Paraná.

Los datos simulados se contrastaron con mediciones reales de viento obtenidas durante una campaña de 32 meses en la UTN-FRSN con una estación meteorológica Tfa Opus, a 30 metros de altura, siguiendo las Normas IEC 61400-12-1. La validación buscó corroborar la precisión de la simulación en la representación de las aceleraciones del viento en la capa límite de las estructuras.

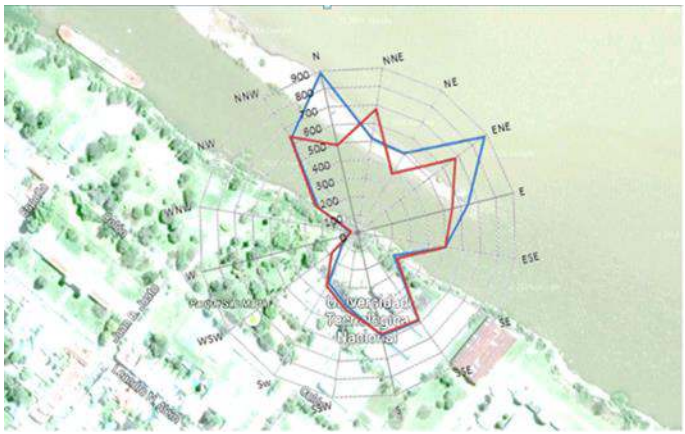


Fig 1. Rosa de vientos superpuesta al emplazamiento de la medición.

Se comparó la rosa de vientos de la estación meteorológica con la obtenida de la simulación. En general, ambas muestran una similitud notable. La Figura 1 ilustra esta comparación: en rojo se representan las aceleraciones del viento simuladas, mientras que en azul se muestran los datos medidos. La imagen destaca que los vientos predominan en áreas de baja rugosidad (cerca del río) en contraste con las zonas de alta rugosidad (dentro de la ciudad). En la Figura 2, se presenta el histograma de velocidades del viento registradas.

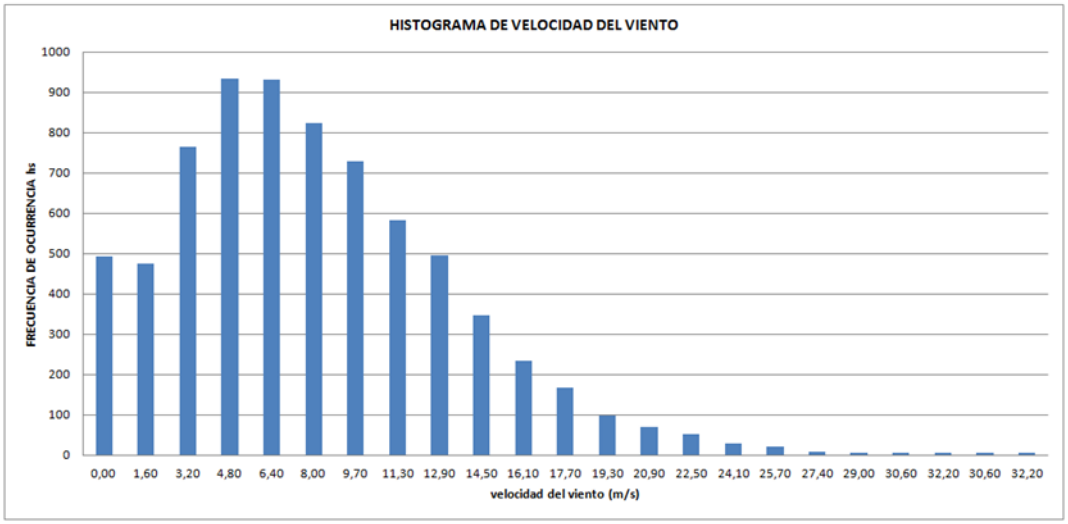


Fig. 2. Histograma de velocidad registrada del viento por medio de la estación meteorológica

El análisis de los registros revela que los vientos predominan en direcciones Este-Oeste, provenientes del río. Aunque estos vientos están acelerados, lo cual es beneficioso para la instalación de aerogeneradores pequeños de alrededor de 2 kW, los aerogeneradores de mayor tamaño enfrentarían desafíos técnicos significativos, como problemas con la base, el mástil y los soportes. Además, las ráfagas de viento presentes no son lo suficientemente intensas como para comprometer la durabilidad de los aerogeneradores, garantizando así su viabilidad.

Los aerogeneradores propuestos son de eje vertical, de la marca MILL SM1-1P. El sistema cuenta con un rack de 3 aerogeneradores de 500 Watts cada uno. Los generadores de estos sistemas poseen una curva de potencia-velocidad del viento optimizada para bajas velocidades, esto puede verse en la Figura 3. Asimismo, los generadores son de flujo axial de imanes permanentes (Flux Permanent Magnet, AFPM). En esta configuración, el flujo magnético se dirige a lo largo del eje del rotor, a diferencia de los motores tradicionales donde el flujo es radial. Comparándolos, este diseño permite una mayor densidad de potencia y una mayor eficiencia que los de flujo radial.

Para el cálculo de la energía producida se necesitan los 2 parámetros descritos:

1. Histograma de velocidades que caracterizan el viento
2. Relación velocidad / potencia del aerogenerador en cuestión

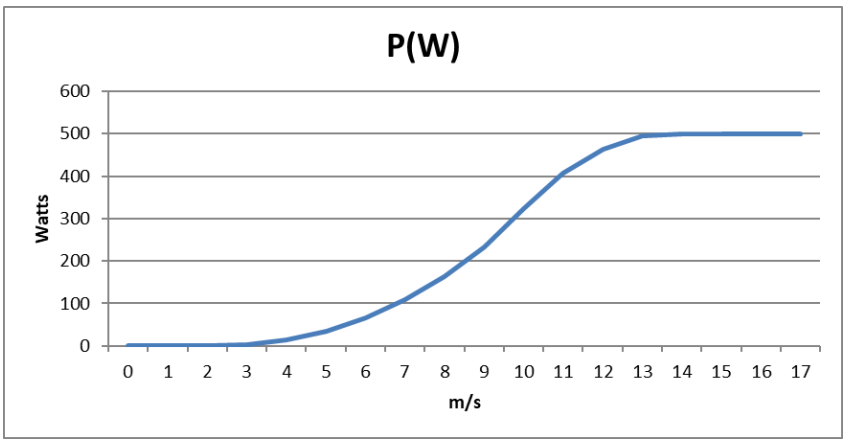


Fig. 3. Curva de potencia de los aerogeneradores propuestos.

Mediante la distribución de Weibull mostrada en la Figura 2 y la curva de potencia de la Figura 3 se puede realizar una predicción de la energía generada por el aerogenerador en cuestión.

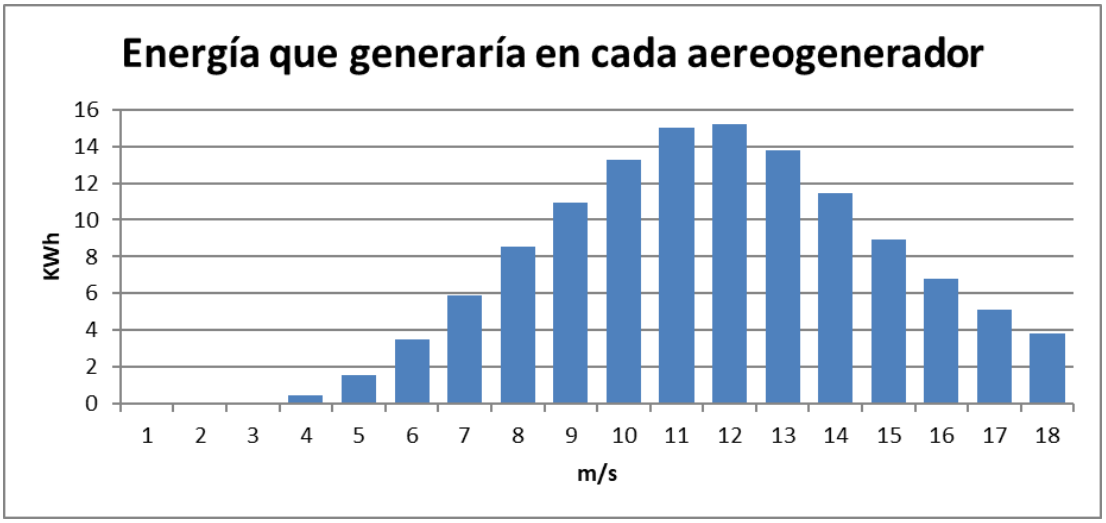


Fig. 4. Energía generada por cada Aerogenerador MILL SM1-1P propuesto en este documento

Como resultados se obtiene que la energía producida sería equivalente a 1088539 Wh/año. Siendo la potencia media registrada 124W por cada aerogenerador.

La propuesta indicada en este documento es el montaje e instalación de 6 aerogeneradores. Un ejemplo de ello se muestra en la Figura 5.

Fig. 5. Ejemplo de instalación de aerogeneradores de eje vertical MILL SM1-1P

Aspectos del recurso solar

El rack fotovoltaico consta de 3 paneles de 340 W inclinados 20° con respecto a la horizontal.
Para la predicción de la generación eléctrica fotovoltaica de la estación híbrida, se empleó el software **NREL PVWatts®**, una herramienta web desarrollada por el National Renewable Energy Laboratory (NREL). Este calculador estima la producción de energía de un sistema fotovoltaico conectado a la red a partir de parámetros de entrada básicos. PVWatts® utiliza una combinación de sub-modelos para prever el rendimiento general del sistema. En la Figura 6, se puede observar el promedio de generación eléctrica fotovoltaica diaria.

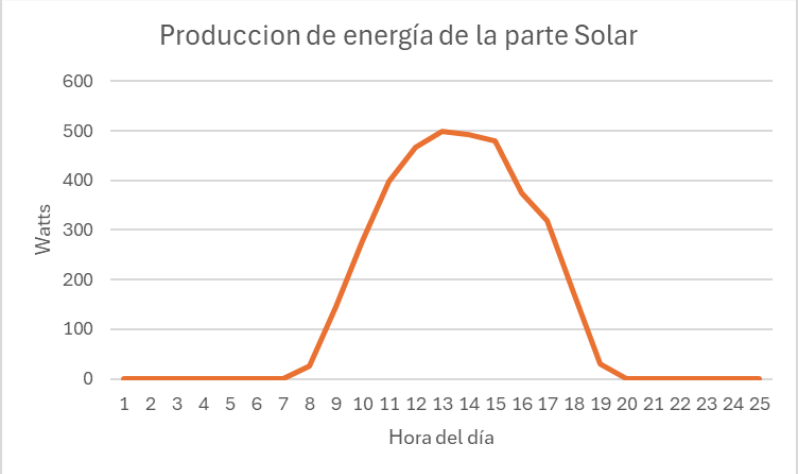


Fig. 6. Producción de energía fotovoltaica diaria

Es importante mencionar el NREL integra varios modelos subyacentes para la estimación precisa de la producción eléctrica de sistemas fotovoltaicos, considerando diversos factores que afectan el rendimiento. El software emplea un modelo de rendimiento del módulo fotovoltaico que calcula la energía generada basándose en las características del panel, como la eficiencia y la temperatura de operación. El modelo de pérdidas de sistema aborda las ineficiencias inherentes en el sistema, incluyendo pérdidas por desajuste, cableado y otros componentes. Asimismo, PVWatts® considera las pérdidas térmicas en los paneles, que afectan el rendimiento del módulo debido a variaciones en la temperatura ambiente. El software también incorpora ajustes para las variaciones en la irradiancia solar y pérdidas por ángulo de inclinación del panel, reflejando cómo estos factores influyen en la eficiencia global del sistema. Estos modelos permiten una evaluación detallada y realista de la producción energética esperada, teniendo en cuenta tanto las condiciones óptimas como las pérdidas asociadas con el funcionamiento práctico del sistema fotovoltaico. A modo de resumen se presenta en la Tabla 1 los resultados de las predicciones de producción de energía fotovoltaica realizado con el software NREL.

Tabla 1. Resultados de la producción de energía eléctrica fotovoltaica para la estación hibrida

Mes	Radiación solar total	Energía AC
	(kWh / m2 / Day)	(kWh)
January	5.98	134
February	5.86	119
March	6.07	139
April	5.73	127
May	4.61	110
June	4.27	98
July	4.34	104
August	5.63	132
September	5.83	130
October	5.85	133
November	5.81	127
December	6.02	134
Anualizado	5.50	1,487

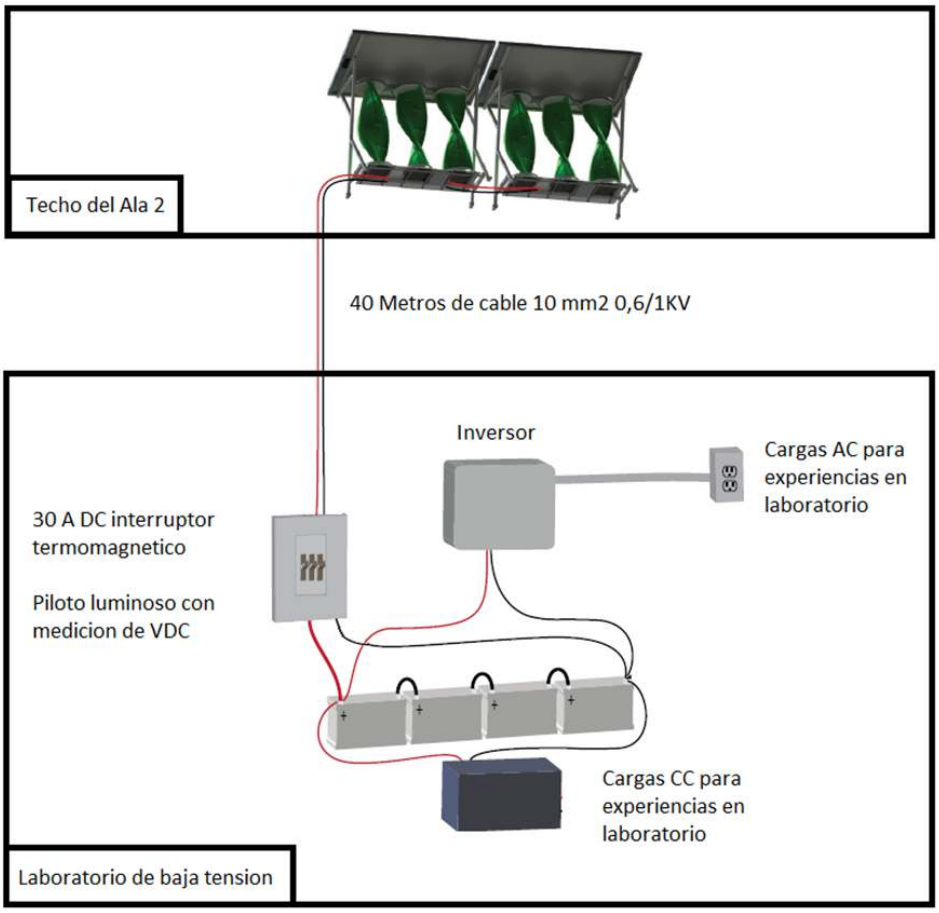


Fig. 7 Diagrama de instalación de equipamiento para la estación de generación eléctrica experimental hibrida Solar fotovoltaica

Aspectos sobre la instalación

La instalación consta de 3 paneles solares de 330 Watts y 6 aerogeneradores de eje vertical. Para explorar la viabilidad y el rendimiento de un sistema híbrido fotovoltaico y eólico en un entorno universitario, se propone la implementación de una instalación on-grid como proyecto piloto. Este sistema integrará paneles solares y aerogeneradores para generar energía en corriente continua, que será convertida en corriente alterna mediante inversores especializados para cada tecnología. La energía alterna de los inversores se consolidará en una caja de conexión equipada con protecciones adecuadas y un medidor bidireccional, que permitirá monitorear la energía consumida de la red y la energía retornada. Esta caja se conectará al panel eléctrico principal, el cual puede incluir un transformador para ajustar el voltaje si es necesario. Adicionalmente, se incorporará un banco de baterías con un inversor de la marca ABB de conexión a la red, destinado a almacenar el excedente de energía generada para su uso en períodos de baja producción o para pruebas adicionales. La instalación estará equipada con dispositivos de protección para garantizar la seguridad y un sistema de monitoreo en tiempo real para evaluar el rendimiento del sistema, proporcionando valiosos datos sobre la eficiencia, la fiabilidad y el impacto de la integración de energías renovables en el contexto universitario.

Sobre el potencial Educativo.

Para aprovechar al máximo el potencial educativo de una estación híbrida fotovoltaica y eólica en un entorno universitario, se propone una serie de trabajos prácticos que incluyen la medición y análisis de la irradiancia solar y la velocidad del viento para evaluar su impacto en la producción energética. Los estudiantes podrán realizar pruebas de rendimiento de los inversores fotovoltaico y eólico, calcular la eficiencia del sistema híbrido, y analizar cómo las condiciones ambientales afectan

la generación de energía. Además, se pueden simular cargas para observar la respuesta del banco de baterías y evaluar las pérdidas en el sistema de almacenamiento. La integración con la red eléctrica será examinada mediante el uso de medidores bidireccionales para monitorizar la energía consumida y la devuelta a la red. Finalmente, se desarrollarán estrategias de gestión de energía para optimizar el uso de la energía generada, y se documentarán los resultados en informes detallados que se presentarán para fomentar la discusión y el aprendizaje en la comunidad académica en futuras publicaciones.

Conclusiones

La instalación de una estación híbrida fotovoltaica y eólica en un entorno universitario ofrece un valioso recurso didáctico al proporcionar una plataforma práctica para la experimentación y el aprendizaje en el campo de las energías renovables. Este sistema permite a los estudiantes experimentar con la integración de tecnologías de generación de energía, evaluar el rendimiento y la eficiencia en condiciones reales, y comprender el impacto de variables ambientales en la producción energética. La capacidad de realizar ensayos sobre el funcionamiento de inversores, la gestión de almacenamiento en baterías, y la interacción con la red eléctrica proporciona una comprensión profunda de los desafíos y oportunidades asociados con los sistemas híbridos. Además, la documentación y análisis de los datos obtenidos fomenta el desarrollo de habilidades analíticas y de resolución de problemas, preparando a los estudiantes para enfrentar las demandas del sector energético. En resumen, la planta piloto no solo enriquece la formación teórica con experiencia práctica, sino que también fortalece la capacidad de los estudiantes para contribuir a la evolución y optimización de tecnologías de energía renovable.

Referencias

Decreto 2371 (2022). Adhiere a la ley nacional n° 27.424, “Régimen de fomento a la generación distribuida de energía renovable integrada a la red eléctrica pública” y lo declara de interés provincial. Buenos Aires

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (2021). Cambio climático 2021 Bases físicas.

Ley 27.424 (2017). Régimen de Fomento a la Generación Distribuida de Energía Renovable integrada a la Red Eléctrica Pública. Argentina

Tielli, M. y Hetze, V. (2017). Comportamiento del viento en la ribera del río Paraná. Congreso Internacional Aguas, Ambiente y Energía. ISBN 978-987-575-171-2

INTEGRACIÓN DE COMPETENCIAS A TRAVÉS DEL APRENDIZAJE BASADO EN PROYECTOS EN INGENIERÍA

Mercedes Soria[1,2], Sonia Oddino, Laura Tosselli[2], Fernando Serassio[1,2], Jacquelina Aimar[1], Agostina Bragas[1], Cristina Márquez[1], Valeria Ortiz Quiroz[2]

[1] Departamento Materias Básicas, Facultad Regional Villa María, Universidad Tecnológica Nacional, Av. Universidad 450, CP 5900

[2] Departamento Ingeniería en Sistemas de Información, Facultad Regional Villa María, Universidad Tecnológica Nacional, Av. Universidad 450, CP 5900

msoria@frvm.utn.edu.ar

Resumen

El Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) es una estrategia didáctica orientada hacia el enfoque por competencias que genera en el estudiante un proceso de autoaprendizaje, así como aprendizaje colaborativo y significativo. El ABP, como recurso para la enseñanza y evaluación, al ser un verdadero ejercicio de roles, enfrenta a los estudiantes a situaciones reales del trabajo ingenieril. El problema planteado impulsa y contextualiza el proceso de aprendizaje, generando experiencias que aumentan la motivación y participación. En este entorno, los estudiantes son responsables de la construcción de su propio conocimiento y desarrollo cognitivo. Un ambiente ABP requiere que los estudiantes comprendan lo que observan, qué es, cómo, dónde y cuándo es posible aplicar un cambio, identificando los elementos de una situación problemática, apelando a conocimientos previos, análisis y vínculos con la situación planteada.
En el marco del presente Proyecto de Investigación en Educación, en la Facultad Regional Villa María, y a partir de los nuevos diseños curriculares, plan 2023, se propone como modalidad pedagógica la enseñanza y evaluación basada en ABP, involucrando los Departamentos de Materias Básicas e Ingeniería en Sistemas de Información.
Este proyecto busca diseñar problemas y proyectos que promuevan la integración de competencias genéricas y específicas. Esta integración de saberes se realizará a través de la propuesta de práctica profesional, adaptando los problemas al nivel de desarrollo de los grupos de estudiantes seleccionados y evitando sesgos en el diseño y soluciones propuestas. Esto se alinea con la carrera en la formación de profesionales capaces de actuar con eficiencia, responsabilidad y creatividad, con una sólida formación técnica, ser competentes para trabajar en equipos interdisciplinarios y desempeñarse en roles directivos. La implementación de estas actividades mejorará las competencias de docentes y estudiantes, estimulará la creatividad y promoverá el aprendizaje significativo, colaborativo y social, permitiendo afrontar nuevos retos educativos en comunidad.

Palabras Clave: Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP), Competencias, Ingeniería.

Introducción

El Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) es una estrategia didáctica orientada hacia el enfoque por competencias que genera en el estudiantado un proceso de autoaprendizaje, así como aprendizaje colaborativo y significativo. El ABP enfrenta a los estudiantes a situaciones reales del trabajo ingenieril, generando experiencias que aumentan la motivación y participación. En este contexto, el proyecto de investigación en educación de la Facultad Regional Villa María propone la integración de competencias generales y específicas en la formación profesional de los ingenieros e ingenieras mediante estrategias de enseñanza interdisciplinarias con perspectiva de género. El

objetivo de este trabajo es presentar los lineamientos de la primera experiencia de ABP como grado de avance en el PID TEECVM0010030 en la carrera de Ingeniería de Sistema de Información (ISI).

A pesar de sus diferencias procedimentales y finalidades, es habitual encontrar un empleo indistinto y asimilado del término ABP, como Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP), del inglés Project Based Learning, y Aprendizaje Basado en Problemas, Problem Based Learning (PBL) cuando nos referimos a ambas metodologías en el ámbito educativo. En el ABP, el alumnado realiza actividades encaminadas a un producto final, mientras que en el PBL se define un problema para su comprensión y posible resolución por medio de un trabajo grupal o un estudio independiente en un tiempo menor (Ferrero et al., 2021; Restrepo-Gómez, 2005; Maudsley, 1999 en (Ruiz Hidalgo & Ortega Sánchez, 2022);Rodriguez-Sandoval et al., 2010)).

El ABP se define como un conjunto de tareas de aprendizaje centrado en la resolución de preguntas-problema y/u objetivos, implicando a los estudiantes en el diseño, planificación, toma de decisiones y procesos de investigación, permitiéndoles trabajar de manera autónoma y culminando en la creación de un producto final. Requiere una planificación sistemática y se centra en tareas que representan un desafío intelectual, no simplemente actividades manuales o periféricas al currículo y una forma de evaluar que acompañe y sea coherente con la dinámica de la estrategia (Kanter, 2010; Rodriguez-Sandoval et al., 2010; Thomas, 2000).

El rol del docente en el ABP es el de un guía que facilita el aprendizaje, motiva, diagnostica problemas, proporciona retroalimentación, ayuda a desarrollar sus habilidades metacognitivas, el razonamiento y pensamiento crítico, por lo tanto, a adquirir una mayor autonomía (Ausín et al., 2016; Johari & Bradshaw, 2008). Las investigaciones han revelado numerosos beneficios para los estudiantes, como conocimientos a largo plazo y una comprensión más profunda de los conceptos aprendidos (Escribano González & Valle López, 2018; Stepien et al., 1993). Un metaanálisis de 164 estudios sobre aprendizaje cooperativo muestra que la colaboración entre estudiantes tiene un impacto positivo significativo en el rendimiento académico (Johnson et al., 2000). Además, los estudiantes que aprenden mediante ABP demuestran mejores habilidades para resolver problemas y pueden aplicar sus conocimientos a situaciones de la vida real más efectivamente que aquellos en clases tradicionales.

El aprendizaje colaborativo, base del PBL, beneficia a estudiantes de todos los niveles académicos, materias, géneros, etnias y niveles de rendimiento (Slavin, 1996). Estas conclusiones respaldan la implementación del ABP como metodologías efectivas para el aprendizaje, destacando su capacidad para preparar a los estudiantes para los desafíos del mundo real y mejorar su rendimiento académico general (Krueger, 2020).

En el marco de las carreras de ingeniería existen múltiples experiencias que dan cuenta de estas generalidades e incluso su aporte en términos de desarrollo de competencias de egreso. Según la Universidad de Aalborg, el ABP facilita el desarrollo de habilidades de estudio independientes, la gestión de la motivación y concentración, y la resiliencia ante desafíos imprevistos. Estos elementos son muy relevantes para la formación en ingeniería, de manera que puedan abordarse problemas reales, al mismo tiempo que se desarrollan y crean soluciones innovadoras. La implementación del ABP no solo mejora la retención de conocimientos técnicos, sino que también prepara a los estudiantes para enfrentar situaciones profesionales con una mentalidad de resolución de problemas y trabajo en equipo (Davidsen et al., 2019; González et al., 2017).

Metodología

Tipo de Investigación

En el presente trabajo se realiza un relevamiento, selección y análisis de investigaciones relacionadas con la aplicación del Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) en diversas disciplinas de ingeniería dentro del contexto latinoamericano. Esta elección metodológica se fundamenta en la

necesidad de comprender cómo se adapta y se implementa esta metodología educativa en regiones con particularidades educativas, económicas y culturales específicas.
Se presenta además un avance de un diseño didáctico-pedagógico de una experiencia de ABP que se implementará en la carrera de Ingeniería en Sistemas que se dicta en la Facultad Regional Villa María de la Universidad Tecnológica Nacional.

Tipo de Diseño

La presente investigación adopta una metodología cualitativa mediante una revisión bibliográfica exhaustiva. El estudio se centra en analizar y sintetizar la literatura existente sobre la aplicación del Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) en la educación en ingeniería dentro de contextos latinoamericanos. Esta revisión bibliográfica es teórica y constituye la primera etapa de una investigación más amplia que tiene como objetivo la implementación de un proyecto áulico (Hernández Sampieri et al., 2014)

Antecedentes: Casos de Implementación de ABP en Cursos de Ingeniería. Panorama Latinoamericano

La implementación de ABP en cursos de ingeniería puede variar significativamente dependiendo del contexto y los objetivos específicos del curso. A continuación, se presenta una revisión de casos de aplicación de ABP en carreras de Ingeniería y en América Latina, dando por resultado interesantes aportes como:

Argentina, Universidad Nacional de Río Cuarto, 2009, se aplicó ABP en la enseñanza de la metodología de investigación a estudiantes de ingeniería. Este enfoque buscó promover un mayor compromiso de los estudiantes con su aprendizaje, integrando diferentes disciplinas para abordar problemas reales y complejos. La experiencia mostró que el ABP ofrece múltiples desafíos y oportunidades para el aprendizaje, fortaleciendo competencias clave como la resolución de problemas y el trabajo en equipo. Entre los desafíos más relevantes presentados en esta experiencia se pueden mencionar: (i) el cambio en el rol de los docentes, pasando de ser transmisores de conocimientos a facilitadores del aprendizaje, lo que significó un cambio en las dinámicas tradicionales de enseñanza; (ii) crear situaciones problemáticas interdisciplinarias y realistas con el objetivo de motivar la aplicación de diferentes competencias por parte de los estudiantes; (iii) modificar forma de evaluación, considerando tanto del proceso de aprendizaje como los resultados. Adicionalmente, como oportunidades se identificaron las siguientes: (i) promover el desarrollo de competencias claves en los estudiantes; (ii) integrar el conocimiento de diferentes áreas; (iii) generar un rol proactivo en el aprendizaje por parte del estudiante, lo que lleva a una mayor motivación por trabajar con problemas reales y complejos (Okulik, 2009).

Brasil, Universidad de São Paulo: En el curso "Planificación y Análisis de Sistemas de Transporte", se implementó Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) combinado con plataformas a distancia entre 2006 y 2015. Se buscó formar profesionales adaptables, mejorando la comprensión y rendimiento mediante problemas reales y trabajo en grupo. Los estudiantes evaluaron positivamente la propuesta, destacando mejoras en trabajo cooperativo y actitud profesional, aunque se enfrentaron a desafíos como el tiempo requerido y la burocracia institucional, especialmente al equilibrar sus responsabilidades académicas con otras obligaciones. Particularmente, los estudiantes manifestaron haber desarrollado una mayor autonomía en el aprendizaje señalando que el uso de plataformas a distancia facilitó el acceso a los materiales y promovió la colaboración continua fuera del aula, permitiendo una mayor flexibilidad en el proceso educativo (Araújo et al., 2017).

Colombia, Universidad de Los Andes: En 2016, dentro de la Maestría en Educación, se desarrolló el curso "Educación en STEM" utilizando ABP basado en proyectos. El objetivo fue promover habilidades como el trabajo en equipo y pensamiento crítico a través de un proyecto de

semestre. Los talleres y discusiones virtuales se enfocaron en el diseño de ingeniería y la integración de disciplinas STEM, resultando en un proceso colaborativo y enriquecedor para los estudiantes. Como resultado de la experiencia, los estudiantes informaron haber desarrollado una mayor capacidad para resolver problemas, un incremento en la capacidad de trabajo en equipo lo que llevó a fortalecer las competencias sociales, como la comunicación efectiva y la gestión de conflictos. Adicionalmente, manifestaron un mayor compromiso con el aprendizaje y una mejora en la comprensión conceptual de los temas que se desarrollaron durante el curso (Tafur et al., 2017).

Colombia, Cursos en Currículos Tradicionales: En programas de Ingeniería, como por ejemplo en los cursos de Control Automático, el ABP se utiliza para integrar conocimientos teóricos y prácticos, considerando las necesidades de la industria y el equilibrio entre teoría y práctica. Se enfatiza el desarrollo de competencias blandas y habilidades técnicas, preparando a los estudiantes para el ejercicio profesional en condiciones simuladas. Entre los beneficios obtenidos por la aplicación de ABP en el presente trabajo se pueden mencionar la integración entre teoría y práctica, el desarrollo de competencias blandas como comunicación efectiva y capacidad de liderazgo, alineación de la currícula con las necesidades planteadas por la industria del país y en general (Fernández Samacá & Ramírez Scarpetta, 2017).

Costa Rica, Universidad Nacional de Costa Rica: Desde 2009, en la carrera de Ingeniería en Sistemas, se adoptó el ABP orientado a proyectos para mejorar la formación profesional. Se integraron problemas reales de la industria en proyectos que evaluaban tanto conocimientos técnicos como habilidades transversales. La evaluación, antes centrada en pruebas escritas, se desplazó hacia proyectos, autoevaluación y coevaluación, reflejando mejor la aplicación práctica del conocimiento (Sandoval Carvajal, Cortés Chavarría, et al., 2017).

Perú, Universidad de Piura: En los cursos de Química General para Ingeniería en Sistemas, se adoptó un enfoque híbrido de ABP para aumentar el interés en las ciencias y conectar la teoría con problemas prácticos. Desde el primer día del semestre, los estudiantes trabajan en grupos donde la evaluación continua no solo mide resultados, sino también mejora el proceso de aprendizaje, así como también el aprendizaje colaborativo entre pares, donde obtienen una retroalimentación constante durante todo el proceso. Por otro lado, uno de los principales desafíos fue la adaptación de los estudiantes al enfoque híbrido de ABP, donde se encontraron con dificultades al asumir un rol más activo en su propio proceso de aprendizaje. Adicionalmente, al trabajar en equipos desde el primer día del semestre, surgieron problemas relacionados con la distribución desigual de responsabilidades entre los miembros del grupo (Cañas Cano, 2017).

La revisión de diferentes aplicaciones del Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) en cursos de ingeniería en América Latina revela una rica diversidad en enfoques y resultados. A través de esta revisión, se identifican varias prácticas metodológicas clave que se valoraron para el diseño de esta primera experiencia. Específicamente, se destacan los siguientes aspectos metodológicos:

- Integración de Disciplinas y Problemas Reales: La experiencia de la Universidad Nacional de Río Cuarto en Argentina y la Universidad Nacional de Costa Rica subrayan la importancia de integrar diversas disciplinas y problemas reales para fomentar un aprendizaje más profundo y aplicado.
- Evaluación Basada en Proyectos y Competencias: Como se observa en Costa Rica y en la Universidad de Los Andes en Colombia, el desplazamiento del enfoque evaluativo de pruebas escritas a proyectos y coevaluaciones resalta la efectividad de evaluar competencias prácticas y transversales.
- Uso de Tecnología y Plataformas a Distancia: La experiencia de Brasil con el uso combinado de ABP y plataformas a distancia entre 2006 y 2015 muestra cómo la tecnología puede facilitar la colaboración y el aprendizaje flexible. Este aspecto será considerado para incorporar herramientas digitales que den soporte y enriquezcan la experiencia de aprendizaje de los estudiantes.

Estos aspectos metodológicos seleccionados se basan en las prácticas exitosas observadas en las experiencias revisadas, y se adaptarán para enfrentar los desafíos y aprovechar las oportunidades del contexto educativo específico de este proyecto.

Diseño e Implementación ABP

Considerando la relación intrínseca entre problema y proyecto, introducimos la descripción del ciclo del aprendizaje basado en problemas según Hmelo-Silver (2004) en la Figura 1.

Suzie Boss junto a Jane Krauss, autoras de múltiples estudios sobre ABP entienden que el ABP efectivo requiere una planificación e implementación cuidadosa y que el proceso incluye varios pasos clave: diseñar el proyecto con objetivos de aprendizaje claros en mente, formular una pregunta guía que enfoque la investigación, planificar las estrategias de evaluación para medir el aprendizaje de los estudiantes, organizar el calendario del proyecto y asegurar que se disponga de recursos y apoyos adecuados. Además, es esencial construir una cultura de indagación y colaboración donde los estudiantes se sientan empoderados para asumir la responsabilidad de su aprendizaje" (Boss & Krauss, 2018).

De este modo, se destaca la integración de los procesos de PBL y ABP, desde ambas perspectivas, resaltando la planificación, la formulación de preguntas guía, la evaluación continua y el empoderamiento de los estudiantes como sujetos centrales de su propio proceso de aprendizaje, cuestión clave para el éxito de ambas metodologías.

Figura 1: Ciclo de Aprendizaje en el marco del PBL. Elaboración propia a partir de Hmelo-Silver (2004).

Avances en el Diseño Didáctico-Pedagógico de la Primera Experiencia en ABP

Se plantearon diferentes propuestas de proyectos para la realización de la primera implementación de ABP; de ellas quedó seleccionada la idea de plantear el problema que presentan los estudiantes a la hora de viajar a la universidad para tomar sus clases y poder abaratar los costos de transporte, utilizando alguna propuesta alternativa que además, resulte segura.

En la búsqueda de definir las partes fundantes de la actividad, el grupo de investigación, con la idea de proyecto definida, comenzó a delinear los aspectos centrales de la actividad. Esto incluye establecer el cronograma, los perfiles que debe definir cada grupo, los conocimientos y recursos necesarios, las estrategias y acuerdos de evaluación entre las asignaturas participantes, los hitos de control y presentación de informes de avance. No es menor, en este escenario, asegurar que se disponga de recursos y apoyos adecuados para la realización de la actividad, incluyendo licencias y otros requisitos necesarios, para la correcta ejecución de la experiencia.

El alcance del proyecto es llegar a presentar un MVP (mínimo producto viable) siguiendo todas las etapas del desarrollo de software y gestión de proyecto. Para la definición de MVP, los estudiantes deberán establecer, de acuerdo a tiempo y recursos disponibles, cuáles serán las actividades con las que se comprometen en relación al proyecto presentado.

La participación de los estudiantes, en esta primera experiencia, será voluntaria de manera tal de contar con el compromiso y la responsabilidad de los estudiantes al decidir participar. Para ello, se realizará una convocatoria a grupos de participación, que pueden conformarse con estudiantes del tercer y cuarto nivel de la carrera. Como mínimo se requiere la participación de tres grupos de entre 5-6 estudiantes, se estima comenzar la convocatoria de los postulantes durante la primera semana de octubre para conformar dichos grupos.

En el cronograma compartido con los grupos se hará énfasis en el cumplimiento de los hitos de control de manera de garantizar el avance de las actividades. Los docentes tutores serán aquellos que participan del proyecto de investigación, aunque se espera la colaboración de docentes que puedan aportar conocimientos específicos para el desarrollo de los proyectos. Los estudiantes, si bien podrán solicitar asistencia para resolver dudas o plantear posibilidades de desarrollo, las decisiones siempre deberán tomarlas ellos mismos, como grupo. De este modo, se espera que la docencia, si detecta que algo no podrá llevarlos a la solución deseada, les plantee preguntas de modo tal de que puedan darse cuenta o valorar los errores que pudieran plantearse. La docencia, por su parte, llevará un registro compartido de las consultas realizadas individual o grupalmente, a los fines de documentar la experiencia y obtener un seguimiento más detallado del proceso de aprendizaje a través de la metodología ABP. Es relevante sostener la mirada grupal, de modo tal que hacia el interior y solo entre pares puedan resolver los desacuerdos y sostener la independencia frente a la docencia de las decisiones que a cada paso deberán enfrentar

En el marco del ABP, la definición de objetivos de aprendizaje es fundamental para guiar y organizar la actividad educativa. La centralidad del estudiante como protagonista activo de su aprendizaje, promueve el desarrollo de competencias tanto genéricas como específicas, muchas de ellas transversales a la carrera. Para garantizar que los estudiantes alcancen los resultados esperados, es importante definir con claridad las competencias que la actividad busca desarrollar. Además, es posible considerar cómo este trabajo puede contribuir a la consecución de resultados de aprendizajes propios de las asignaturas intervinientes.

En esta primera aproximación a las definiciones ya pueden detallarse algunas de estas competencias, así como el aporte a los alcances profesionales y actividades reservadas detalladas

en el diseño curricular de la carrera (Figura 2), según ordenanzas vigentes (Universidad Tecnológica Nacional, 2022a; Universidad Tecnológica Nacional, 2022b).

Figura 2: Distintos Niveles de Aporte de la Experiencia de ABP "Uber Universitario" al perfil y competencias de egreso del ISI. Elaboración propia

Se consideraron dos formas para la presentación del propósito que orienta la actividad del estudiantado:
Una pregunta: ***¿Cómo diseñar una aplicación de uso exclusivo de la comunidad universitaria local que resuelva y optimice los recursos asignados al transporte universitario?***
Esta pregunta centraliza la atención en la resolución de un problema específico y en la optimización de recursos, incentivando a los estudiantes a investigar y proponer soluciones innovadoras.
Un objetivo: ***Desarrollar una aplicación móvil que permita a los estudiantes de la universidad coordinar viajes compartidos desde y hacia la institución, enfocándose en la seguridad y exclusividad para la comunidad estudiantil.***
Este objetivo proporciona una meta tangible y específica, guiando a los estudiantes en la creación de una solución práctica y funcional.

Una aproximación a las actividades que deberán desarrollar los estudiantes podría ser:

1. Desde el objetivo/pregunta, definir la problemática a la que su solución deberá dar respuesta.
2. A partir de las necesidades detectadas deberán avanzar en la definición y alcance de su solución.

3. Establecer las necesidades en términos de conocimiento en relación a las asignaturas que forman parte de la carrera detallando las decisiones tomadas en relación a desarrollo e implementación.
4. Definir actividades, construir un cronograma y dividir responsabilidades hacia el interior del equipo.
5. Presentarán la primera versión del informe a la docencia detallando todos los aspectos técnicos, operativos y de gestión.
6. Desarrollar el Prototipo
7. Evaluar el Prototipo: podrán optar si se la requieren a un docente o la realizan entre grupos (por pares) o si es solo una Autoevaluación del propio grupo.
8. Presentar la segunda versión del informe general a la docencia
9. Elaborar un instructivo para los usuarios

Con el caso propuesto para aplicar ABP, los estudiantes podrán demostrar la aplicación real de la actividad reservada “Especificar, proyectar y desarrollar sistemas de información cuya utilización pueda afectar la seguridad”. Esta está estrechamente ligada a las competencias específicas, alcances y competencias genéricas, con las actividades propuestas en el proyecto.
En la Figura 3, se despliega un ejemplo de las relaciones planteadas entre los diferentes elementos mencionados, es decir, actividades reservadas del plan de ingeniería en sistemas, actividades propuestas para la aplicación del ABP, competencias genéricas y competencias específicas.

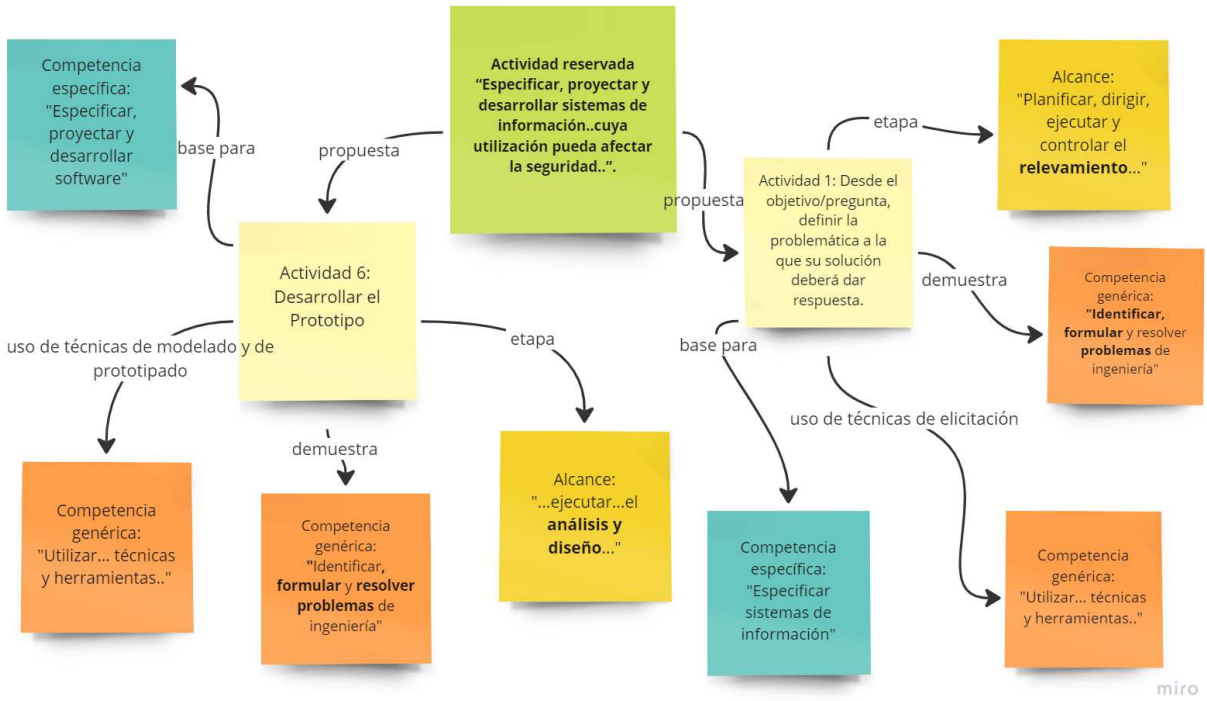


Figura 3: Ejemplo de esquema de relaciones entre actividades reservadas del plan de ingeniería en sistemas, actividades propuestas para la aplicación del ABP, competencias genéricas y competencias específicas. Elaboración propia.

Conclusiones

El Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) se revela como una metodología educativa innovadora y efectiva para la formación de ingenieros e ingenieras, integrando competencias generales y específicas a través de la resolución de problemas reales y la colaboración interdisciplinaria. Esta

estrategia no solo promueve el autoaprendizaje y el pensamiento crítico, sino que también motiva a los estudiantes al enfrentarse a situaciones concretas que los aproxima a la práctica profesional.

En el diseño y planeamiento de la experiencia, se prioriza una evaluación formativa, que permite el desarrollo continuo de los estudiantes. Esta forma de evaluar se caracteriza por ofrecer retroalimentación constante, lo cual es importante para que los estudiantes puedan identificar sus errores y mejorar su aprendizaje en tiempo real. La retroalimentación oportuna les brinda la posibilidad de cerrar la brecha entre el nivel de conocimiento adquirido y el nivel deseado. En las experiencias de ABP la evaluación es integral, conocimientos técnicos, trabajo en equipo, comunicación efectiva, y el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico, fortaleciendo habilidades transversales esenciales para el desempeño profesional.

Los lineamientos esbozados para su primera implementación denominado "Uber Universitario", comienzan a plantear un marco de trabajo para la experiencia. La creación de una aplicación móvil para la coordinación de viajes compartidos entre estudiantes ofrece una experiencia de aprendizaje práctica y relevante, alineada con las necesidades reales del entorno universitario. Por último, esta actividad presenta un desafío para la docencia en cuanto a diseñar, guiar y evaluar experiencias de aprendizaje que trascienden el contexto áulico tradicional, entrelazándose con otras asignaturas y docentes en un marco de evaluaciones y seguimientos compartidos. Los avances en el diseño de esta primera implementación son el inicio de un trabajo que promete mejorar tanto las competencias estudiantiles como docentes.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo financiero brindado por el proyecto PID TEECVM0010030 “Integración de Competencias Genéricas y Específicas a través de Estrategias Interdisciplinarias de Enseñanza con Perspectivas de Género”.

Referencias

Araújo, U. F., Loyolla, W., Garbin, M. C., & Costa Cavalcanti, C. (2017). A formação de engenheiros no Brasil pela Universidade Virtual do Estado de São Paulo. En F. A. González, M. C. Ramírez, F. Rodríguez-Mesa, & A. Guerra (Eds.), *Aprendizaje basado en problemas y educación en ingeniería Panorama latinoamericano* (pp. 59-78). Aalborg University Press.

Ausín, V., Abella, V., Delgado, V., & Hortigüela, D. (2016). Aprendizaje Basado en Proyectos a través de las TIC: Una Experiencia de Innovación Docente desde las Aulas Universitarias. *Formación Universitaria*, *9*(3), 31-38. https://doi.org/10.4067/S0718-50062016000300005

Boss, S., & Krauss, J. (2018). *Reinventing project-based learning: Your field guide to real-world projects in the digital age* (Third edition). International Society for Technology in Education.

Cañas Cano, M. F. (2017). Química General con ABP para los primeros ciclos de Ingeniería. En F. A. González, M. C. Ramírez, F. Rodríguez-Mesa, & A. Guerra (Eds.), *Aprendizaje basado en problemas y educación en ingeniería Panorama latinoamericano* (pp. 139-163). Aalborg University Press.

Davidsen, J., Emtkjær, P. B., Holgaard, J. E., & Therkildsen, H. F. (2019). Study competencies: Communication, motivation, resilience, study technique and learning. *Aalborg Universitet*, 14.

Escribano González, A., & Valle López, A. del (Eds.). (2018). *El aprendizaje basado en problemas (ABP): Una propuesta metodológica en educación superior* (3a. edición). Narcea S.A. de Ediciones.

Fernández Samacá, L., & Ramírez Scarpetta, J. M. (2017). Modelo de Aprendizaje Basado en Proyectos para Cursos en Currículos de Educación Tradicional. Caso: Sistemas de Control. En F. A. González, M. C. Ramírez, F. Rodríguez-Mesa, & A. Guerra (Eds.), Aprendizaje basado en problemas y educación en ingeniería Panorama latinoamericano (pp. 79-99). Aalborg University PressGonzález,

Guerra, A., Rodríguez-Mesa, F., González, F. A., & Ramírez, M. C. (Eds.). (2017). Aprendizaje basado en problemas y educación en ingeniería Panorama latinoamericano. Aalborg University Press.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw Hill Interamericana.

Hmelo-Silver, C. E. (2004). Problem-Based Learning: What and How Do Students Learn? *Educational Psychology Review*, *16*(3), 235-266. https://doi.org/10.1023/B:EDPR.0000034022.16470.f3

Johari, A., & Bradshaw, A. C. (2008). Project-based learning in an internship program: A qualitative study of related roles and their motivational attributes. *Educational Technology Research and Development*, *56*(3), 329-359. https://doi.org/10.1007/s11423-006-9009-2

Johnson, D., Johnson, T., & Stanne, M. (2000). *Cooperative learning methods: A meta-analysis*.

Kanter, D. E. (2010). Doing the project and learning the content: Designing project-based science curricula for meaningful understanding. *Science Education*, *94*(3), 525-551. https://doi.org/10.1002/sce.20381

Krueger, N. (2020, mayo 19). *ISTE | El caso del aprendizaje basado en proyectos*. https://iste.org/blog/the-case-for-project-based-learning

Okulik, N. B. (2009, diciembre). Aprendizaje basado en problemas. Una experiencia con alumnos de carreras de Ingeniería. *Revista Argentina de Enseñanza de la Ingeniería*, *10*(19). https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/216046

Rodriguez-Sandoval, E., Vargas, E., & Luna, J. (2010). Evaluación de la estrategia aprendizaje basado en proyectos. *Educación y educadores, ISSN 0123-1294, Vol. 13, Nº. 1, 2010*.

Ruiz Hidalgo, D., & Ortega Sánchez, D. (2022). El aprendizaje basado en proyectos: Una revisión sistemática de la literatura (2015-2022). *Human Review: International Humanities Review / Revista Internacional de Humanidades*, *14*(6), 1-14.

Sandoval Carvajal, M. M., Cortés Chavarría, R., Porras Piedra, E., & Lizano Madriz, F. (2017). ABP desde las trincheras: Un caso de estudio en la enseñanza de la Ingeniería de Sistemas. En F. A. González, M. C. Ramírez, F. Rodríguez-Mesa, & A. Guerra (Eds.), *Aprendizaje basado en problemas y educación en ingeniería Panorama latinoamericano* (pp. 44-58). Aalborg University Press.

Slavin, R. (1996). Research on Cooperative Learning and Achievement: What We Know, What We Need to Know. *Contemporary Educational Psychology - CONTEMP EDUC PSYCHOL*, *21*, 43-69. https://doi.org/10.1006/ceps.1996.0004

Stepien, W. J., Gallagher, S. A., & Workman, D. (1993). Problem-Based Learning for Traditional and Interdisciplinary Classrooms. *Journal for the Education of the Gifted*, *16*(4), 338-357. https://doi.org/10.1177/016235329301600402

Tafur, M., Restrepo, A., & Hernández, C. (2017). Promoción de Educación en Ingeniería desde una Propuesta STEM Orientada por Proyectos. En F. A. González, M. C. Ramírez, F. Rodríguez-Mesa, & A. Guerra (Eds.), *Aprendizaje basado en problemas y educación en ingeniería Panorama latinoamericano* (pp. 164-178). Aalborg University Press.

Thomas, J. (2000). *A Review of Research on Project-Based Learning*.

Universidad Tecnológica Nacional (2022a). *Ordenanza N° 1877 sobre Diseño curricular de Ingeniería en Sistemas de Información*. Plan 2023. Buenos Aires: Universidad Tecnológica Nacional, Rectorado.

Universidad Tecnológica Nacional (2022b). *Ordenanza N° 1878 sobre Régimen de correlatividades de la carrera Ingeniería en Sistemas de Información*. Plan 2023. Buenos Aires: Universidad Tecnológica Nacional, Rectorado.

CANSAT EN FAVOR DE APRENDIZAJES RESIGNIFICADOS

Santino Calderon[1], Daniel Musso[1], Rodolfo Podadera[1]

[1]Grupo de Investigación en Robótica y Control (GIROC), Departamento de Ingeniería Electrónica, Facultad Regional San Francisco, Universidad Tecnológica Nacional, Avenida de la Universidad 501 cp:2400, San Francisco (Córdoba).
rpodadera@facultad.sanfrancisco.utn.edu.ar

Resumen

El presente trabajo de investigación pretende desplegar la inclusión y el aprendizaje por intermedio del sistema Cansat con estrategias pedagógicas, en estudiantes de nivel medio (NM).
Evidenciando la ausencia de campos cognitivos tendientes a incorporar tópicos científicos y tecnológicos a este sustancial campo, es que nuestro escenario posmodernidad solicita dicha incorporación en aspectos específicos de conocimientos desde lo curricular prescripto. Teniendo en cuenta que la estructura del sistema educativo del nivel mencionado, no incluye temática relacionada con fabricación y manipulación de satélites como un contenido transversal para trabajar, lo que no facilita que los estudiantes se acerquen a la misma.
Esta producción permite avanzar en el desarrollo y ejecución de sistemas Cansat, los que serán utilizados como herramienta educativa que proporcione el primer paso a las instituciones de nivel medio, para acceder a la enseñanza de tal riguroso tema, sin que sea necesario contar con conocimientos previos en el área específica.
Proporcionando a los estudiantes la experiencia nacida de abordar dichos temas desde la faz del conocimiento práctico y propiciando la inclusión de nuevas tecnologías y probablemente la posible orientación para realizar estudios superiores relacionados con tecnología e ingenierías.

Palabras Clave: Cansat, aprendizajes resignificados, tecnología pedagógica, didactización, enseñanza.

Introducción

Cierto número de jóvenes al finalizar los estudios secundarios se acercan al mercado laboral, otros a carreras de corta duración y cierto porcentaje de estos lo ocupan quienes confían en sus posibilidades de estudiar una carrera de grado e inician la misma.
La imposibilidad de poder analizar de manera acabada las carreras disponibles, junto con el poco interés que pudo verse en los adolescentes analizados presuponen que por ejemplo la carrera ingeniería electrónica es demandante y prefieren elegir otro tipo de estudios superiores que sea de menor duración. En otra arista del análisis se cuenta con la necesidad que tiene el país de poder contar con mayor cantidad de ingenieros que puedan resolver desafíos vinculados al desarrollo de la matriz productiva nacional (ITBA, 2021).

Con el propósito de promover, incentivar y fortificar vocaciones científicas tecnológicas en adolescentes de escuelas secundarias, buscando incluir tecnologías espaciales en dichas instituciones y tratando de generar inquietudes en áreas como, electrónica a nivel hardware y programación a nivel software se comienza con el diseño de un nano satélite no orbital ya que el mismo no es un cuerpo que gira alrededor de un planeta y tiene el tamaño de lata de gaseosa, por eso su nombre que la primer silaba Can en inglés significa lata y Sat es la abreviatura de satélite (ESA, 2022).
El dispositivo final que se obtenga será utilizado como parte de una estrategia pedagógica que resignifique conocimientos y despierte vocaciones en la faz tecnológica.

Materiales y métodos

Se diseñó un satélite artificial, no orbital, para ser lanzado a través de diferentes medios de elevación a diferentes alturas, teniendo presente que, si las mismas son menores a ciento veinte metros, se lo elevará con un dron, mientras que si se planifican misiones a alturas mayores el lanzamiento

deberá ser realizado por otro medio de elevación, por ejemplo, a través de un cohete. Este producto persigue la finalidad de obtener datos del ambiente, como por ejemplo temperatura, humedad, presión atmosférica, imágenes y otros datos relacionados con la ubicación del aparato, lo cual ayuda a poder adquirir la mayor cantidad de información del medio ambiente en el lugar donde sea lanzado, para de esa manera tratar de realizar lazos para controlar el mismo. La adquisición de información, detallada se producirá durante el ascenso y descenso del mismo. Para bajar a tierra el mecanismo será soportado por la apertura de un paracaídas que lo protegerá.

La premisa que se tuvo en la etapa de bosquejo es la que gobierna la construcción de este tipo de unidades, en los cuales, la circuitería completa debe estar contenida en un recipiente del tamaño de una lata de gaseosa (ESA, 2022).

Por lo cual la arquitectura de hardware desarrollada debe ser de placa circulares y de manera tubular de esa forma ingresan dentro del contenedor como se puede apreciar en la Fig. 1, la cual soporta la unidad de medición.

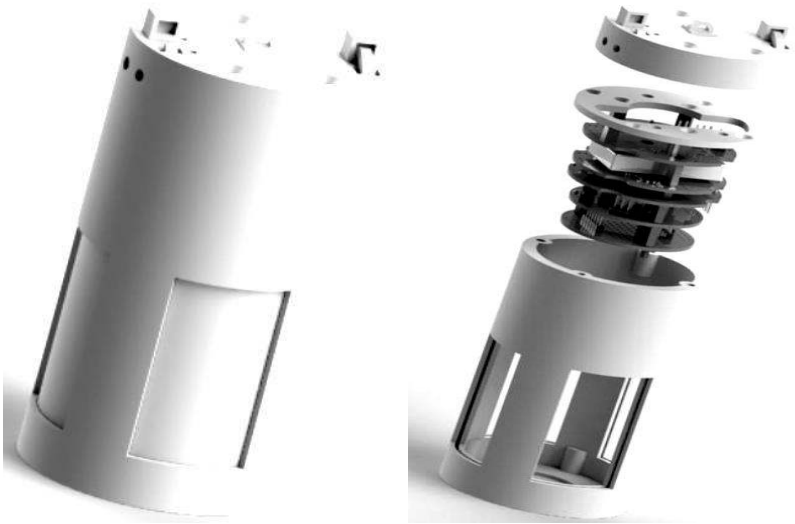


Fig. 1. Estructura tubular CanSat (contenedor)

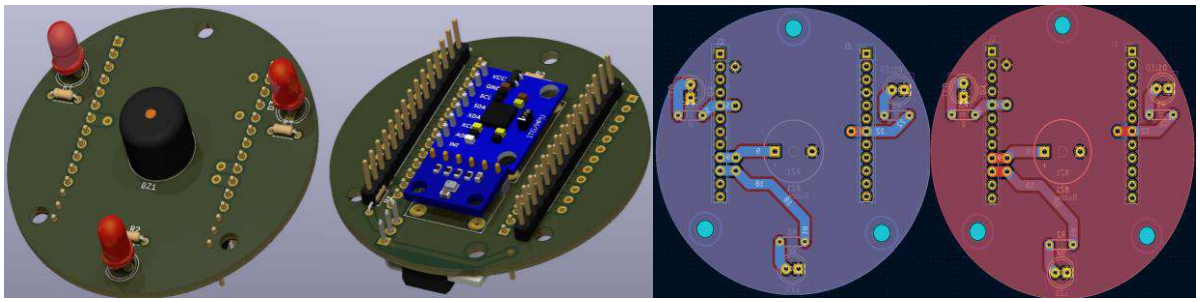


Fig. 2. Placas diseñadas

Se diagramaron dos maneras distintas para construirlo, las cuales se diferencian en el manejo de la información que pueda obtener en sus lanzamientos. La primera de ellas es almacenar datos provenientes de los sensores en una memoria de estado sólido, la cual una vez finalizada la misión y habiendo descendido, permitirá acceder a la información trabajarla o analizarla.

La segunda opción permite transmitir en tiempo real desde el aparato hacia una estación de monitoreo situada en tierra, la cual se podrá analizar y procesar en el tiempo que suceda “online” permitiendo, guardar los mismos en stack de datos para analizarlos cuando se lo decida. En el diseño del piso tecnológico del Cansat se analizaron diferentes opciones tecnológicas disponibles (Bulut, N. et al., 2013).

Lo atinente a hardware y programación específica que dan forma y sustentan al satélite, se realiza para ser utilizado como herramienta pedagógica en estudiantes de nivel secundario. Persiguiendo a través de ella que los mismos ingresen en tecnología espacial y puedan incrementar sus conocimientos de diferentes productos tecnológicos analizados como sistemas y también como parte de otro de mayor tamaño y así reforzar temáticas con el uso de tecnologías específica diseñada a tal fin.

Lo anteriormente descripto se encuentra enmarcado en un proyecto de investigación y desarrollo (PID) en curso homologado, de la Universidad Tecnológica Nacional y uno de los objetivos que tiene el mismo es lograr que los estudiantes de nivel medio, muestren y demuestren incumbencias suficientes que les permita fortalecer y enriquecer la didáctica de sus conocimientos a fin de que se los encamine hacia la ciencia y tecnología, en el ámbito de la especificidad de carreras de ingeniería, que se articula en nuestra sociedad progresiva.
En la industria satelital, cada satélite puesto en órbita, ya sea de manera comercial o no, es proyectado y diseñado en torno a una misión con metas específicas. Las cuales tienen una duración de varios años, y dependen de las características del satélite y de su objetivo. Además, se debe tener en cuenta que los satélites tienen la capacidad de realizar intercambios de datos de telemetría e información de cada una de sus misiones. Todos ellos cuentan con estaciones de control en bases terrestres.

Los satélites científicos, entre las posibilidades de medición, están equipados con diferentes sensores para que puedan realizar mediciones por ejemplo de niveles de contaminación, el estudio de fenómenos de la atmósfera, concentración de gases, análisis de cultivos, entre otras tantas de las diversas aplicaciones que se le pueden encontrar.
En cada una de las misiones que se efectúen, necesita de la elevación del satélite Cansat a diferentes alturas, la que dependerá de manera fundamental del método de elevación y se comenzará la medición en los ascensos y fundamentalmente en los descensos controlados donde, se realiza la recolección de los datos suministrados por los sensores. Dicha información se recibirá en la estación de monitoreo (en tiempo real, para aquellas versiones dotadas del módulo de transmisión respectivo, transceptor) y fuera de tiempo para aquellas otras en las cuales la medición sea almacenada en memorias de estado sólido que luego se trabajará con los datos allí guardados y podrá visualizarse en un programa de computadora, desde el cual se los exportará para un análisis en detalle de los mismos. Las misiones realizadas con la plataforma Cansat, tienen la misma metodología de planificación que las realizadas en satélites orbitales, lo que permite que los estudiantes puedan realizar experiencias de planificación y desarrollo de misiones espaciales. Las medidas utilizadas para poder realizar y así construir el satélite Cansat, están estandarizadas y para el desarrollo de este proyecto se tuvo en cuenta el reglamento que utiliza la Agencia Espacial Europea en sus competencias Cansat. Se observa en la Fig. 2, la forma y el tamaño de las plataformas tecnológicas que permiten realizar el satélite, las cuales se encuentran en forma de pila dentro del contenedor, que se aprecia en la figura 1.

En la etapa de fabricación, se decidió realizar el producto con placa arduino nano, se puede fabricar la misma con módulos compatibles con dicha plataforma, como los que se detallan:

- ✓ Sensor de radicación UV (CJMCU GUVA-S12S).
- ✓ Módulo de tarjeta micro SD.
- ✓ Giróscopo-acelerómetro (MPU 6050).
- ✓ Sensor de presión atmosférica y temperatura (BMP-280)
- ✓ Arduino Nano se encarga de procesar toda la información

Otra opción que se tenía posible era realizarlo con **Esp32 de la empresa Espressif Systems**, la cual además de tener una antena Wifi también tiene capacidad de comunicarse vía Bluetooth.

Fig. 3. Arduino nano (base tecnológica para Cansat) y Esp 32

La consigna a tener en cuenta para la realización del diseño del Cansat fue utilizar componentes de inserción con el objetivo de facilitar la fabricación del mismo, la cual incluye el diseño y la impresión del circuito, la transferencia a la placa, la perforación de la placa impresa, printed circuit board (PCB), el montaje de sus componentes y el soldado de los mismos.

Además del diseño y fabricación de la carcasa, el mismo se compone por placas circulares, las cuales se conectan entre sí por medio de pines y permiten la intercomunicación de datos y alimentación. En la circuitería de placa se encuentra la sección de alimentación compuesta por una batería de 9V, un regulador de tensión 7805, capacitores que ayudan a evitar oscilaciones en el regulador de cinco voltios regulados 5V y también 9V respectivamente. Está montado el módulo de tarjeta micro SD, giróscopo-acelerómetro. También se encuentra el BMP-280. Existe también una tensión de alimentación de 5V son utilizados para la alimentación de los sensores, leds y buzzer cuya función está definida para poder encontrar el dispositivo cuando se realice una misión nocturna. Los 9V se utilizan para una resistencia de valor resistivo bajo, que al circular por ella corriente permite quemar el hilo que mantiene al paracaídas cerrado.

El contenedor de Cansat se realizó en impresión 3D. Se compone por un cilindro con aberturas necesarias para acceder a la tarjeta micro SD y tapas en ambos extremos. El paracaídas es hexagonal, debido a que un hexágono está compuesto por seis triángulos iguales, de acuerdo con los cálculos realizados por ingenieros graduados en UTN, que participaron del anterior proyecto de investigación y desarrollo que se llevó adelante y finalizó exitosamente. Los triángulos deben tener una base de ciento setenta y tres (173) mm y una altura de ciento cincuenta (150) mm, la longitud de las cuerdas del paracaídas es de cuatrocientos treinta y dos (432) mm y el paracaídas es de nylon.

Porciones de código de programas

Líneas de programación que permiten testear sensores

```
// Variables Sensor UV
float sensorVoltage;
float sensorValue;

//Librerias Sensor MPU6050
#include "Wire.h"
#include <MPU6050_light.h>

//Variables Sensor MPU6050
MPU6050 mpu(Wire);
long timer = 0;

//Librerias Sensor BMP280
//#include <Wire.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <Adafruit_BMP280.h>

//Variables Sensor BMP280
```

```
Adafruit_BMP280 bmp;
float TEMPERATURA;
float PRESION;

void setup() {
  //Setup Sensor UV
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Setup Sensor UV");
  pinMode(A1, OUTPUT);

  //Setup Sensor MPU6050
  //Serial.begin(9600);
  Serial.println("Setup Sensor MPU6050");
  Wire.begin();

  byte status = mpu.begin();
  Serial.print(F("MPU6050 status: "));
  Serial.println(status);
  while(status!=0){ }

  Serial.println(F("Calculating offsets, do not move MPU6050"));
  delay(1000);
  mpu.calcOffsets(true,true);
  Serial.println("Done!\n");

  //Setup Sensor BMP280
  //Serial.begin(9600);
  Serial.println("Setup Sensor BMP280");
  Serial.println("Iniciando:");
  if ( !bmp.begin() ) {
    Serial.println("BMP280 no encontrado !");
    while (1);
  }
}

''''''''''''''''''''''

// Variables Sensor UV
float sensor_voltage;
float sensor_value;
unsigned long id_sensor_uv = 1;

//Librerias Sensor MPU6050
#include "Wire.h"
#include <MPU6050_light.h>

//Variables Sensor MPU6050
MPU6050 mpu(Wire);

float aceleracion_en_x = 0;
float aceleracion_en_y = 0;
float aceleracion_en_z = 0;

float  giroscopio_en_x = 0;
float  giroscopio_en_y = 0;
float  giroscopio_en_z = 0;

float  aceleracion_en_angulo_x = 0;
float  aceleracion_en_angulo_y = 0;

float  angulo_en_x = 0;
float  angulo_en_y = 0;
```

```
float  angulo_en_z = 0;

//Librerias Sensor BMP280
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <Adafruit_BMP280.h>

//Variables Sensor BMP280
Adafruit_BMP280 bmp;
float temperatura;
float presion;

unsigned long id_temperatura = 1;
unsigned long id_presion = 1;

//Variables MicroSD
#include <SPI.h>
#include <SD.h>

#define SSpin 10
File archivo;

/* <--------------------------------------------------> */

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Inicio Setup");
  //Setup Sensor UV
  pinMode(A1, OUTPUT);

  //Setup Sensor MPU6050
  Wire.begin();
  Serial.println("Pre MPU");
  //byte status = mpu.begin();
  //while(status!=0){ }
  Serial.println("MPU Pasado");

  delay(1000);
  //mpu.calcOffsets(true,true);

  Serial.println("Pre BMP");
  //Setup Sensor BMP280
  //if ( !bmp.begin() ) while (1);
  Serial.println("BMP Pasado");
  Serial.println("Pre SD");

  //Setup MicroSD
  if ( !SD.begin(SSpin)) {
    Serial.println("fallo en inicializacion !");// si falla se muestra texto
correspondiente y
    return;                       // se sale del setup() para finalizar el
 programa
  }
  Serial.println("inicializacion correcta");
}

void loop() {
  sensor_uv();
  //sensor_MPU_6050();
  //sensor_BMP_280();
}
/* <--------------------------------------------------> */
```

```
void sensor_uv()
{
  Serial.println("Sensor UV");
  sensor_value = analogRead(A1);
  sensor_voltage = sensor_value / 1024 * 5.0;

  if(guardar_datos(sensor_voltage, id_sensor_uv, "sensorUV.txt")) id_sensor_uv++;
  Serial.println(sensor_voltage);
}
void sensor_MPU_6050()
{
  //mpu.update();

  //aceleracion_en_x = mpu.getAccX();
  //aceleracion_en_y = mpu.getAccY();
  //aceleracion_en_z = mpu.getAccZ();

  //giroscopio_en_x = mpu.getGyroX();
  //giroscopio_en_y = mpu.getGyroY();
  //giroscopio_en_z = mpu.getGyroZ();

  //aceleracion_en_angulo_x = mpu.getAccAngleX();
  //aceleracion_en_angulo_y = mpu.getAccAngleY();

  //angulo_en_x = mpu.getAngleX();
  //angulo_en_y = mpu.getAngleY();
  //angulo_en_z = mpu.getAngleZ();
}

void sensor_BMP_280()
{
  //temperatura = bmp.readTemperature();
  //presion = bmp.readPressure()/100;

  //if(guardar_datos(temperatura, id_temperatura, "temperatura.txt"))
 id_temperatura++;
  //if(guardar_datos(presion, id_presion, "presion.txt")) id_presion++;
}
```

Presentación de magnitudes obtenidas

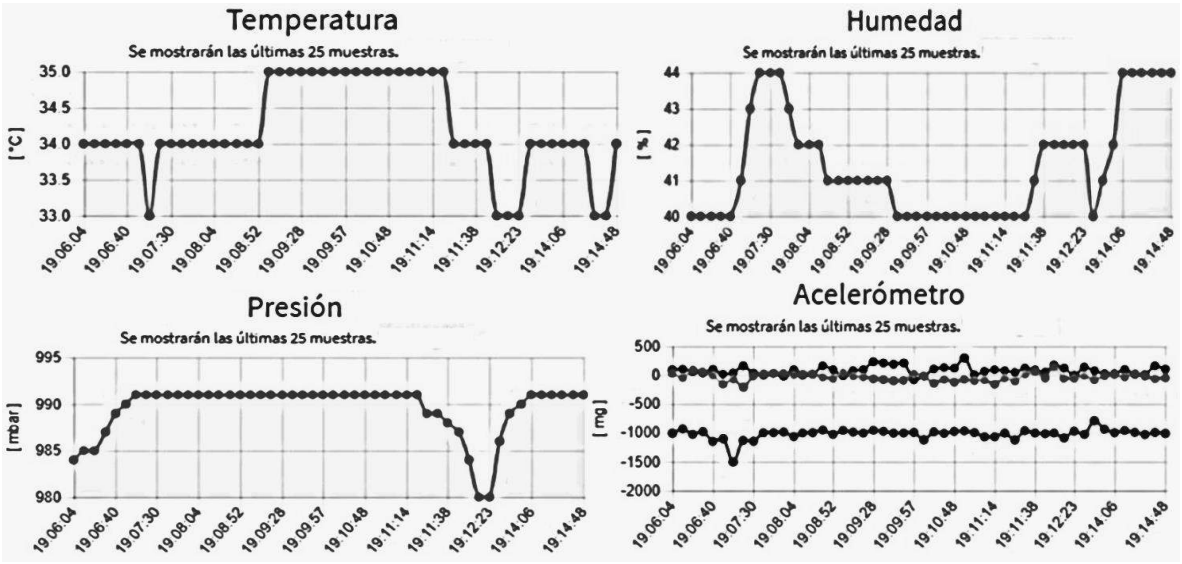


Fig. 4. Presentación estadística de los datos utilizados

Las distintas magnitudes se leen de manera repetitiva, y la captura de imágenes ocurre de forma continua. Cuando se alcanza una altura predeterminada, se inicia el descenso en caída libre. Este descenso se consigue mediante la quema de un hilo que sujeta al Cansat al dron y mantiene cerrado el paracaídas.
Una vez que el Cansat detecta que se encuentra a diez metros de su altura inicial, se activa el buzzer, el cual permanecerá encendido hasta que el sistema sea apagado. Los datos almacenados en la memoria micro SD se transfieren a una computadora y se importan a una hoja de Excel para generar las gráficas correspondientes. La conexión del dispositivo se puede establecer mediante un enlace de radiofrecuencia o a través de Wireless Fidelity (Wi-Fi) instalado en las plataformas utilizadas para la configuración y control de la circuitería involucrada.

Didactización de la enseñanza en saberes tecnológicos y científicos.

El artefacto descripto desde el comienzo, fue construido para avanzar con bases científico tecnológicas de satélites en las escuelas de nivel medio de la ciudad de San Francisco y posteriormente en las del departamento San Justo.
Lo detallado es en base a lo que se pudo avanzar con el PID (proyecto de investigación y desarrollo) que antecede al presente, en el cual se abordó lo relatado en una escuela técnica de la ciudad de San Francisco, precisamente el instituto provincial de educación técnica N°50 “Ingeniero Emilio F. Olmos” (IPET N°50), donde se trabajó y logró dar forma a lo que se conoce con el nombre de proyecto de desarrollo tecnológico y social (PDTS) el cual está aprobado y en proceso de carga en la base de información correspondiente a ministerio de ciencia y tecnología.
Para dar forma al presente plan de trabajo, el grupo de investigación en robótica y control perteneciente a la Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional San Francisco (GIROC) está generando lo concerniente a vinculación, para acceder a escuelas de nivel medio, de perfil gestión (no técnico), de la ciudad de San Francisco en un primer abordaje. Dicha articulación aún no cuenta con respuestas formales a presentaciones interinstitucionales realizadas.

Se pudo consolidar un avance significativo, a lo relatado en el párrafo anterior, el cual fue precisamente en la Escuela Normal Superior “Dr. Nicolás Avellaneda” nivel medio, donde su directora permitió que estudiantes y docentes a cargo del proyecto, realicen una prueba piloto en el año dos mil veintitrés y luego también se pudo realizar el despliegue de una misión satelital Cansat, planificada para que los estudiantes de una división de quinto año participen en la misma, ambas fueron realizadas en el patio de la institución, la misión completa en abril del año dos mil veinticuatro.
Lo narrado fue un abordaje directo desde la promoción y búsqueda personalizada de las habilidades de cada estudiante en la que se realizaron procesos deductivos e inductivos en consonancia con la situación problemática. Se logró arribar a la comprobación de acciones, saberes y demás habilidades implementadas en el contexto situacional de adquisición de la teoría de las ciencias física y matemática junto al despliegue entrecruzado de campos disciplinarios. Convirtiéndose con esta prueba en un trabajo interdisciplinario, pedagógico e interinstitucional.

Fue posible apreciar en ambas intervenciones, alegría y sorpresa de quienes participaron de la experiencia, lanzamiento, descenso y luego el posterior análisis de datos relevados, tabulación / graficacion y calculo real de leyes de la física a través de la matemática por medio de tratamiento de datos y magnitudes que pudieron medirse y a través de ellas contrastar lo que antes habían percibido desde explicaciones teóricas que expresaron haber podido entender en este momento.

Se realizaron ensayos de evaluación y análisis de datos obtenidos en las misiones realizadas, lo que permitió vincular asignaturas básicas como matemática y ciencias naturales (precisamente física) sumado a investigación, que implementó procedimiento científico.
Con este proyecto los jóvenes interactuaron de forma práctica, siendo partes de investigaciones que complementaron los conceptos teóricos adquiridos en el espacio áulico.
Reformulando la concepción, entendiendo y consolidando la redacción de informes, el trabajo grupal y la elaboración de proyectos, lo que precisa de conocimientos propios adquiridos en la porción

práctica de sus conocimientos y puesto en palabras posteriormente para completar el trabajo realizado. Pudo apreciarse que la acción en los aprendizajes la impuso el aprender haciendo, situado en la misión realizada en el patio de la institución, en abril de 2024, donde se pudo consolidar lo aprendido con la teoría que lo sustenta.
Los enfoques y técnicas utilizadas para facilitar el proceso de aprendizaje y poder avanzar con los contenidos y lograr apropiación de los mismos fueron las siguientes:
Aprendizaje individualizado.
A partir de las diferencias individuales de los estudiantes y según sus necesidades. Se utilizó enseñanza diferenciada y tutoría individualizada para poder lograr que cada estudiante progrese a su ritmo.
Aprendizaje basado en experiencia.
Aprendizaje que parte de la experimentación y se consolida y amplia mediante la teoría.
Aprendizaje Colaborativo.
Se fomentó el trabajo en equipo entre los estudiantes en grupos pequeños para lograr la meta. Se pudo lograr participación, intercambio de ideas y construcción de conocimiento de manera conjunta.
Utilización de tecnología, para el desarrollo cognitivo.
La integración de la tecnología en clase permitió que crezca el compromiso y el aprendizaje activo. En las misiones que permitieron realizar este trabajo de investigación se hizo uso de Cansat realizado y descripto arriba, software educativo y recursos digitales, dron para elevar instrumento. Lo cual facilitó la investigación, la colaboración y la comunicación entre estudiantes y docentes.

Estado actual y proyecciones a futuro

El presente proyecto cuenta con los siguientes ejes de investigación y desarrollo realizados:

- Análisis de las necesidades de hardware y software requeridas para poder desarrollar el satélite e implementación de las mismas acorde a la tecnología utilizada por jóvenes que cursan carreras de ingeniería en estos tiempos.
- Generación de documentación adecuada para la discusión interna de resultados.
- Incorporación de cámara fotográfica que permite tomar imágenes y transmisión de estas en primera etapa de manera asíncrona.
- Redacción de estrategias de enseñanza basadas en implementaciones tecnológicas, para poder propiciar la adquisición de saberes específicos de la currícula de estudio de nivel secundario.
- Se proyecta continuar trabajando en las siguientes aristas del instrumento:
  - ✓ Perfil Tecnológico: Aquí está proyectado realizar la estación terrena que permita la intercomunicación del instrumento vía radiofrecuencia, para de esta forma poder trabajar con los resultados de manera síncrona.
  - ✓ Perfil Educativo: Se tiene diagramado, poder avanzar y realizar misiones con el CanSat en diferentes establecimientos educativos de nivel secundario, para de esa manera poder avanzar en la incorporación de aprendizajes referentes a ciencias naturales y matemáticas, como también en lo conocido como “Cultura Digital” de los estudiantes de dicho nivel.

Resultados y discusiones

Se pudo avanzar con este trabajo en apropiación de conocimientos de los estudiantes del curso tomado como muestra y prueba en la inicial (piloto) y en la sucesiva con el producto ya terminado. Además de potenciar la participación de varios de ellos, por intermedio de la tecnología desarrollada y utilizada para la didactización de la enseñanza.
Se espera lograr la incorporación a la academia de mayor cantidad de jóvenes que finalicen sus estudios de nivel medio y así ir incrementando la matrícula de Ingeniería Electrónica (por ejemplo).
Se está trabajando en planes de acción para inducir a los jóvenes que egresan del secundario con vocaciones científico tecnológicas inducidas por haber trabajado en el área del conocimiento, en misiones espaciales diseñadas y presentadas, como una actividad de articulación y vinculación.
La utilización de tecnología en el aprendizaje, propició que sucedan avances cognitivos en los estudiantes. Lo que pudo evidenciarse en la exposición por ellos realizada de la experiencia vivida.

También arrojó beneficios comunicacionales que pudieron percibirse en la redacción de informes que los mismos entregaron.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por la Universidad Tecnológica Nacional, mediante el programa de proyectos de investigación y desarrollo.
Los autores expresan su agradecimiento a la Universidad pública, generadora de conocimientos y vinculaciones.

Formación de recursos humanos

El presente trabajo, realizado por el Grupo Investigación en Robótica y Control, el cual es un grupo de investigación, desarrollo e innovación (GIROC I+D+i), el cual es un grupo dinámico que otorga participación a diferentes estudiantes en su proceso de formación hasta la graduación de los mismos. También a distintos profesionales docentes de la academia (universitaria, como de nivel medio y superior).
El mismo en esta etapa del tiempo cronológico está formado por el estudiante Santino Calderón, el investigador Ing. Daniel Musso y su director, Magister Ingeniero Rodolfo David Podadera.

Referencias

European CanSat Competition (2022). Disponible en <https://www.esa.int/Education/CanSat-Aply-now-for-the-2022-European-CanSat-Competition>.
Bulut, N. Gull, M, Beker, C. Ipek, I. Kocolu, C. Topaloglu, C. Dincer, N. Kirli, A. Ertugrul, F. Tufekci, S. (2013) “Model Satellite Design for CanSat Competition”. Yildiz Technical University, Istambul, Turkey Disponible en:
<https://www.academia.edu/21834741/Model_Satelite_Design_for_CanSat_Competition>.
Instituto Tecnológico de Buenos Aires (ITBA), (2021), “Apostar a las ingenierías, las carreras del futuro”. Disponible en <https://www.itba.edu.ar/blog/apostar-a-las-ingenierias-las-carreras-del-futuro>.
Johnson, D.; Johnson, R. (1999**).** Aprender Juntos y Solos. Buenos Aires: Aiqué.
Disponible en <https://www.terras.edu.ar/biblioteca/30/30JOHNSON-David-JOHNSON-Roger-Apendice.pdf>
Carballo, R. (2002). Experiencias en Grupo e Innovación en la Docencia Universitaria. Ed. Complutense SA, ISBN:84-7491-684-4.
Slavin, R. (1999). Aprendizaje Cooperativo. Buenos Aires: Aiqué.
Disponible en <https://archive.org/details/slavin-el-aprendizaje-cooperativo/page/n5/mode/1up>
Bruning, R. Schraw, G. Norby, M. (2012). Psicología cognitiva y de la instrucción. Ed. Pearson Educación. ISBN:9788483228753

MEDICIÓN Y REGISTRO DE DENSIDAD DE POTENCIA DE RF AMBIENTAL BASADO EN SDR (RADIO DEFINIDA POR SOFTWARE)

Guillermo H. Reggiani[1], Marcos A. Loidi[1], Juan F. Loidi[1], Sergio G. Pellegrino[1], Lorenzo De Pasquale[1], Marcelo J. Bruno[1],

[1]Grupo SITIC, Depto. Ing. Electrónica, Facultad Regional Bahía Blanca, Universidad Tecnológica Nacional, pasquale@frbb.utn.edu.ar

Resumen

El presente trabajo presenta los primeros registros automáticos luego de la puesta en marcha de una red de sensores para medición de potencia de radio frecuencia, basados en un equipo de radio definida por software y en el ordenador de placa única Raspberry Pi. Está compuesto de dos nodos secundarios de medición que se conectan a un nodo primario que actúa como servidor. Los datos recolectados se transmiten hacia el servidor que se encarga de procesarlos, almacenarlos en una base de datos y presentarlos a través de una página web para su análisis en tiempo real y en forma de historial. El software desarrollado ofrece además la posibilidad de configurar filtros y alertas en función de niveles preestablecidos. La red de sensores se vincula a la web con un túnel virtual cifrado o red privada virtual. Permite medir potencia desde 50MHz hasta 2GHz aproximadamente. Se presentan los resultados de las mediciones y su evaluación en diversas bandas de frecuencias, horarios e intervalos diarios.

Se integra al trabajo un esquema de validación de las mediciones a partir del equipamiento disponible. En la configuración desarrollada se establece una relación entre la potencia medida por el SDR (dBm), y la densidad de potencia (mW/cm2) que capta su antena. De esta manera podemos verificar que los valores obtenidos cumplen con los estándares de niveles máximos permitidos que indican las normas vigentes nacionales tanto para exposición poblacional como ocupacional. La norma nacional tenida en cuenta es la Resolución 202/95 del ENACOM.

Palabras clave: densidad de potencia, radio definida por software, radiaciones no ionizantes, comunicaciones inalámbricas.

I. Introducción

Es bien sabido la elevada y creciente proliferación de sistemas y equipos de comunicaciones inalámbricos a un ritmo sostenido con el correr de los años. La incertidumbre que existe en torno a ellos con respecto a potenciales efectos nocivos sobre el medio ambiente y, específicamente sobre la salud humana, hace a la necesidad de medir y controlar el nivel de energía electromagnética, específicamente la densidad de potencia, irradiada por los mismos (OMS, 2006).

El presente tiene como objetivo la implementación de un sistema de monitoreo de densidad potencia electromagnética para exteriores en zonas urbanas. Un motivo obedece a la densidad de población y por consiguiente son de mayor interés los valores medidos, y la importancia de evaluar el impacto sobre el medio ambiente y la salud. El segundo motivo se debe a la infraestructura existente, en nuestro caso se instalan los equipos de medición en edificios de la Universidad, lo que facilita la conexión de los equipos a Internet como así también las instalaciones necesarias de montaje y el lugar donde se colocan los mismos. También se evita así el uso de antenas para el envío de los datos al servidor que recolecta los mismos.

Esta presentación también se vincula a una problemática de interés mundial, se refiere a las radiaciones no ionizantes (RNI) emitidas principalmente por las redes de telefonía móvil. Nuestro

receptor de radio definida por software (SDR) el cual fue adquirido en Nooelec Store (disponible en https://www.nooelec.com/store/nesdr-smartee-xtr-sdr.html), puede detectar esas bandas de comunicaciones y medirlas con el esquema propuesto en el presente desarrollo. Otros ejemplos de interés ambiental se tienen en la Universidad Nacional de la Plata (UNLP), que desarrolló un sistema de monitoreo continuo para analizar los niveles de radiación presentes en la ciudad durante los años 2019 y 2020 (disponible en https://itma-cem.unlp.edu.ar/sistema-de-monitoreo-continuo). Suiza (Madžarević et al., 2018) y Colombia (Vega et al., 2016) son otros ejemplos de países que analizan los niveles de radiación con el objetivo de compararlos con los límites establecidos en las reglamentaciones internacionales.

La línea de investigación presentada se encuentra en ejecución en el marco del proyecto titulado: “Medición Automática de Niveles de Radiaciones No Ionizantes (RNI) con Sistema en Red”, PID UTN 8187. El mismo es financiado por la Universidad Tecnológica Nacional, y su ámbito de realización es el Grupo SiTIC (Grupo de I+D en Sistemas y Tecnologías de la Información y las Comunicaciones) de la UTN-Facultad Regional Bahía Blanca.

II. Desarrollo

Partiendo de un resultado preliminar (Guidi et al., 2017), se implementa la red de monitoreo sobre una zona urbana para obtener un muestreo de valores de potencia electromagnética en el ambiente. Para ello se deben responder algunas preguntas claves para su implementación, tales como el lugar específico ¿dónde se realizarán las mediciones?, ¿cómo adaptar el conjunto SDR y Raspberry Pi? para funcionar a la intemperie o ¿cómo implementar la comunicación entre los distintos equipos?
El lugar físico de implementación para esta red es la ciudad de Bahía Blanca, específicamente en la zona de macrocentro y periferia. Se decidió utilizar las propias instalaciones de la Facultad ya que se encuentran en zonas urbanas de estas características con una supuesta elevada contaminación electromagnética y poseen las torres e infraestructura necesaria para montar el sistema de monitoreo. Esto puede observarse en la Figura 1.

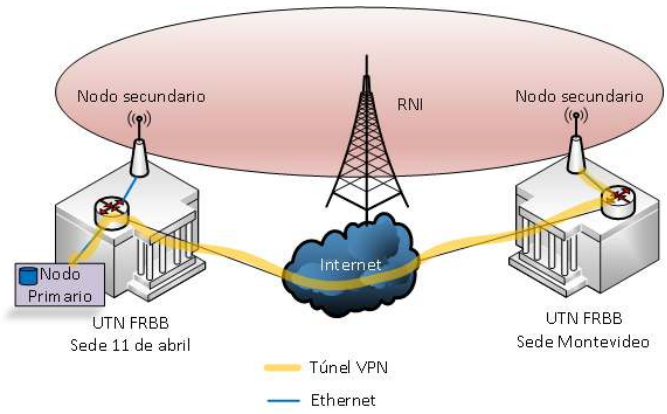


Figura 1. Diagrama ilustrativo del sistema de monitoreo

Se gestiona la comunicación entre los equipos con la infraestructura brindada por Internet, aprovechando que es una zona urbana con múltiples accesos a través de los proveedores de servicios de Internet (ISP). Para trabajar de la misma manera que en una red LAN se configura una red privada virtual (VPN) entre los nodos, tal como se observa en la Figura 1.

El dispositivo de medición, denominado nodo secundario, se adapta para su funcionamiento en intemperie y con un diseño robusto que asegure su funcionamiento, incluso en condiciones climáticas desfavorables. La unidad de medición conformada por el conjunto SDR y Raspberry Pi ubicada en el exterior se aloja en un gabinete estanco. La comunicación con el enrutador Ethernet que da acceso a Internet se realiza a través de un cable U/UTP Categoría 6 que, además de datos, alimenta a los dispositivos de medición (Power Over Ethernet, PoE).

En la Figura 2 se muestra un diagrama en bloques del sistema de monitoreo, donde se ilustran sus principales elementos previamente mencionados. En el caso del nodo primario (o principal), cuya función es recolectar información de los secundarios y darle una interfaz gráfica al usuario, no se realizan mayores cambios en su diseño a excepción de la configuración de un servidor VPN. No es necesario el uso de un gabinete estanco, ya que va ubicado en un sector interno al edificio, donde no se ve afectado por condiciones de alta humedad, cambios bruscos de temperatura, suciedad, vibraciones y/o golpes.

Figura 2. Diagrama en bloques del sistema

Principal y Secundario

El nodo principal (o primario) y los secundarios son similares y poseen el mismo hardware. El primario cumple las funciones de servidor recopilando la información enviada por los secundarios y a su vez la presenta en una página web. Esto último con software propio desarrollado para tal fin, permitiendo configurar distintos tipos de mediciones (rango de frecuencia, paso en frecuencia y periodo de muestreo). La Figura 3 presenta el nodo secundario (de monitoreo), ubicado en un gabinete estanco para el exterior. De esta manera, quedan todos los elementos confinados herméticamente donde solo se tienen dos conexiones con el exterior, una para los datos y alimentación con un conector de Ethernet PoE, y la otra con un conector SMA hembra para la conexión de la antena al SDR.

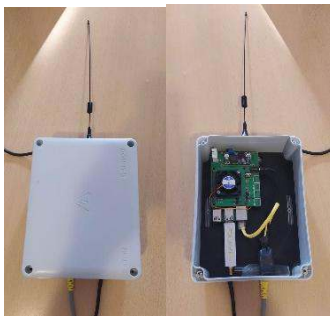


Figura 3. Nodo de monitoreo

Fuente de Alimentación

Se decide enviar un nivel de 24 V CC a través del PoE que luego se regula a 5 V CC mediante una fuente conmutada. Esta solución resulta en una disminución de la corriente en el cable de red al aumentar la tensión y posteriormente adaptarla dentro del equipo a las especificaciones del hardware. El conjunto diseñado, encastrado en la parte superior de la Raspberry Pi, agrega un ventilador de refrigeración para el procesador que está en el centro de la placa. En la Figura 4 se puede ver el conjunto descrito.

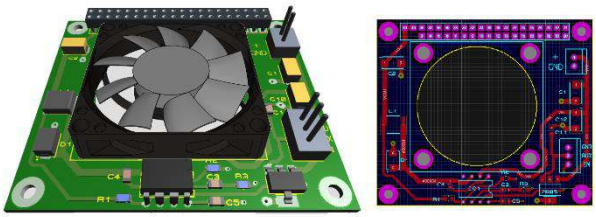


Figura 4. Diseño de fuente de alimentación**Antena**

Los receptores SDR disponen de un conector SMA hembra para hacer uso de diferentes tipos de antenas, dependiendo del rango de frecuencias deseadas a monitorear, incluyendo una antena patch diseñada en la Facultad para fines específicos (Microstrip). En la Figura 5 se muestran los distintos tipos de antenas proporcionadas por el fabricante del SDR y la antena diseñada en la Facultad (Aburto et al., 2018). Esta última a su vez tiene un contenedor estanco para su uso en el exterior.

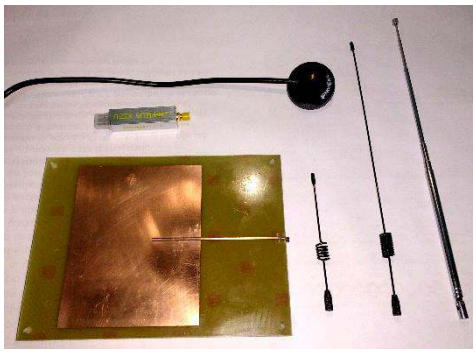


Figura 5. Antenas por utilizar por el esclavo

Comunicación del sistema de monitoreo

Los equipos de monitoreo se colocan en sitios remotos y se conectan a la red de Internet de forma cableada para poder alimentarlos a través de PoE. Una vez conectados los dispositivos a la red, establecen una conexión remota a la VPN para mantener la comunicación segura. Todos los nodos secundarios envían los datos al nodo primario a través del túnel VPN.
En el nodo primario a su vez corre el sistema web el cual permite realizar la configuración y visualización del monitoreo. Los datos son almacenados en una base de datos dentro del mismo. Se utilizó WireGuard (disponible en https://www.wireguard.com) para crear los túneles VPN.
Para acceder al sistema web desde otra computadora ubicada en un lugar diferente de los nodos, se debe instalar WireGuard y con las credenciales de este acceder a la red. Una vez creado el túnel VPN, a través del navegador se puede ingresar al sistema para realizar las configuraciones, mediciones y extracción de la información.

Presentación de los datos

La Figura 6 muestra el sistema web desarrollado para tomar las mediciones que efectúan los nodos. En la misma se puede seleccionar el nodo, el rango de frecuencias, el paso o intervalo de frecuencia y el periodo de tiempo de muestreo.
Los resultados se guardan en una base de datos para después poder descargarlos en un archivo con formato ".csv".
En la pantalla se muestra la última medición con una gráfica de los valores obtenidos de frecuencia y amplitud.

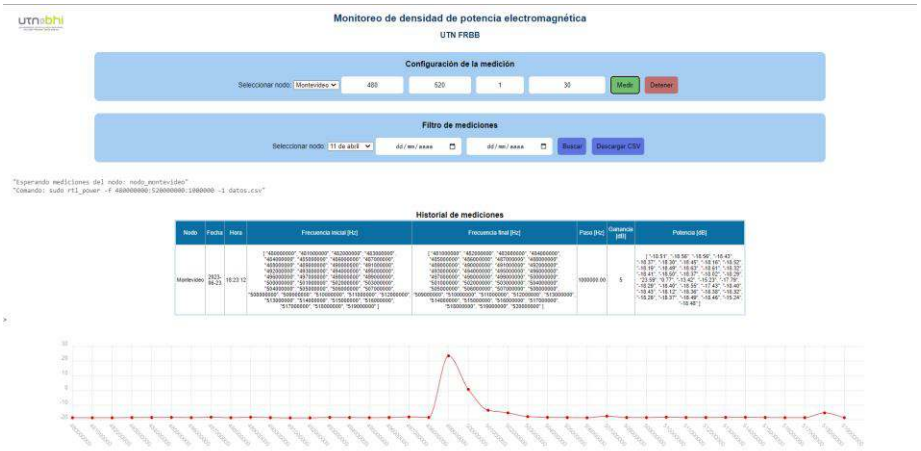


Figura 6. Presentación web del sistema de monitoreo

Figuras de los datos obtenidos

Verificación de las mediciones

La figura 7 muestra el esquema utilizado para la verificación de las mediciones tanto en amplitud como en frecuencia. Las mismas fueron hechas a una frecuencia de 500 MHz debido a que ésta es la máxima que provee el generador de señales existente en el laboratorio (HP 8640B). La limitante para medir en otras frecuencias se debe a la falta de más antenas y al transmisor o generador. Las mediciones de amplitud se monitorean con el medidor de intensidad de campo TENMARS TM-105 (disponible en http://www.tenmars.com/) en mW/cm^2. que denominamos P_o. La frecuencia se monitorea con un analizador de espectro Gw Instek GSP 730 al igual que la potencia recibida medida en dBm, llamada P_r. Podemos calcular el área efectiva de la antena utilizada, la llamamos A_r, de la siguiente manera,

Figura 7. Esquema para la verificación de mediciones

$$A_r = P_r/P_o \quad (1)$$

dónde:

P_o = Densidad de potencia en vatios/metros^2

P_r = Potencia en el receptor

A_r = Área efectiva de la antena, en metros^2

Esta A_r nos permitirá obtener los valores de P_o a través de,

$$A_r = G\lambda^2/4\pi \quad (2)$$

dónde:

G = Ganancia de antena (numérica) del receptor

λ = longitud de onda

obtenido de la página web (2024) A.H. Systems, inc.

Así con los valores de potencia entregados por el receptor SDR, y con la ecuación (2), podemos determinar la densidad de potencia en la antena P_o. Se tiene en cuenta que G, ganancia de la antena, corresponde al caso omnidireccional (antena del receptor). Este nivel de densidad luego se comparará con los valores seguros para las frecuencias consideradas, de acuerdo con la norma nacional.

III. Registros de mediciones

Se presentan a continuación los primeros resultados preparados para este evento. Se tomaron los datos durante tres días, con dos mediciones por hora, dando un total de 48 mediciones por día. Las potencias medidas con nuestros equipos (ambos nodos) se grafican en función de los intervalos de frecuencia de 10MHz. Para cada hora se toma la mediana de las potencias entregadas por el SDR en el periodo considerado. Se opta por esta operación por ser representativa entre los valores generados en cada frecuencia para todas las horas del día.

Nodo 1, Secundario 11 de abril

Tabla 1. Datos numéricos Nodo 1.

Frecuencia [MHz]	Potencia [dBm]	Densidad de Potencia [mW/cm^2]
710	-24,70	0,00000759
720	-25,41	0,00000644
730	-25,41	0,00000644
740	-24,74	0,00000751
750	-25,45	0,00000638
760	-25,31	0,00000659
770	-4,26	0,00083887
780	-8,92	0,00028687
790	-10,27	0,00021023
800	-23,34	0,00001038
810	-22,82	0,00001169
820	-25,00	0,00000708
830	-24,82	0,00000738
840	-21,51	0,00001580
850	-24,76	0,00000749
860	-23,68	0,00000959
870	-22,64	0,00001218
880	-5,07	0,00069613
890	-3,18	0,00107694
900	-23,56	0,00000986

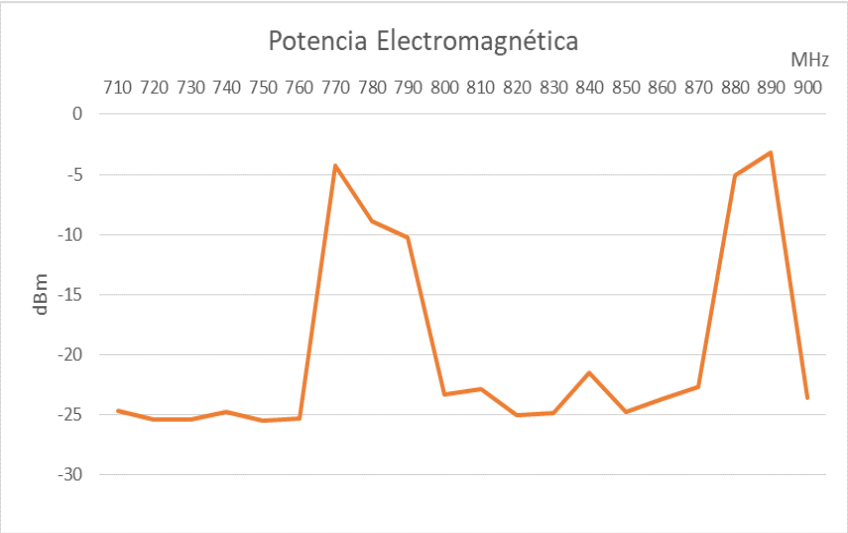


Figura 8. Datos de Tabla 1 graficados en rangos de frecuencia.

De la Tabla 1 para 890 MHz tenemos el máximo de potencia -3,18dBm. Si se calcula el área efectiva de la antena con (2), se obtiene la densidad de potencia máxima para el Nodo 1 de $5{,}34.10^{-3}$µW/cm^2. Valores muy cercanos se dan para el otro máximo en -4,26dBm en 770 MHz. Para el resto de la banda considerada las mediciones arrojan valores insignificantes.

Nodo2, Secundario Montevideo

Tabla 2. Datos numéricos Nodo 2.

Frecuencia [Mhz]	Potencia [dBm]	Densidad de Potencia [mW/cm^2]
710	-26,13	0,00000546
720	-26,82	0,00000465
730	-26,87	0,00000460
740	-26,07	0,00000553
750	-26,91	0,00000456
760	-26,76	0,00000472
770	-24,25	0,00000842
780	-21,20	0,00001699
790	-16,20	0,00005367
800	-25,40	0,00000645
810	-26,73	0,00000475
820	-26,36	0,00000517
830	-26,11	0,00000548
840	-22,69	0,00001204
850	-26,14	0,00000545
860	-26,28	0,00000527
870	-25,93	0,00000571
880	-19,68	0,00002408
890	-13,42	0,00010190
900	-26,34	0,00000520

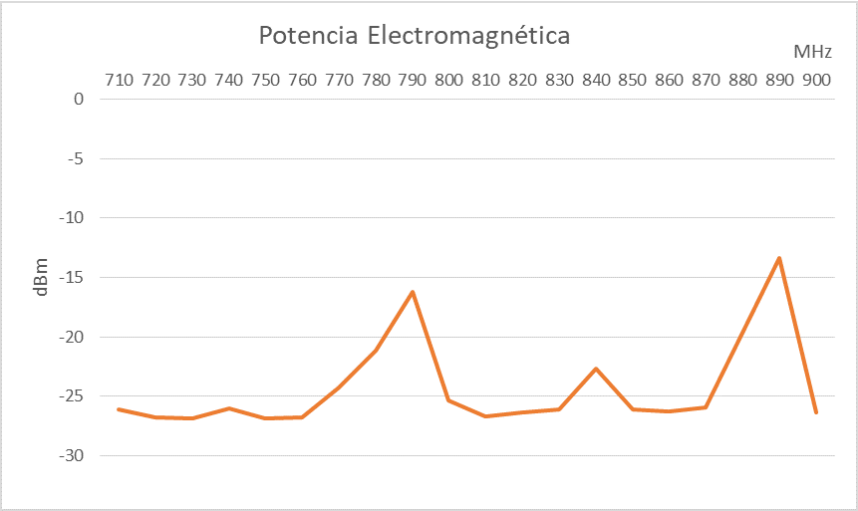


Figura 9. Datos de Tabla 2 graficados en rangos de frecuencia.

De la Tabla 2 para 890 MHz tenemos el máximo de potencia -13,42 dBm. Si se calcula el área efectiva de la antena con (2), se obtiene la densidad de potencia máxima para el Nodo 2 de $5{,}10.10^{-3}$ µW/cm^2. Valores muy cercanos se dan para el otro máximo en -16,20 dBm en 790 MHz. Para el resto de la banda considerada las mediciones arrojan valores insignificantes.

Discusión de los resultados

La banda de frecuencias elegida, además de estar en la capacidad de nuestro dispositivo, tiene la particularidad de cubrir algunas correspondientes a las comunicaciones móviles. Este espectro fue siempre sensible a los posibles efectos nocivos sobre el ser humano.
En ambos nodos donde se hicieron las mediciones, los valores obtenidos para la densidad de potencia en el receptor son: 5,34µW/cm2 y 5,10µW/cm2. Si tenemos en cuenta la normativa nacional a través de la Resolución 202/95 para las frecuencias indicativas de 890 MHz y 770 MHz, usando f/2000 se tienen: 0,445 mW/cm2 y 0,385 mW/cm2. Los guarismos medidos son muy inferiores a los valores medidos en el campo.
Este resultado, preliminar, nos permite continuar con el monitoreo para las bandas elegidas. Obviamente será necesario establecer periodos de tiempo más largos de manera que las mediciones puedan asegurar no sobrepasar límites de seguridad.
Otro punto importante que surge de los ensayos realizados es establecer niveles de alarma dentro del software desarrollado. Con esto tenido en cuenta se podrán establecer frecuencias, tiempos y niveles de potencia de radiofrecuencia presentes dentro del espectro de nuestro receptor.

IV. Conclusiones

Dentro de la temática y objetivos del proyecto en que se realiza este trabajo, se puede mencionar que se ha desarrollado una experiencia importante plasmada a través de diversos trabajos publicados (Guidi et al., 2017), (Banfi et al., 2015), (Macchi Konrad et al., 2013), (De Pasquale et al., 2014), (Ortiz et al., 2014), (Macchi Konrad et al., 2014: 3-8) y (Banchieri et al., 2014). La técnica empleada de medición fue considerada como producto innovador (Innovar, 2015). En estas referencias se trabaja tanto en el hardware para tomar las mediciones como en herramientas para procesar los datos recolectados. En el presente desarrollo se llegó a implementar todo el hardware y el software para el manejo de los datos de potencia y frecuencia de las señales detectadas, trabajando con una red de nodos ubicados en puntos específicos de la ciudad (edificios de la facultad). Con este sistema se puede seleccionar la banda de frecuencias de interés, acceder a un

historial de valores medidos previamente y se tiene la posibilidad de agregar nodos secundarios adicionales en cualquier sector de la ciudad siempre que cuenten con acceso a Internet, brindándole la característica de escalabilidad al sistema. Se presentaron los resultados de mediciones en dos nodos para un rango de frecuencias típico de comunicaciones móviles. Dentro del tiempo disponible dedicado a las mediciones, éstas arrojan como resultado que los niveles de radiación existentes en el entorno de los nodos son mucho menores a los recomendados por la Resolución 202/95. No obstante, un registro permanente en el tiempo, con alarmas para la detección de niveles cercanos a los límites que dan las normas nacionales queda para futuros trabajos. Esto implica mediciones en largos periodos.

El análisis de radiaciones electromagnéticas presentes en el medio ambiente representa uno de los desafíos a nivel mundial de la actualidad. A pesar de que los niveles de radiación están alejados de los límites establecidos por estándar, con el incremento en el número de dispositivos IoT, incentivados por el gran crecimiento actual de las redes 5G, el estudio y monitoreo continuo es recomendado internacionalmente. El elevado costo de los métodos tradicionales hace de la solución de utilizar un SDR, reduce los mismos y facilita el monitoreo continuo en más lugares del país.

V. Referencias

Aburto M., Anastasi Muschong M., Vivier S. y Banchieri M. (2018). “Diseño e Implementación de Antena Microstrip”, IX UEA 2018 (μEA) Congreso de Microelectrónica Aplicada, 9 y 10 de octubre de 2018, Universidad Nacional de Catamarca.

Banchieri, M. A., Macchi Konrad, J. M. y De Pasquale, L. (2014). “La transformada wavelet packet en las técnicas de sensado espectral”, V Congreso de Microelectrónica Aplicada 2014, 14 al 16 de mayo de 2014, Instituto Universitario Aeronáutico, Córdoba.

Banfi D., Macchi Konrad J. M., De Pasquale L., Banchieri M. A. y Alvarez M. (2015). “Sistema de medición de potencia de RF empleando un software defined radio (SDR)”, VI Congreso de Microelectrónica Aplicada 2015, 27 al 29 de mayo de 2015, Universidad Nacional de La Matanza. ISBN 978-987-3806-24-7.

De Pasquale L., Macchi Konrad J. M. y Banchieri M. A. (2014). “Análisis basado en la transformada wavelet packet para determinar bandas de frecuencias vacantes”, V Congreso de Microelectrónica Aplicada, 2014.

Guidi J. C., Mancini M., De Pasquale L., Banchieri M. A., Pellegrino S. y Reggiani G. (2017). “Red de “Sensores para Monitoreo Remoto de Densidad de Potencia de RF basado en Radio Diseñada por Software”, VIII Congreso de Microelectrónica Aplicada 2017, 11 al 13 de octubre de 2017, Universidad Nacional de Córdoba.

INNOVAR 2015 -Catálogo concurso nacional de innovaciones, Producto Innovador Nº 18471, Undécima Edición del Concurso Nacional de Innovaciones.

Macchi Konrad J.M. , De Pasquale L., Banchieri M. A., Reggiani G., Cayssials R. y Ferro G. (2014). “Wavelet hardware processing unit for transient signal detection”, Proceedings of the IX IEEE Southern Programmable Logic Conference, pp.:3-8, November 5-7, 2014, Buenos Aires, Argentina, ISBN – 978-1-4799-6848-0.

Macchi Konrad, J. M., De Pasquale y L., Banchieri, M. A. (2013). “Análisis basado en la transformada wavelet para determinar duración de transitorios en señales”, IV Congreso de Microelectrónica Aplicada 2013, 25 al 27 de septiembre de 2013, Facultad Regional Bahía Blanca de la UTN.

Madžarević V., Tešanović M. y Hrustanović-Bajrić M. (2018). “Monitoring of Non-ionizing Electromagnetic Fields in the Urban Zone of Tuzla City”, Proceedings of the International Symposium on Innovative and Interdisciplinary Applications of Advanced Technologies (IAT), Volume 1. Suiza.

OMS - Organización Mundial de la Salud. (2006). “Estableciendo un diálogo sobre los riesgos de los campos electromagnéticos”. ISBN 92 4 354571 X. <disponible en https://apps.who.int/iris/handle/10665/42844>.

Ortiz L., Macchi Konrad J. M., De Pasquale L. y Banchieri M. A. (2014). “Determinación de transitorios en sistemas físicos usando la transformada discreta wavelet”, WICC 2014, XVI Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación, 7 y 8 de mayo 2014, Universidad Nacional de Tierra del Fuego, Instituto de Desarrollo Económico e Innovación, Ushuaia, Argentina. Red UNCI, ISBN: 978-950-34-1084-4.

Vega F., Pantoja J. y Morales S. (2016). “An IoT-based open platform for monitoring non-ionizing radiation levels in Colombia”, 2016 IEEE Colombian Conference on Communications and Computing (COLCOM).
(2024) A.H. Systems, inc. Recuperado de: https://www.ahsystems.com/articles/Antenna-Factor-Calculations.php.

NARRATIVAS PEDAGÓGICAS EN EL NIVEL UNIVERSITARIO PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN

Gaspar Cena[2], Sebastián Mussetta[2], Ma. de los Ángeles Pignatta[1], Mario Rinaldi[2], Paola Simielli[2], Mercedes Soria[1,2], Celeste Stroppiano[1], Paula Toselli[2]

[1]Departamento Materias Básicas, Facultad Regional Villa María, Universidad Tecnológica Nacional, Av. Universidad 450, CP 5900

[2]Departamento Ingeniería en Sistemas de Información, Facultad Regional Villa María, Universidad Tecnológica Nacional, Av. Universidad 450, CP 5900

msoria@frvm.utn.edu.ar

Resumen

En el marco del proyecto de investigación "Aportes para la Formación en Competencias desde las Prácticas de Enseñanza Mediadas Tecnológicamente, en el Marco de la Carrera de Ingeniería en Sistemas de Información en Cuatro Facultades Regionales de la Universidad Tecnológica Nacional", se realiza este trabajo que utiliza la técnica de narrativas pedagógicas para documentar y compartir experiencias de aula en la formación por competencias.
La documentación narrativa de experiencias pedagógicas es una estrategia de investigación-formación-acción docente que facilita la producción colaborativa de saber pedagógico y la transformación de las prácticas educativas. Este enfoque fomenta la reflexión, la escritura y el intercambio entre docentes, contribuyendo a la formación horizontal y a la generación de conocimiento pedagógico crítico. Con el objetivo de identificar y promover buenas prácticas este trabajo muestra avances y detalles de experiencias en diversas asignaturas de la Facultad Regional Villa María.
Asignaturas como Análisis Matemático II, Álgebra y Geometría Analítica e Investigación Operativa, se beneficiaron de metodologías centradas en el estudiante, el uso de rúbricas de evaluación, y la colaboración en equipos. En Análisis Matemático II, los estudiantes utilizaron ecuaciones diferenciales ordinarias y recursos virtuales para crear videos explicativos. En Álgebra y Geometría Analítica, se desarrollaron mapas conceptuales para organizar contenidos y fomentar el pensamiento crítico. Investigación Operativa reemplazó el examen tradicional por el desarrollo de aplicaciones prácticas. Por otro lado, Sistemas Operativos y Algoritmos y Estructuras de Datos integraron herramientas tecnológicas como consolas Linux y el Virtual Programming Lab (VPL) en Moodle para actividades prácticas con retroalimentación inmediata. Redes de datos combinó prácticas con equipos físicos y virtuales, utilizando tecnología como routers y VPNs para configuraciones remotas.
Estas narrativas pedagógicas promueven la reflexión docente y la valoración de los intercambios entre lo propuesto y lo realizado en las aulas, mejorando así el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Palabras Clave: Narrativas Pedagógicas, Competencias, Ingeniería en Sistemas de Información.

Introducción

En el contexto de la educación superior, y especialmente en las carreras de ingeniería que han migrado a una formación por competencias, el uso de metodologías activas en la enseñanza junto al uso de tecnologías ha adquirido una relevancia significativa. Estas metodologías trascienden la transmisión de conocimientos teóricos, promoviendo un desarrollo más profundo y efectivo de

habilidades prácticas y competencias profesionales, esenciales para preparar a los estudiantes para los desafíos del mundo laboral actual.

El presente trabajo se enmarca dentro del proyecto de investigación "Aportes para la Formación en Competencias desde las Prácticas de Enseñanza Mediadas Tecnológicamente, en el marco de la Carrera de Ingeniería en Sistemas de Información en Cuatro Facultades Regionales de la Universidad Tecnológica Nacional" PID TEAIBCO0008216 y tiene como objetivo principal identificar, analizar y promover buenas prácticas que mejoren la formación en competencias mediante la implementación de innovaciones tecnológicas en la enseñanza.

La técnica de narrativas pedagógicas ha sido empleada en este estudio para documentar y compartir experiencias de aula que evidencien un cambio positivo hacia nuevas formas de enseñar y aprender que involucren el uso de tecnologías con sentido educativo. Según Clandinin y Connelly (1991; 2000), una narrativa se distingue de una historia por su contexto y proponen la utilización del término historia cuando los textos se refieren a situaciones concretas, vividas por individuos particulares en momentos específicos, y el término narrativa cuando se describe la investigación o a la metodología de investigación. La narrativa pedagógica se refiere entonces al uso de relatos y experiencias personales por parte de los docentes para reflexionar, compartir y mejorar las prácticas educativas. En consecuencia, permite a los educadores documentar y comunicar sus experiencias, desafíos y éxitos en el aula, creando una comunidad de aprendizaje entre profesionales. Según Elbaz-Luwisch (2007), esta técnica "facilita un espacio de reflexión y diálogo entre los docentes, donde pueden intercambiar conocimientos prácticos y teóricos, así como estrategias pedagógicas efectivas".

La documentación narrativa de experiencias pedagógicas se presenta como una estrategia de investigación-formación-acción docente que facilita la producción colaborativa de saber pedagógico y la transformación de las prácticas educativas. Esta forma de contar y documentar Impulsa la reflexión, la escritura y el intercambio entre docentes, contribuyendo a la formación horizontal y a la generación de conocimiento pedagógico crítico. Suárez (2011) destaca la narrativa pedagógica como una mediación vital en la relación entre la investigación educativa y la formación docente promoviendo la producción colaborativa de conocimientos pedagógicos y la transformación de las prácticas educativas. En este sentido, su construcción constituye

> “...un potente proceso de desarrollo personal y profesional al desencadenar, entre otras cosas: a) el cuestionamiento de sus competencias y acciones; b) la toma de conciencia de lo que saben y lo que necesitan aprender; c) el deseo de cambio, y d) el establecimiento de compromisos y metas a alcanzar.”(Reis & Climent Rodríguez, 2012, p.24)

Desde esta perspectiva se analizaron experiencias de asignaturas de la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información (ISI) pertenecientes a la Facultad Regional Villa María, seleccionando tanto materias de la especialidad como del área de materias básicas. Asignaturas como Análisis Matemático II, Álgebra y Geometría Analítica, e Investigación Operativa han implementado metodologías centradas en el estudiante, el uso de rúbricas de evaluación y el trabajo colaborativo en equipos. Por ejemplo, en Análisis Matemático II, los estudiantes han utilizado ecuaciones diferenciales ordinarias y recursos virtuales para crear videos explicativos. En Álgebra y Geometría Analítica, se desarrollaron mapas conceptuales para organizar contenidos y fomentar el pensamiento crítico. Investigación Operativa reemplazó el examen tradicional por el desarrollo de aplicaciones prácticas. Otras asignaturas, como Sistemas Operativos y Algoritmos y Estructuras de Datos, han integrado herramientas tecnológicas como consolas Linux y el Virtual Programming Lab (VPL) en Moodle para actividades prácticas con retroalimentación inmediata. Redes de Datos combinó prácticas con equipos físicos y virtuales, utilizando tecnología como routers y VPNs para configuraciones remotas.

Estas narrativas pedagógicas promueven la reflexión docente y valoran las comparaciones entre lo propuesto y lo realizado en las aulas, mejorando así el proceso de enseñanza-aprendizaje. En este caso, la narrativa se centró en una práctica que se describió de forma genérica en cuatro partes:

contextualización, descripción de la clase, evaluación de la práctica, y reflexiones y ajustes. La contextualización describe cualquier contexto específico o características de la clase que haya influido en las decisiones metodológicas tomadas, como el nivel de conocimiento previo de los estudiantes, el año en que se cursa, la relevancia del tema dentro del programa de estudios, la cantidad de estudiantes y los requerimientos técnicos. La descripción de la clase incluye el tema de la clase, el número de clases si aplica, las competencias desarrolladas y los resultados de aprendizaje perseguidos. También es relevante describir la introducción del tema, el desarrollo de las actividades principales y las metodologías utilizadas, así como la integración de tecnologías y la interacción con el campus virtual. El cierre de la clase explica cómo se concluyó, muestreo de evidencias y valoración de resultados. La evaluación de la práctica abarca las estrategias e instrumentos de evaluación utilizados, junto con la retroalimentación proporcionada a los estudiantes. Finalmente, las reflexiones sobre la práctica destacan los éxitos y desafíos enfrentados, y permiten proponer ajustes y mejoras para futuras implementaciones.

Los elementos de la clase que se definieron como centrales en este análisis son el contexto, que describe la cantidad de estudiantes y el nivel de la carrera en que se desarrolla; la propuesta de evaluación y los resultados de dicho proceso de modo tal de observar en que grado se ha cumplido el resultado de aprendizaje planificado. También la reflexión que examina estos resultados en función de los objetivos de aprendizaje, y el aporte de la tecnología, que responde a la pregunta sobre cómo su uso ha contribuido al proceso de enseñanza-aprendizaje. Estos criterios permiten una evaluación comprehensiva y detallada de las prácticas pedagógicas, destacando cómo cada elemento contribuye al desarrollo de competencias en los estudiantes.

Metodología

El desarrollo y aplicación de esta investigación se enmarca en un enfoque cualitativo dentro de la investigación educativa, utilizando un método biográfico-narrativo a través del análisis de narrativas pedagógicas. Este enfoque permite capturar y comprender las experiencias y prácticas educativas desde la perspectiva de los docentes. Según Hernández Sampieri et al. (2014), la investigación cualitativa se caracteriza por su capacidad para explorar a fondo fenómenos complejos, enfocándose en los significados y contextos que los participantes atribuyen a sus experiencias.
Siguiendo a Bonilla & Rodríguez (2013), la principal característica de la investigación cualitativa es su interés por captar la realidad social "a través de los ojos" de quienes están siendo estudiados, es decir, a partir de la percepción que tienen los sujetos de su propio contexto. En este estudio, se recogieron las narrativas pedagógicas de los docentes sobre sus experiencias en la enseñanza de Ingeniería en Sistemas de Información, analizando tanto las fortalezas como las áreas de mejora en sus prácticas docentes y cómo estas impactan en la formación de competencias en los estudiantes. Este análisis narrativo permite identificar elementos comunes y áreas de mejora en la enseñanza mediada por tecnologías.

El diseño descriptivo aplicado permitió recolectar, analizar y describir estas experiencias de manera detallada, facilitando la identificación de temas clave en las narrativas -contextos, evaluación, reflexiones y ajustes- y contribuyendo a una comprensión más profunda de las dinámicas educativas en este contexto.

El método biográfico-narrativo permitió recolectar, analizar y describir situaciones, eventos y reflexiones significativas de los docentes, destacando la dualidad entre lo narrativo y lo biográfico. El relato narrativo se considera una forma específica de discurso, organizado en torno a una trama argumental, secuencia temporal, personajes y situaciones. Esta dualidad es esencial para el desarrollo de una investigación cualitativa, en la que el objeto de estudio se centra en la figura del docente y, más específicamente, en el relato de su propia experiencia.

Población y Muestra

La población objeto de estudio incluye a los docentes de diversas asignaturas dentro de la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información en la Facultad Regional Villa María de la Universidad Tecnológica Nacional. Los docentes fueron elegidos a través de sus asignaturas en función del uso de metodologías activas y tecnologías educativas, variando el bloque al que pertenecen -básicas

y/o especificas - nivel de la carrera y área disciplinares, lo que permitió un análisis profundo de cómo estas prácticas influyen en la formación de competencias. Este es un avance en el marco del Proyecto de Investigación Asociativo ya que continuará con otras asignaturas y en otras facultades regionales.

Instrumento de Recolección de Información

Durante el proceso de investigación, las narrativas pedagógicas se utilizaron como el principal instrumento de recolección de información. Los docentes fueron invitados a producir textos creativos/expresivos, reflejando sus pensamientos y emociones sobre alguna experiencia docente que consideraban aportaban al desarrollo de competencias y utilizaran tecnologías.

Narrativas Pedagógicas

Las narrativas pedagógicas que se presentan a continuación han sido reescritas para referenciar aquellas secciones que, como se indicó en la metodología, se consideraron relevantes y que permiten evidenciar la integración inherente entre competencias genéricas y específicas, tal como se manifiestan en la práctica educativa. John Dewey define técnicamente a la educación como "…aquella reconstrucción o reorganización de la experiencia que da sentido a la experiencia y que aumenta la capacidad para dirigir el curso de la experiencia subsiguiente" (Dewey, 1998, p.74). Desde esta perspectiva, estas experiencias buscan revisar, documentar, reflexionar e inspirar nuevas prácticas educativas en el contexto de la enseñanza de Ingeniería en Sistemas de Información.

Análisis Matemático II

Resultado de Aprendizaje: Utiliza Ecuaciones Diferenciales Ordinarias de primer y segundo grado para representar modelos matemáticos simples utilizando software para hallar o validar sus resultados, y desarrollando su aprendizaje autónomo

Contextualización: En años anteriores, la temática abordada en este escrito se enseñaba principalmente a través de clases expositivas, donde se presentaban diversos algoritmos de resolución seguidos de una guía de ejercicios prácticos. Con el propósito de centrar el proceso de enseñanza-aprendizaje en el estudiante y contribuir al desarrollo de competencias genéricas desde la cátedra, diseñamos una actividad que incorpora el uso de tecnología. La experiencia se desarrolló durante el ciclo académico 2023 y participaron aproximadamente ochenta estudiantes de la carrera ISI.

Descripción de la práctica: Para introducir el tema, creamos un recurso "Libro" en el aula virtual de la cátedra, que contiene material explicativo sobre ecuaciones diferenciales ordinarias y videos elaborados por los docentes sobre su resolución. También incluimos videos de terceros que ejemplifican diferentes modelos matemáticos que utilizan este tipo de ecuaciones.
Iniciamos solicitando a los estudiantes que se organicen en grupos de cuatro o cinco estudiantes y accedan al material disponible en el aula virtual. Luego, asignamos un problema a cada grupo, acompañado de una rúbrica de evaluación que sirve como guía durante la actividad. Durante las clases, los estudiantes realizan consultas, comparten sus avances y discuten con otros grupos sobre los problemas asignados y los modelos matemáticos que pueden resolverlos. Finalmente, elaboran un video explicativo sobre la resolución del problema utilizando ecuaciones diferenciales, que luego suben al aula virtual como parte de una tarea.
Evaluación: Diseñamos una rúbrica que contempla los criterios relevantes, una etapa que requiere un análisis exhaustivo para asegurar que estén alineados con los Resultados de Aprendizaje (RA). La implementación de la rúbrica permite validar si los criterios y los pesos asignados son coherentes con el nivel de desempeño deseado.
Configuramos la rúbrica dentro del recurso "tarea" de Moodle, utilizando la opción de "calificación avanzada". Esto permite a los docentes marcar el nivel alcanzado en cada criterio, agilizando así el proceso de corrección. Los estudiantes pueden ver el nivel alcanzado en cada criterio, recibir

comentarios de retroalimentación y obtener una nota final. Además, el recurso permite reutilizar una rúbrica previamente creada para otras tareas, ya sea en la misma aula virtual o en diferentes cursos.

Reflexiones y Ajustes: Consideramos que la actividad resultó muy interesante y motivadora para los estudiantes, aunque enfrentamos desafíos como el diseño equilibrado de problemas y la gestión de grandes cantidades de estudiantes por comisión. Con lo primero hago referencia al hecho de que algunos problemas pueden resultar más complejos que otros debido al modelo matemático seleccionado.
La actividad propuesta facilitó la integración de la tecnología en la cátedra. Utilizamos diversos recursos del aula virtual, como la rúbrica de evaluación en Moodle, y los estudiantes aplicaron herramientas de edición de videos y software matemático para resolver problemas. Esta incorporación enriqueció la experiencia de aprendizaje, permitiendo a los estudiantes interactuar con recursos tecnológicos y recibir retroalimentación inmediata y detallada.
Durante la siguiente implementación, propusimos que los estudiantes presentaran sus resultados mediante exposiciones orales. Para ello, configuramos una nueva rúbrica que permitió evaluar y asignar la nota al finalizar cada exposición, lo que fue una ventaja significativa. Este enfoque facilitó la evaluación inmediata, reduciendo considerablemente la carga de trabajo de los docentes durante la etapa de corrección. Además, los docentes pudimos realizar preguntas y profundizar en la comprensión del tema por parte de los estudiantes, enriqueciendo así el proceso de retroalimentación.
La etapa de implementación permitió identificar inconsistencias tanto en la redacción de los RA como en el diseño de la rúbrica, con el objetivo de corregirlas en futuras aplicaciones. Un ejemplo de esto es que el RA redactado no contempla el uso efectivo del lenguaje natural y matemático de los estudiantes para comunicar sus resultados, lo cual es una omisión significativa, dado que se trata de una de las competencias genéricas que se busca desarrollar. Por lo tanto, destacamos que este es un proceso continuo, que requiere revisión y ajuste en cada implementación para garantizar su efectividad y pertinencia.

ALGEBRA Y GEOMETRÍA ANALÍTICA

Resultado de Aprendizaje: [Utiliza] [sistemas de ecuaciones lineales] [para resolver problemas y ejercicios básicos] [considerando su análisis mediante el Teorema de Rouché Frobenius, interpretando geométricamente los resultados y validando con software]

Contextualización: Esta actividad se realizó en una asignatura del primer nivel, del área de Materias Básicas, durante el ciclo lectivo 2023, en la que se contaban con 2 comisiones de 80 estudiantes aproximadamente. Para realizar las actividades, los estudiantes se dividieron en grupos de cuatro. La tarea consistía en crear un mapa conceptual o cuadro sinóptico con los contenidos del RA1, lo cual requería un manejo intermedio de los temas. Los estudiantes tenían acceso a toda la bibliografía y podían usar cualquier software o aplicación para su realización.

Descripción: La actividad comienza con un repaso breve de los materiales de hábitos y técnicas de estudio trabajados en el Seminario de Ingreso Universitario, a través del campus virtual. Se revisa en conjunto la rúbrica de evaluación con los criterios que serán evaluados, ésta les queda disponible en el mismo buzón de entrega. Se explica detalladamente para que sea una referencia sobre lo que se espera de la actividad de acuerdo con los niveles de desempeño definidos. Antes de comenzar con la actividad, de manera oral revisamos y enumeramos los contenidos del RA, respetando un orden de jerarquía. Establecemos el tema más importante y como todos los otros subtemas aportan al contenido principal que en nuestro caso es Sistema de Ecuaciones Lineales. De cada subtema se desprenden ecuaciones, gráficos, otros temas, relaciones entre los contenidos y hasta dudas que aparecen en este momento de cierre.

Evaluación: La valoración se lleva adelante a través de la rúbrica que se encuentra cargada en una “tarea” en el aula virtual de Moodle dentro de la opción de “calificación avanzada”, desde el mismo se va puntuando el indicador del criterio correspondiente y de manera automática la nota es visible para cada grupo. Se le realiza además una retroalimentación al equipo de trabajo señalando los

aspectos por los que se considera que no se le asigna el máximo nivel de desempeño. Cada uno de ellos Los criterios que se evaluaron fueron: Conceptos principales, relaciones entre conceptos, estructura y organización, diseño y originalidad, presentación y entrega. Los mismos estaban organizados según el nivel de dominio con sus correspondientes indicadores de desempeño.
A continuación, en la Fig. 1, se presenta una parte de la rúbrica de evaluación usada para puntuar los mapas:

Conceptos Principales	No incluye los conceptos principales que abarca el RA 1, o presenta errores conceptuales ***3 puntos***	Incluye algunos conceptos principales que abarca el RA 1, o hay algunos errores conceptuales ***6 puntos***	Incluye la mayoría de los conceptos principales que abarca el RA 1, sin errores conceptuales ***8 puntos***	Incluye todos los conceptos principales que abarca el RA 1, sin errores conceptuales ***10 puntos***
Relaciones entre conceptos	No utiliza palabra o frases adecuadas para relacionar los conceptos ***3 puntos***	Faltan algunas conexiones entre conceptos o estas no son adecuadas ***6 puntos***	La mayoría de los conceptos presentan una relación adecuada mediante palabras o frases ***8 puntos***	Todos los conceptos presentan una relación adecuada mediante palabras o frases ***10 puntos***

Fig.1: Parte de la rúbrica de evaluación utilizada para puntuar la actividad. Elaboración propia

Reflexión y Ajustes: La actividad resultó muy interesante, pero el gran desafío fue que, a pesar de que la mayoría se encuentra familiarizados con las técnicas de estudio, no tienen práctica suficiente con este tipo de herramientas, por lo que en algunos casos sobrecargan de información el cuadro recreando un resumen o en el otro extremo sólo ponían títulos, sin relaciones entre temas como si fueran conceptos desconectados entre sí.
Esta actividad es importante para la instancia integradora ya que podían contar con el mapa y les ayuda a entender de manera más profunda los contenidos del RA1, relacionarlos, y es ahí cuando realmente la actividad aporta a la competencia de aprendizaje autónomo.
Es importante destacar el aporte de la tecnología tanto para la organización de la información en los cuadros como para la corrección con las rúbricas insertas en la tarea del campus, ya que agiliza la corrección, el proceso se torna transparente y con mayor grado de objetividad. Los estudiantes interactuaron de manera constante con softwares, y además compartieron información sobre diferentes estrategias y herramientas, lo que enriqueció considerablemente la experiencia.

INVESTIGACIÓN OPERATIVA

Resultado de Aprendizaje: Resuelve modelos de redes para el cálculo de rutas mínimas, flujos máximos y tiempos/costos de proyectos aplicando algoritmos y técnicas específicas en contextos de certidumbre e incertidumbre.

Contextualización: La asignatura Investigación Operativa, se ubica en el cuarto nivel de la carrera de ISI con una matrícula aproximada de 50 a 60 estudiantes. Aunque la orientación de la materia es fundamentalmente práctica, se aborda la teoría necesaria y suficiente para orientar y justificar la práctica. Tradicionalmente, la evaluación consistía en tres o cuatro parciales prácticos que podían contener algunas preguntas teóricas emergentes de la práctica realizada, explicando por qué se hacen las cosas de determinada forma y no de otra. La decisión de realizar tres o cuatro parciales se tomaba de acuerdo a cómo se desempeñaban los estudiantes cada año frente al primer tema, que generalmente marcaba la mayor dificultad: Programación Lineal. El cambio propuesto fue sobre la unidad de contenido “Modelos de Redes”, donde se incorporaron nuevas actividades y se implementó una forma diferente de evaluar. El objetivo principal fue reemplazar el parcial tradicional por una instancia evaluativa diferente, permitiendo más libertad de actuación y selección de herramientas, creatividad para pensar en los modos de acceso, y trabajo en equipos. Esto pretendía que la motivación fuera más intrínseca, implicando más a los estudiantes en el desarrollo de su

conocimiento sobre modelos de redes. Los requerimientos técnicos para la implementación de las actividades no exigen recursos adicionales a las que ya utilizan en otras asignaturas.

Descripción: La actividad consistió en que los estudiantes desarrollaran una aplicación en el lenguaje de programación de su preferencia, en su mayoría Python, que modelará grafos y permitiera la aplicación de los algoritmos base de la unidad de conocimiento, tales como Dijkstra, Flujo Máximo, Árboles de expansión mínima, CPM y Pert. Se comenzó la clase con una introducción teórica sobre las distintas finalidades de cada uno de los algoritmos de redes, explicando sus principios, límites y funcionamiento. Se proporcionaron ejercicios cortos y simples para comprender el funcionamiento de los algoritmos y se organizó a los estudiantes para trabajar sobre el desarrollo de su aplicación. La misma debía permitir el ingreso y modificación de datos, ejecutar el algoritmo seleccionado y generar tanto los grafos iniciales como los de solución. Además, los estudiantes debían validar el algoritmo generando conjuntos de datos de prueba. Durante las clases ellos realizaban consultas, compartían sus avances y discutían sus enfoques con otros grupos, promoviendo un ambiente de colaboración y aprendizaje compartido. Se les pidió completar un cuestionario con mínimos ejercicios de todos los algoritmos para asegurar que todos conocieran todos los temas, y por último la búsqueda y selección de un trabajo científico que mostrara casos de aplicación de cualquiera de los algoritmos especialmente en el área disciplinar y que no hubiese sido seleccionado ya por otros grupos.

Evaluación y Retroalimentación: La estrategia de evaluación consistía en registrar los avances de la aplicación de manera continua, permitiendo mejoras antes de la entrega final. Se proporcionó una rúbrica detallada con los criterios de evaluación como guía. Una vez realizada la entrega final, se proporcionaba una retroalimentación cualitativa donde se detallaron los puntos de posible mejora o los errores cometidos en caso de que existieran. Esto permitía a los estudiantes defender sus decisiones, modificar o corregir errores y, luego de comunicar la reentrega o no, ser evaluados cuantitativamente. El campus virtual se utilizó para la entrega de tareas y el intercambio de correcciones y retroalimentación por parte de la docencia. Tanto la autoevaluación como la presentación de los trabajos científicos también formaban parte de la evaluación final del RA, permitiendo a los estudiantes explorar y demostrar cómo los algoritmos estudiados se aplican en el mundo real y evidenciar conocimiento de todos los modelos. La nota final se distribuyó en un 60% la aplicación, un 20% el artículo científico y un 20% la autoevaluación.

Reflexión y Ajustes**:** La actividad resultó ser muy enriquecedora, los estudiantes se mostraron motivados y comprometidos con el desarrollo de sus proyectos, y la dinámica de mejora continua permitió que alcanzaran muy buenos resultados. La integración de teoría y práctica, junto con la colaboración entre pares y la retroalimentación constante, fueron elementos clave para el éxito de esta experiencia educativa. Al leer trabajos científicos sobre la aplicación de las técnicas pudieron incluso hacer una valoración de esos trabajos evaluando la utilidad y la implementación. Se puede concluir que el RA se cumplió holgadamente, en este sentido y con el análisis que la narrativa pedagógica convoca, se cae en cuenta que el mismo no indicaba: ni saber trabajar en equipos, ni saber programar, y esto es correcto y se justifica en que se consideran competencias que en el 4to nivel ya han sido desarrolladas en el grado que se requiere para afrontar esta actividad y de hecho no es algo que forma parte de la valoración de la actividad, lo que no significa que se observe y se esté atento para orientar en ellas.
Dentro de las dificultades, a lo largo de sus tres implementaciones, se detectaron diferencias sustanciales en los niveles de programación. Al ser un trabajo grupal, las destrezas o falencias de unos se lograban compensar con la de otros, lo que también es un aprendizaje, ya que no hay mejor justificación para validar el trabajo en equipo que reconocer que no se puede saber todo. Aún así, la competencia en programación ha quedado como un elemento a seguir observando. La segunda cuestión que llamó la atención fue que, si bien los algoritmos se encuentran en web desarrollados en múltiples lenguajes, la interfaz para la carga, así como la salida de los datos, en general requiere de decisiones de grupo, y en estas dos instancias es donde se registran las mayores correcciones, mientras que la validación de resultados de los algoritmos es algo que realizaron con mucha solvencia. Por último, a pesar de hacer variaciones a lo largo de sus tres implementaciones (la primera solo aplicación, la segunda aplicación y presentación de trabajos científicos y esta última

que se le sumo la autoevaluación), la docencia considera que ha sido demasiada carga de trabajo, por lo que estamos buscando cómo resolver este punto para el próximo año.
Esta narrativa pedagógica muestra cómo una evaluación puede transformar la experiencia de aprendizaje. La combinación de teoría, práctica y reflexión, junto con el uso de tecnologías y el trabajo en equipo, contribuye significativamente al desarrollo de competencias en los estudiantes.

ALGORITMO Y ESTRUCTURA DE DATOS

Resultados de Aprendizaje: RA1: Aplica los conceptos del Pensamiento Computacional para resolver problemas básicos de ingeniería utilizando las estructuras de datos correspondientes con el lenguaje informático indicado.
RA2: Participa en la formulación de soluciones en conjunto con pares, debatiendo y consensuando diferentes alternativas de resolución con la finalidad de visualizar múltiples opciones de soluciones a la situación problemática planteada.

Contextualización: La asignatura es del primer año de la carrera, con una matrícula de 230 estudiantes que se dividen en 3 comisiones de 75 estudiantes aproximadamente, lo que claramente significa masividad para esta facultad regional. Su cursado es anual y se orienta principalmente a la resolución de problemas de ingeniería. Una de las primeras problemáticas que se presentan es la diversidad de conocimientos previos. A lo largo de la cursada, los estudiantes abordan problemas cuya complejidad se incrementa de manera gradual, lo que permite un desarrollo progresivo de las habilidades y competencias asociadas a los resultados de aprendizaje (RA).
En el marco del aprendizaje basado en competencias, se resignifica la integración de los tres saberes: conocer, hacer y ser. Para ello, es fundamental el uso de metodologías que formen este triángulo pedagógico. Entre estas metodologías se encuentra el Peer Learning del Profesor Erik Mazur de la Universidad de Harvard, que potencia el aprendizaje mediante la interacción entre pares. El docente, utilizando herramientas simples y de fácil acceso, facilita puede lograr que los alumnos demuestren su capacidad de trabajo en equipo, compartan saberes y reflexionen sobre ellos, activando los procesos metacognitivos. Esta metodología se conjuga perfectamente con otras de uso extendido, como la clase invertida, y también puede ser utilizada como una herramienta de evaluación continua.

Descripción: La actividad que se describe se implementó con la herramienta VPL (Virtual Program Lab) en el entorno Moodle que permite centrar la clase en el estudiante. Durante la cursada, los estudiantes se enfrentan a una serie de problemas de ingeniería que deben resolver aplicando conceptos de algoritmos y estructuras de datos. VPL permite a los estudiantes enviar sus soluciones, las cuales son evaluadas automáticamente por el sistema. Si la solución no es correcta, VPL proporciona un porcentaje que indica el nivel y tipo de errores encontrados, lo que les permite mejorar su propuesta de solución en forma iterativa hasta alcanzar la solución correcta.

Evaluación y Retroalimentación: La evaluación se integra como un proceso continuo a lo largo de la cursada, apoyada por las herramientas tecnológicas y la metodología implementada. Los estudiantes reciben retroalimentación inmediata a medida que presentan sus soluciones, lo que estimula un ciclo de refinamiento sucesivo. Esta forma de evaluar asegura que no solo mida el desempeño, sino que también actúe como un regulador del aprendizaje, ayudando a los estudiantes a alcanzar los resultados de aprendizaje deseados. Otra ventaja de VPL es su capacidad para permitir la evaluación continua en conjunto con la gamificación. Además, VPL da visibilidad a las soluciones de los estudiantes, permitiendo al docente seguir la evolución de la clase en tiempo real.

Reflexión y Ajustes: Los estudiantes se muestran muy interesados en actividades donde obtienen feedback al mismo tiempo que presentan sus soluciones. Esto estimula a que el mismo ingrese en un loop de refinamiento sucesivo para encontrar la solución aceptada por la plataforma. De esta forma, la evaluación se integra como proceso regulador en su aprendizaje.
Las evidencias de aprendizaje surgen después de cinco meses de cursada, donde se observa un avance significativo en los dos RA seleccionados. Cada uno de los resultados de aprendizaje muestra grados de avance que reflejan cómo los estudiantes desarrollan las habilidades necesarias

para resolver problemas complejos, colaborando en equipo y aplicando el pensamiento computacional.
Para respaldar estos avances, se realizó una encuesta a los estudiantes sobre la experiencia con Peer Learning en la clase. Los resultados de esta encuesta[1] se muestran en la Fig. 2 proporcionan información valiosa sobre la efectividad de la metodología aplicada y se utilizan para ajustar y mejorar la dinámica de la asignatura.

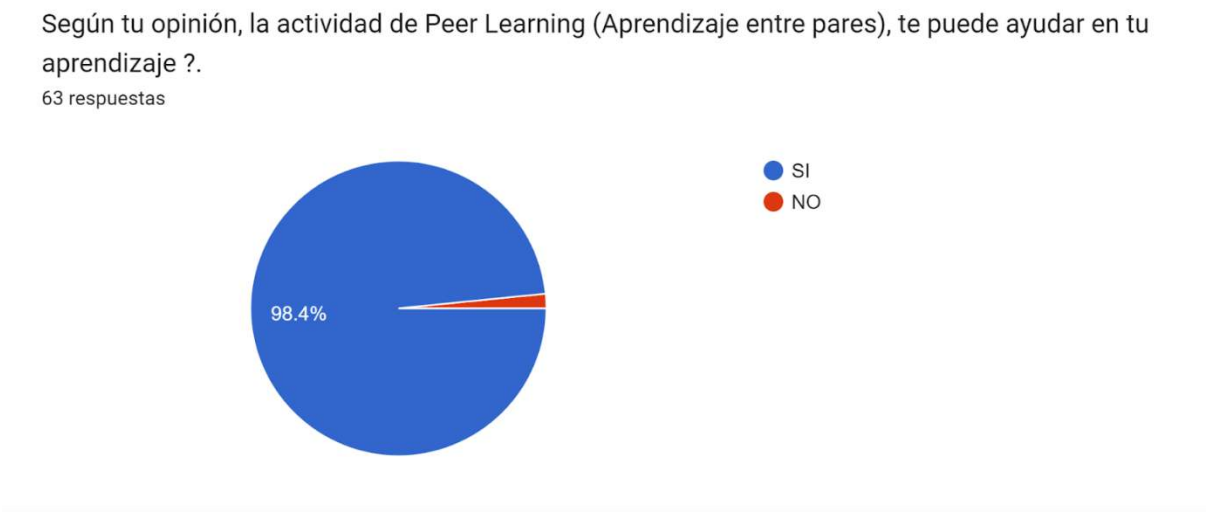


Figura 2: Resultados encuesta estudiantes de 1 Año ISI - Ciclo 2024

SISTEMAS OPERATIVOS

Resultado de Aprendizaje: Interpreta la gestión de procesos para fundamentar la ejecución de aplicaciones considerando el tratamiento de memoria, sistemas de archivos, entradas / salidas, seguridad y protección.

Contextualización: La asignatura se encuentra en el segundo nivel de la carrera y es dictada en el primer cuatrimestre con una duración de 96 horas reloj. Pertenece al área de conocimiento Computación y Comunicación de Datos y se encuentra dentro del bloque Tecnologías Aplicadas del diseño curricular. El propósito de la cátedra es que conozcan el funcionamiento e interacción de los componentes internos de diferentes Sistemas Operativos, de manera que les permita identificar la mejor alternativa de implementación de aplicaciones en los sistemas operativos y administración de los mismos. Actualmente cuenta con dos comisiones de aproximadamente 75 alumnos y posee una fuerte carga de actividades prácticas. La adecuación de tecnología para la creación de ambientes virtuales para el desarrollo de actividades prácticas crea un entorno beneficioso para la motivación de los estudiantes. Además, contribuye a la mejora del proceso de seguimiento de sus trayectorias de aprendizaje por parte de la docencia.

Descripción: La actividad consiste en que los estudiantes se conecten desde sus hogares o el aula a una consola virtual en un entorno Linux. A través de esta consola, ellos resuelven una serie de actividades diseñadas para ser ejecutadas desde la línea de comandos, evidenciando así el aprendizaje de los comandos de Linux que se relacionan directamente con el funcionamiento interno del sistema operativo estudiado en la teoría.
Cada actividad que los estudiantes realizan en la consola se envía en tiempo real a un servidor que corrige automáticamente las respuestas. El grupo docente tiene acceso a los resultados en tiempo real, lo que le permite monitorear el progreso de los estudiantes y brindar retroalimentación inmediata. Este enfoque no solo facilita el aprendizaje autónomo, sino que también asegura que los

[1] Se puede acceder a las respuestas en el siguiente link

estudiantes comprendan cómo los comandos de Linux muestran los conceptos teóricos vistos en clase.
Además de las actividades en la línea de comandos, los estudiantes deben completar cuestionarios frecuentes con preguntas prácticas. Estos cuestionarios, breves pero regulares, permiten a los estudiantes evaluar continuamente su comprensión y aplicar sus conocimientos en situaciones prácticas. Todas estas evidencias, tanto las actividades en la consola como los cuestionarios, conforman una nota que acompaña al parcial teórico que validan este RA.

Evaluación y Retroalimentación: La evaluación continua a través de actividades prácticas y cuestionarios frecuentes proporciona una visión integral del desempeño del estudiante. Esta dinámica de actividades y formas diferentes de acceder al conocimiento permite una retroalimentación constante y la posibilidad de realizar ajustes en tiempo real, asegurando un proceso de aprendizaje dinámico y eficaz. Los resultados obtenidos en estas actividades prácticas son fundamentales para la calificación final, incentivando a los estudiantes a participar activamente y aplicar sus conocimientos de manera práctica.

Reflexión y Ajustes: Esta forma de trabajo es una dinámica que se sostiene a lo largo de toda la asignatura. Esta actividad al permitir múltiples intentos, casi que la convierten en un juego, esto fue un descubrimiento para los docentes, que aunque no estaba planificado, resultó motivador. Los registros van generando un ranking lo que generó un desafío extra para la actividad en sí misma. Definitivamente aumentó su interés y el tiempo de dedicación al estudio de la asignatura.
La devolución y comentarios de los estudiantes a través de charlas informales es muy positiva e incluso algunos de ellos desean avanzar en cuestiones técnicas sobre detalles de implementación y funcionamiento de la plataforma que da soporte a la actividad, lo que presupone extender las actividades áulicas y su grado de interés. El Resultado de Aprendizaje propuesto se cumple tanto en términos cuanti como cualitativamente, es decir no solo aprueban, sino que aprenden a hacer, lo que se evidencia en actividades siguientes.
Hasta el momento no se desea realizar cambios en la actividad, debido a que funciona y que la flexibilidad en sus configuraciones permite realizar cambios en los desafíos que se plantean, logrando adaptarse fácilmente a las particularidades que cada curso plantea.

REDES DE DATOS

Resultado de Aprendizaje: Evalúa el funcionamiento de protocolos y técnicas de encaminamiento para implementar un sistema de comunicación de datos certificando su condición de uso o estado del mismo según estándares de la IEEE y las necesidades de una red en particular.

Contextualización: La asignatura es del cuarto nivel de la carrera de ISI, y de acuerdo con la creciente matrícula que tuvo la carrera, la cantidad de estudiantes que cursan la asignatura fue en crecimiento llegando a niveles de 30-40 estudiantes. El enfoque se adaptó inicialmente durante la pandemia y ha demostrado ser tan eficaz que se continúa utilizando y desarrollando en la actualidad. Los conocimientos previos necesarios se adquieren en asignaturas previas y se retoman rápidamente lo que permite la implementación de las actividades sin la utilización de recursos adicionales. Por último, los conocimientos teóricos de base para abordar la práctica se trabajan previamente en clases presenciales.

Descripción: Las actividades prácticas constan de ejercicios de resolución de problemas y de un práctico integrador, la primera está orientada fundamentalmente a la resolución de un problema o de la realización de un tipo de conexión específico, dependiendo del tema que se está abordando en la teoría, y la segunda de la construcción sucesiva e incremental de una red de datos que permite al inicio realizar conexiones simples, hasta llegar a una estructura de red compleja, con direccionamiento definido por los estudiantes, servicios montados e interconectados. Así, la actividad consiste en utilizar equipos físicos de Cisco proporcionados por la academia local para simular distintos ambientes de red. Además, se creó un espacio virtual con máquinas que incluyen sistemas operativos Windows y Linux, routers Mikrotik y conexiones VPN. Los estudiantes se conectan desde sus casas a este entorno virtual mediante una conexión VPN, lo que les permite

realizar pruebas y configuraciones de redes de manera remota. Durante la clase, los estudiantes son guiados a través de diversas tareas que requieren para realizar la configuración y gestión de dispositivos de red tanto físicos como virtuales. Las prácticas incluyen la configuración de routers, switches, firewalls y la implementación de VPNs. Cada tarea está diseñada para reforzar los conceptos teóricos vistos en clase, permitiéndoles simular situaciones reales que enfrentarán en el ámbito profesional. La conexión remota a través de VPN permite a los estudiantes acceder al entorno de prácticas en cualquier momento y lugar, promoviendo un aprendizaje flexible y autónomo.

Evaluación y Retroalimentación: La evaluación se basa en la correcta ejecución de las configuraciones y pruebas de redes realizadas tanto en los equipos físicos como en el entorno virtual. Los estudiantes deben documentar cada paso de sus actividades y presentar informes detallados que describan las configuraciones implementadas y los resultados obtenidos. Por su parte los profesores pueden monitorear el progreso de los estudiantes y proporcionar una retroalimentación en tiempo real, asegurando que las configuraciones y pruebas se realicen correctamente. Esta retroalimentación continua permite a los estudiantes realizar ajustes en sus configuraciones, promoviendo un ciclo de aprendizaje iterativo y de mejora hasta alcanzar el resultado de aprendizaje propuesto.

Reflexión y Ajustes: La actividad resulta, al principio, un desafío importante para los estudiantes, ya que deben realizar las configuraciones necesarias sobre todos los dispositivos intervinientes para establecer una correcta conexión. Sin embargo, a medida que avanzan, logran vincular mejor los contenidos y aproximarse a la práctica profesional, lo que los enriquece y motiva al mismo tiempo. Trabajar en escenarios simulados genera mayores niveles de compromiso con la asignatura y su estudio. La superación constante de desafíos mejora su autoconfianza y promueve la autoevaluación de sus aprendizajes.
Desde la perspectiva de los docentes, esta actividad permite realizar un seguimiento del proceso de aprendizaje y de los avances individuales y colectivos de los estudiantes El uso de equipos físicos y simuladores virtuales facilita la integración de acciones, propósitos y justificaciones, es decir, reúne el "qué hago", "para qué lo hago" y "por qué lo hago así", a la vez que genera motivos y espacios de consulta y debate entre pares. Es importante para esta asignatura que comprendan la importancia de compartir, colaborar y aprender entre todos.
El desafío, la evaluación continua y la retroalimentación oportuna, hace que se alcance el RA propuesto. Sin duda, el uso de tecnología con fines educativos contribuye de manera significativa al desarrollo de las competencias estudiantiles.

CONCLUSIONES

La construcción de estas narrativas tuvo como objetivo promover, desde un espacio más personal, la reflexión docente sobre la propia práctica y sobre la valoración de los intercambios entre lo que se propone o planifica y lo que efectivamente sucede en las aulas y en el proceso de aprender y enseñar.

A lo largo de este escrito se han analizado distintas experiencias pedagógicas que han permitido transformar las prácticas educativas en la carrera de Ingeniería en Sistemas de Información. Se observa que el uso de tecnologías ha sido un denominador común en todas las experiencias, destacando su importancia en la promoción del aprendizaje autónomo y en las propuestas evaluativas. Las metodologías activas de aprendizaje, como el trabajo en equipo, en remoto y con objetivos/desafíos han facilitado una mayor comprensión de los contenidos, una mejor integración de conocimientos teóricos en contextos prácticos, y han respaldado la evaluación continua. El uso de rúbricas automatizadas y la retroalimentación inmediata han mejorado tanto el proceso de evaluación como de autoevaluación, proporcionando a los estudiantes la oportunidad de reflexionar sobre su progreso y ajustar sus estrategias de aprendizaje.
Además, todas las experiencias han resaltado el desarrollo tanto de competencias específicas del área de estudio como de competencias transversales, evidenciando que, desde la perspectiva del

aprendizaje, no es posible separarlas. Estas experiencias también han mostrado variabilidad, adaptándose a diferentes niveles de cursos, desde los primeros años hasta los más avanzados, y utilizando distintos tipos y complejidades de tecnologías y herramientas. Los resultados de aprendizaje han sido revalorados y alcanzados. La integración de tecnología en el aula, junto con estrategias pedagógicas centradas en el estudiante, han facilitado la formación de competencias y han motivado a los estudiantes al enfrentarse a situaciones prácticas que los acercan a la práctica profesional.

Al final, estas experiencias subrayan la importancia de la acción docente como un proceso continuo de aprendizaje y reflexión. Siguiendo el pensamiento de John Dewey, quien definía la educación como "una reconstrucción o reorganización de la experiencia que da sentido a la experiencia y que aumenta la capacidad para dirigir el curso de la experiencia subsiguiente", estas prácticas pedagógicas pretenden ser la base sobre la cual se construyan futuras experiencias educativas.

Referencias

Bonilla C., E., & Rodríguez S., P. (2013). *Más allá del dilema de los métodos: La investigación en ciencias sociales* (Primera edición E-Book). Universidad de los Andes.

Clandinin, D. J. (1991). Learning to Live New Stories of Practice: Restorying Teacher Education. *Phenomenology + Pedagogy*, 70-77. https://doi.org/10.29173/pandp15149

Clandinin, D. J., & Connelly, F. M. (2000). *Narrative Inquiry: Experience and Story in Qualitative Research*.

Dewey, J. (1998). *Democracia y educación: Una introducción a la filosofía de la educación* (3ra ed.). Ediciones Morata SL.

Elbaz-Luwisch, F. (2007). Studying Teachers' Lives and Experience: Narrative Inquiry into K–12 Teaching. En D. Clandinin, *Handbook of Narrative Inquiry: Mapping a Methodology* (pp. 357-382). SAGE Publications, Inc. https://doi.org/10.4135/9781452226552.n14

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw Hill Interamericana.

Reis, P., & Climent Rodríguez, N. (2012). *Narrativas de profesores: Reflexiones en torno al desarrollo personal y profesional*. Universidad Internacional de Andalucía. https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=508946

Suárez, D. (2011). Indagación pedagógica del mundo escolar y formación docente. La documentación narrativa de experiencias pedagógicas como estrategia de investigación-formación-acción. *Revista del IICE*, *30*, Article 30. https://doi.org/10.34096/riice.n30.142

INFLUENCIA DE LA INSTRUMENTACIÓN EN SISTEMAS DE CONTROL DE TEMPERATURA

Alejandro Lucchesi[1], Hernán Herrera[1], Guillermo Campomar[1]

[1]Grupo de Estudios de Sistemas de Control, Facultad Regional San Nicolás, Universidad Tecnológica Nacional, CP 2900
alucchesi@frsn.utn.edu.ar

Resumen

La circulación de fluidos de muy baja temperatura en tubos de acero al carbono puede generar la fractura frágil de los mismos, y se han reportado accidentes con consecuencias catastróficas por este motivo. Un método eficaz para mitigar este riesgo es la implementación de un sistema de protección por baja temperatura que detenga la circulación del fluido en caso de activación. Para el correcto diseño de éste, el tiempo de respuesta de la instrumentación utilizada en la medición de temperatura resulta un parámetro muy importante. En estas instalaciones, es usual emplear termorresistencias de tipo Pt100, montadas con vainas (*thermowell*) instaladas en la tubería para facilitar el mantenimiento.

En el presente trabajo se evalúa el impacto de la incorporación de la vaina en la medición de temperatura con termorresistencias Pt100. El objetivo principal es analizar cómo la adición de esta vaina afecta la respuesta y el desempeño de la medición de temperatura. Además, se determina el impacto de la utilización de un conductor térmico para contrarrestar los efectos derivados de la inclusión de la vaina.

Se realizaron ensayos de laboratorio para modelizar la respuesta dinámica del termoelemento en tres condiciones: sin vaina, con vaina, y con vaina y grasa siliconada como conductor térmico.

Para cada uno de los casos de los modelos obtenidos se analizó la influencia en la respuesta de un lazo de protección por baja temperatura y el comportamiento a lazo cerrado de un lazo de control de temperatura, utilizando herramientas de simulación.

Palabras Clave: Medición de Temperatura, Instrumentación, Seguridad de Procesos.

Introducción

La producción de gases industriales como oxígeno, nitrógeno y argón se realiza principalmente por medio de la destilación del aire. Previo a la remoción de la humedad y el dióxido de carbono de contiene, el aire es enfriado hasta su punto de licuefacción, y luego separado mediante el proceso de destilación criogénica. El almacenamiento, transporte y distribución del producto se realiza en estado líquido, a temperaturas muy bajas, por debajo de -160°C. Por lo tanto, los tanques de almacenamiento y las cisternas para la distribución cuentan con una aislación térmica para minimizar la vaporización del producto, y por consiguiente evitar el aumento de presión dentro del recipiente. Debido a que la mayoría de los clientes requieren el producto en estado gaseoso, se deben instalar vaporizadores atmosféricos. Es decir, el producto en estado líquido circula por un intercambiador que lo calienta y lo vaporiza, aprovechando el calor del aire ambiente que está en contacto con el vaporizador. A la salida del vaporizador el producto está en estado gaseoso, y a una temperatura cercana a la del ambiente. Sin embargo, la temperatura depende en gran medida de la capacidad de diseño del vaporizador, la cantidad de hielo acumulado en el mismo (debido a la condensación de humedad ambiente) y la temperatura ambiente. Es decir, es posible que la capacidad se vea afectada por factores exógenos, y que la temperatura de salida sea más baja de lo esperado. Esto es de particular importancia, ya que en ocasiones el material utilizado para la cañería aguas abajo es de acero al carbono, y el mismo puede pasar a un estado de fragilidad en caso de alcanzar temperaturas inferiores a -30°C. Se han reportado accidentes con consecuencias catastróficas por la destrucción de equipamiento industrial. Un ejemplo es el caso de la refinería de Longford, en Australia (Hutchison, R. B., Boult, D. M., Pitblado, R. M. & Kenny, G. D.). La detención

de una bomba de aceite provocó la caída de temperatura en un recipiente. Al reintroducir aceite caliente al equipo, el mismo se destruyó debido a una fractura frágil, liberando a la atmósfera una gran cantidad de vapor de hidrocarburos. Estos provocaron una explosión y un incendio, con consecuencias fatales para dos colaboradores, y grandes daños a los activos de la compañía.

En el Documento 133/22 “Cryogenic Vaporization Systems - prevention of brittle fracture of equipment and piping” de la “European Industrial Gases Association”, se presentan las medidas de mitigación del riesgo de fractura frágil por frío en los sistemas de vaporización de líquidos criogénicos. Una de las alternativas que propone es la instalación de un sistema de protección de baja temperatura. Hace referencia a que la distancia entre el sensor de temperatura y la última porción de la cañería o equipamiento debe ser calculada en función del tiempo de respuesta del sistema de protección. Por lo tanto, la respuesta dinámica del sistema de medición de temperatura requiere relevancia.

Por otro lado, una incorrecta selección del sistema de medición de temperatura puede adicionar una dinámica no deseada a la respuesta a lazo cerrado de un sistema de control de temperatura. Este efecto se observa en el trabajo de Taler, D.; Sobota, T.; Jaremkiewicz, M.; Taler, J. (2020), donde modelizaron matemáticamente la dinámica de un proceso de calentamiento eléctrico de agua en un tanque cerrado, incluyendo la termovaina. Sin embargo, no evaluaron el desempeño a lazo cerrado ante escalones de referencia.

Se busca evaluar el impacto de la incorporación de una vaina (*thermoweld*) en la medición de temperatura mediante una termoresistencia de tipo Pt100. El objetivo principal es analizar cómo la adición de esta vaina afecta la respuesta y el desempeño de la medición de temperatura. Además, se pretende determinar el impacto de la utilización de un conductor térmico para contrarrestar los efectos derivados de la inclusión de la vaina.

Para ello se realiza una serie de ensayos para modelizar el termoelemento en las 3 condiciones: sin vaina, con vaina y con vaina y grasa siliconada como conductor térmico.

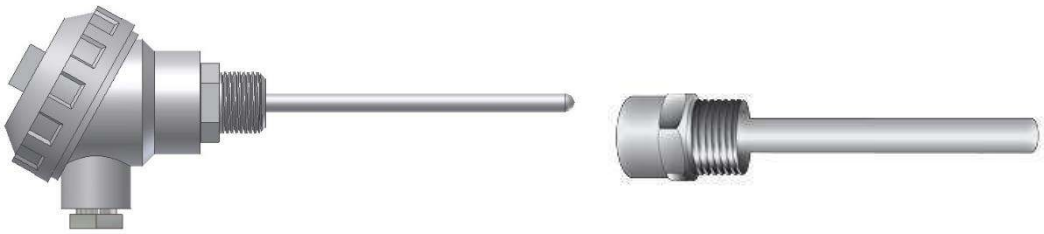


Fig. 1. Termoresistencia Pt100 y vaina (*thermoweld*).

Materiales y métodos

Para modelizar el sensor se escoge una función de transferencia de tipo primer orden con retardo de ganancia unitaria, cuya ecuación es Ec.1. Los parámetros característicos de esta modelización son la constante de tiempo τ y el retardo de tiempo θ.

$$G(s) = \frac{e^{-\theta s}}{\tau s + 1} \tag{1}$$

Se realiza una serie de ensayos para identificar la respuesta del sensor, conformado por una termoresistencia Pt100 en cada uno de los casos considerados:

1. Sin vaina
2. Con vaina
3. Con vaina utilizando grasa siliconada como conductor térmico

Para la lectura de la indicación se utiliza un PLC con módulo RTD. La respuesta se registra mediante un SCADA, con un tiempo de muestreo de 0,5 segundos.

En cada caso, se sumerge el sensor en un recipiente con líquido a una temperatura T_A. Una vez estabilizada la indicación, se pasa el sensor inmediatamente a otro recipiente, a temperatura $T_A > T_B$, y se registra la evolución temporal hasta que la indicación se estabiliza. Entonces, se pasa nuevamente al primer recipiente para registrar la respuesta decreciente de la indicación.

Resultados y discusiones

En primer lugar, se realizó una modelización de una termoresistencia real típicamente utilizada en la industria de procesos. Se realizaron ensayos para determinar sus parámetros frente a las diferentes condiciones.

Con los resultados de la identificación, se utilizaron herramientas de simulación para evaluar el impacto del *thermoweld* tanto en los sistemas de protección por frío como en los lazos de control de temperatura.

A continuación se desarrolla cada uno de estos capítulos.

Identificación de la respuesta

A fin de contar con un modelo del sensor de temperatura, se realizaron diferentes experimentos con una termoresistencia conectada a un transmisor para adquirir la lectura desde un PLC. Para registrar la respuesta temporal, se dispone de un SCADA que permite muestrear y almacenar un histórico. Se dispone de dos recipientes a diferentes temperaturas. Para cada situación, se coloca la termoresistencia en el primer recipiente, una vez estabilizada la temperatura se lo pasa rápidamente al otro recipiente para generar un escalón de temperatura. Cuando la respuesta se estabiliza, se vuelve a medir sobre el primer recipiente. De esta forma, se obtiene un escalón ascendente y otro descendente.

Este procedimiento se realiza para los tres casos: termoelemento sin vaina, con vaina *thermoweld*, y utilizando grasa siliconada dentro de la vaina como conductor térmico.

Se realizó la identificación de las respuestas registradas en cada uno de los ensayos, utilizando el modelo de la ecuación (1), como se muestra en la Figura 2.

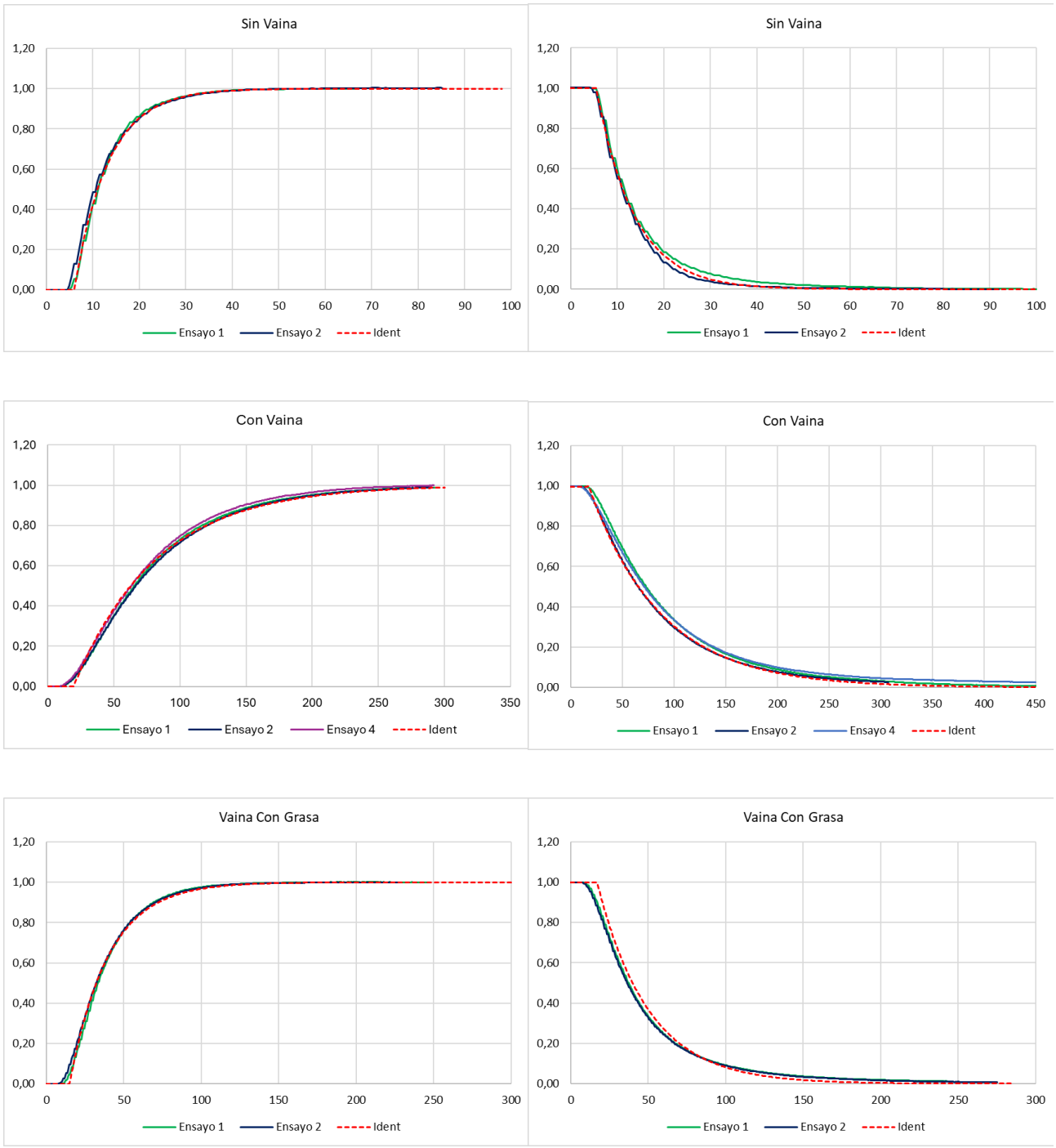


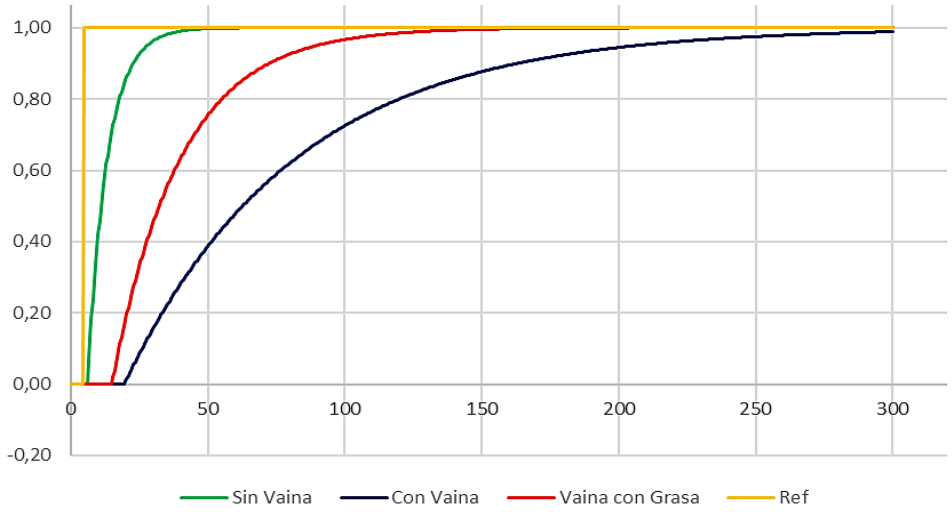
Fig. 2. Identificación de respuestas registradas.

Los resultados de la constante de tiempo τ y el retardo de tiempo θ para cada caso considerado se muestran en la Tabla 1.

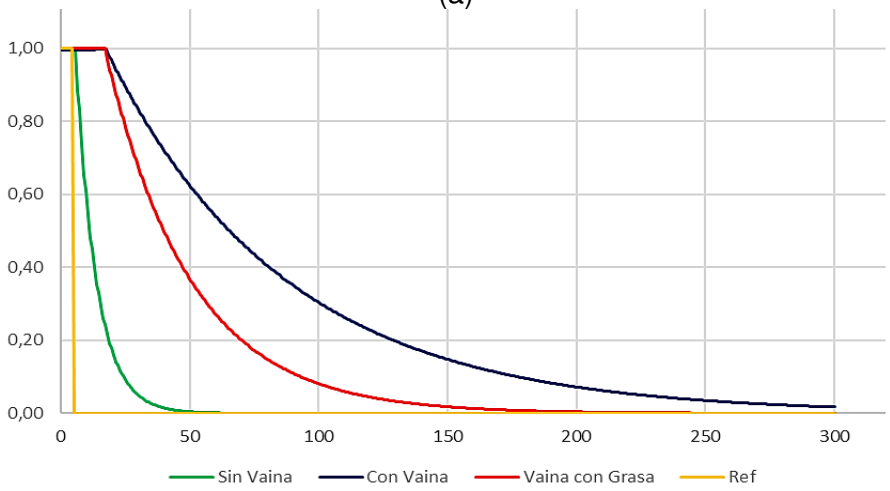
Tabla 1. Parámetros identificados

Condición	Constante de tiempo τ (s)		Tiempo de retardo θ (s)	
	Salto ascendente ▲	Salto descendente ▼	Salto ascendente ▲	Salto descendente ▼
Sin vaina	7,30	8,16	0,87	0,61
Con vaina	62,33	69,43	16,36	13,34
Vaina con grasa	24,91	33,06	10,14	8,37

A partir de esos resultados, se elaboraron las gráficas comparativas presentadas en la Figura 3.



(a)



(b)

Fig. 3. Comparación de respuestas temporales para los diferentes casos, para temperatura creciente (a) y decreciente (b).

De los resultados obtenidos de la modelización, se pueden mencionar las siguientes observaciones.

El tiempo de retardo θ (promedio) puede ser entendido como el intervalo de tiempo entre el instante en el que se realiza el cambio de recipiente y el instante en el que se observa el cambio en la indicación. Este valor pasa de 0,74 a 14,85 s al incorporar la vaina. Cuando se utiliza grasa siliconada, el retardo es de 9,25 s, apreciándose la mejora en la respuesta.

El tiempo requerido para que la indicación alcance el 63,2% del valor final puede obtenerse como la suma de los parámetros θ y τ. Considerando los valores promedios, para el caso sin vaina, este tiempo es de 8,46 s. Cuando se utiliza la vaina sin grasa, ese tiempo pasa a ser de 80,73 s. Al incorporar la grasa siliconada, el tiempo requerido se reduce a 38,24 s.

Impacto en la protección por frío

En los sistemas de medición para protección por frío, generalmente son utilizadas termovainas. Esto facilita las tareas de mantenimiento, permitiendo desmontar el termoelemento sin despresurizar la cañería.

Como caso a evaluar, considérese un evaporador de líquido que se encuentra almacenado en un tanque a temperaturas criogénicas. Al atravesar el evaporador, se produce la evaporación del líquido, saliendo del sistema a una temperatura cercana a la del ambiente. En caso de un flujo excesivo, el evaporador perderá rendimiento progresivamente, provocando un descenso de la temperatura a la salida. Si esta condición se mantiene, la temperatura podría generar la fragilización del material no resiliente.

Para evitar la condición, este tipo de instalaciones cuentan con un sistema de protección basado en la medición de temperatura de salida. En caso de que la misma caiga por debajo de un *setpoint*, se dispara el cierre de las válvulas del evaporador, bloqueando la circulación del fluido. Para la elección de este valor de disparo debe considerarse la respuesta dinámica del lazo de medición.

Para reflejar el impacto del uso de la vaina en la respuesta temporal, puede recurrirse al uso de herramientas de simulación. Se considera un lazo de medición formado por un termoelemento midiendo sobre un fluido cuya temperatura desciende exponencialmente. El sensor se modeliza a partir de la función de transferencia de la Ec. 1 y los parámetros correspondientes de la Tabla 1. La Figura 4 refleja la respuesta de simulación del sistema.

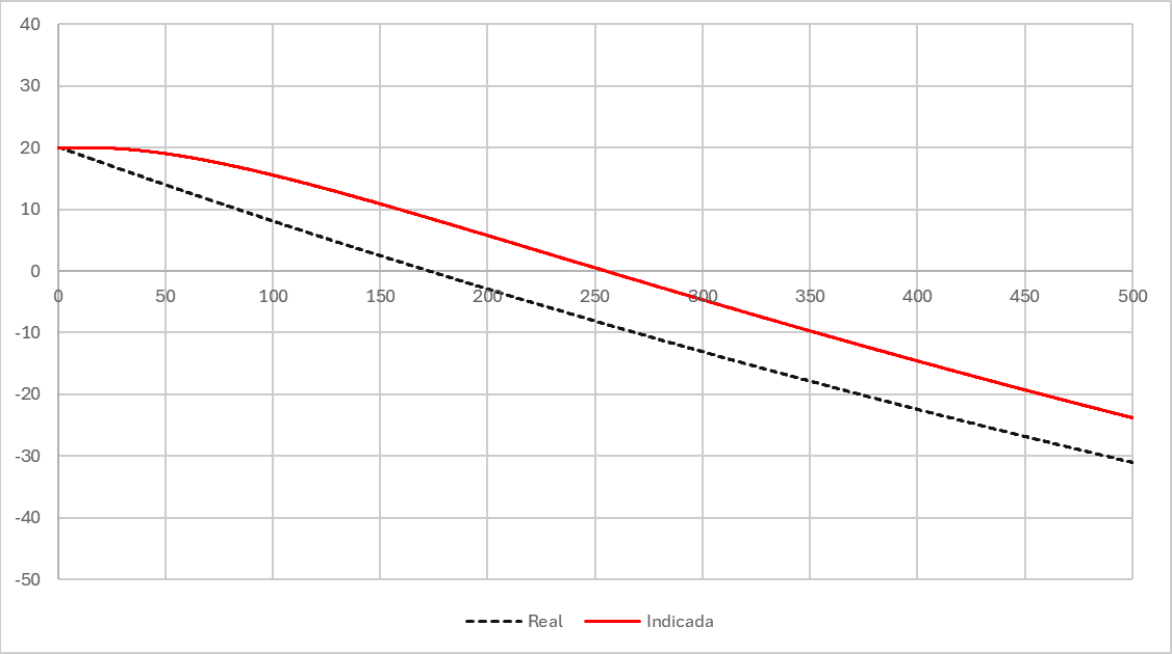


Fig. 4. Evolución temporal de la medición de temperatura

Puede verse que cuando el fluido alcanza la temperatura de -20ºC, la temperatura indicada por el sistema es de -12ºC. Debido a esto, el *setpoint* de disparo debería establecerse suficientemente por encima de la temperatura mínima permitida para el sistema para compensar los efectos de la dinámica del sensor. En caso contrario, el retardo en la lectura del sistema de protección permitiría

que la temperatura en la cañería de salida supere el límite de fragilización. Sin embargo, al establecer un *setpoint* demasiado conservador se podrían generar disparos innecesarios, si la temperatura finalmente se estabiliza por encima del límite de trabajo.

Si se adiciona grasa siliconada como conductor térmico en la vaina, se mejora el tiempo de respuesta de la medición, pudiendo configurarse el *setpoint* en un valor inferior. Con esto, se reduce la brecha entre el valor de disparo del sistema de protección y el límite de trabajo, minimizando pérdidas de producción por cortes de suministro.

En la Figura 5 se muestra la comparación de las respuestas de simulación entre los distintos casos de sensores: termoelemento sin vaina, con vaina y vaina con grasa como conductor térmico.

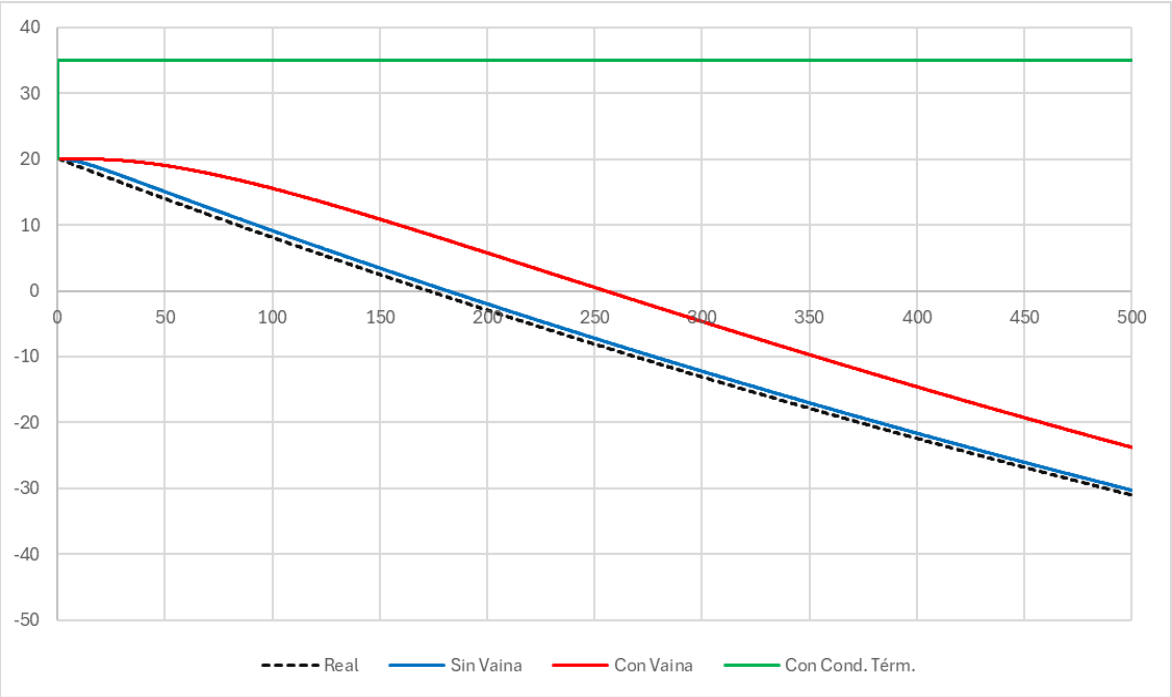


Fig. 5. Comparación de la respuesta temporal para las distintas condiciones del sensor.

Respuesta de control de temperatura a lazo cerrado

Para evaluar cómo afecta la utilización de vaina en el sensor en un lazo cerrado se empleó la información de un lazo de temperatura real. En este caso, se utilizó un control de temperatura de agua didáctico, disponible en el Laboratorio de Control de la UTN Facultad Regional San Nicolás (Fig. 6). El lazo consta de un termoelemento (TE), un transmisor de temperatura (TT) conectado a una entrada analógica de 4-20 mA del PLC, que ejecuta el algoritmo de control (TIC). La temperatura es regulada variando la potencia aplicada a una resistencia calefactora mediante un controlador de disparo (TY) desde una señal de 0-10 V proveniente de una salida analógica del PLC. También se cuenta con la indicación de caudal (FT). Esta planta a controlar fue modelizada e identificada en el trabajo de Lucchesi, Campomar, Herrera & Zanini (2017).

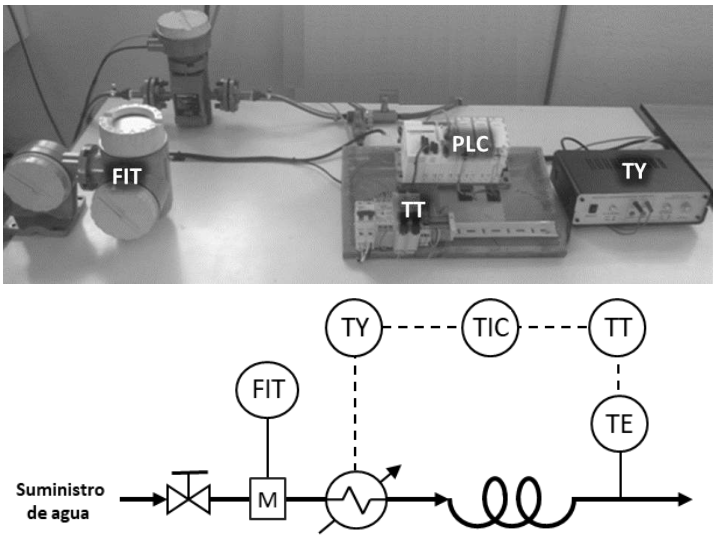


Fig. 6. Planta didáctica de control de temperatura.

Considerando un modelo de primer orden con retardo, la planta puede modelizarse mediante la función de transferencia de la Ec. 2.

$$G(s) = \frac{0.48147\, e^{-84.79\, s}}{125.45\, s + 1} \tag{2}$$

Åström, K. J., & Hägglund, T. (2009) propusieron un método simple de ajuste de lazos PID. El criterio de diseño está basado en la maximización de la acción integral, para lograr un buen rechazo a las perturbaciones, pero con una restricción de robustez. De ese análisis, derivaron un conjunto de reglas de ajuste simples a las que denominaron A-MIGO (Approximate M constrained Integral Gain Optimization). Utilizando este método de ajuste, los parámetros del controlador PID obtenidos resultan K_c = 1.8, T_i = 116.97 s y T_d = 35.25 s para el caso de la situación original, en la que el sensor está montado sin vaina.

A partir del modelo de la planta a controlar, puede estudiarse la respuesta temporal del lazo frente a un escalón de referencia mediante herramientas de simulación. Para considerar el efecto de adicionar una vaina al sensor, se incorpora la función de transferencia *H* en la realimentación del lazo, como se muestra en la Figura 7, donde G_c y *G* representan las funciones de transferencia de controlador y planta respectivamente.

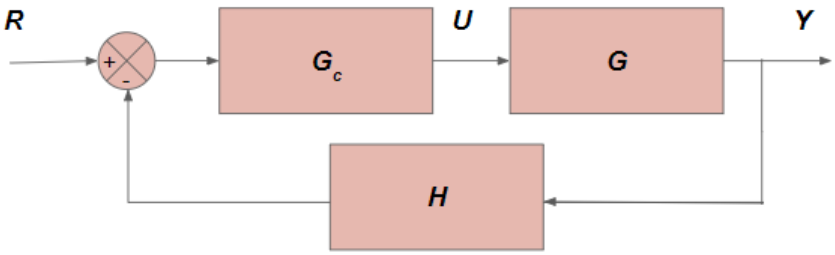


Fig. 7. Diagrama de bloques de control a lazo cerrado.

Si se mantienen los parámetros del controlador, la respuesta temporal para cada situación se observa en la Figura 8.

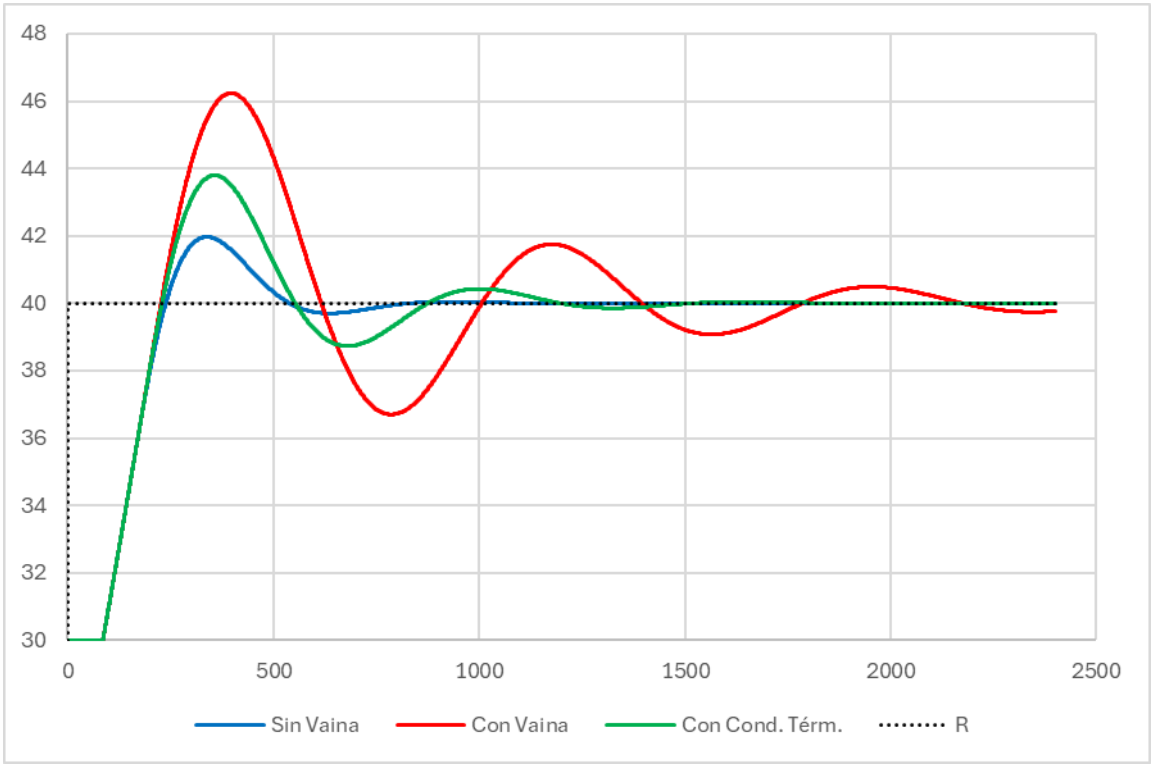


Fig. 8. Respuesta del lazo de control frente a escalón de referencia para cada condición.

El hecho de cambiar las condiciones del sensor impacta en la respuesta del lazo de control. Se evidencia la necesidad de reajustar los parámetros del controlador en caso de adicionar una vaina para obtener un desempeño aceptable del lazo.

Conclusiones

Se verifica la importancia del impacto de la dinámica del sensor de temperatura en los lazos de protección de seguridad. Para un escenario de simulación, se observó que la temperatura real del fluido es considerablemente diferente a la temperatura de accionamiento de la protección. Por tal motivo, se deben evaluar las medidas de mitigación del riesgo como, por ejemplo, mantener un tramo de cañería de material resiliente aguas abajo de la válvula de bloqueo, considerando el tiempo de retardo de la medición de temperatura en función de la velocidad de circulación del fluido.

Respecto del control a lazo cerrado de temperatura, se verifica que la respuesta a lazo cerrado se ve afectada conforme aumenta la constante de tiempo del sensor de temperatura. Es decir, cuando se utiliza una termovaina, se observa que el sobreimpulso ante una respuesta al escalón de referencia es mayor. Por lo tanto, en caso de modificar el sistema de medición debe tenerse a consideración el impacto en la repuesta a lazo cerrado del sistema, y quizás sea necesario realizar un nuevo ajuste del controlador PID en caso de que el desempeño obtenido no sea el deseado.

Referencias

Åström, K. J., & Hägglund, T. (2009). Control PID Avanzado. Madrid, España: Pearson Educación.

Hutchison, R. B., Boult, D. M., Pitblado, R. M. & Kenny, G. D. (2001). Proceedings of the 10th International Symposium on Loss Prevention and Safety Promotion in the process industries.

Lucchesi, A., Campomar, G., Herrera, H. & Zanini, A. (2017). Software de identificación y ajuste de controladores basado en algoritmo genético. Reunión de trabajo sobre Procesamiento de la Información y Control (RPIC) 2017.

Taler, D.; Sobota, T.; Jaremkiewicz, M.; Taler, J. (2020) Influence of the Thermometer Inertia on the Quality of Temperature Control in a Hot Liquid Tank Heated with Electric Energy. Energies 2020, 13, 4039. https://doi.org/10.3390/en13154039

IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLATAFORMA IOT LORAWAN PARA OBTENER Y ALMACENAR DATOS DE SENSORES UTILIZANDO FIRMWARE DE NODOS LMIC, ENTORNO DE PROGRAMACIÓN LOW CODE Y BASE DE DATOS INFLUXDB.

Sergio F. Felissia[1], Jorge A. Bossio[1], Gastón C. Peretti[1], Diego Iguri[1], Daniel Musso[1]
[1]Grupo de Investigación y Desarrollo en Electrónica (GIDE), Departamento de Ingeniería Electrónica, Facultad Regional San Francisco, Universidad Tecnológica Nacional, Av. De la Universidad 501 San Francisco (Córdoba).
sfelissia@facultad.sanfrancisco.utn.edu.ar

Resumen

El presente trabajo describe el despliegue de una plataforma IoT, basada en el protocolo LoRaWAN para la recolección de datos dentro de una zona limitada a un radio no mayor a 15 km. El objetivo planteado para el prototipo de nodo fue la construcción de un módulo embebido de medición con conectividad LoRaWAN, incluyendo sensores de prueba. El firmware del nodo utiliza como base el código y librerías para implementar el protocolo LoRaWAN denominado LMIC (LoraWAN-MAC-in-C) desarrollado por IBM. Se describe la configuración de los parámetros del firmware para personalizar los aspectos del protocolo LoRaWAN de acuerdo con las necesidades de la plataforma.

Se propuso desarrollar una plataforma local IoT con un único *gateway* LoRaWAN, protocolos livianos como MQTT, entornos de programación “low code”, bases de datos gratuitas y aplicaciones móviles. Se realizaron pruebas de conexión de los nodos bajo distintas condiciones. Particularmente, distancia al *gateway*, configuraciones alternativas de parámetros de transmisión de LoRa como potencia y factor de expansión. Se concluyó que el sistema es adecuado para desplegar nodos de medición y recolección de información, utilizando la plataforma. Adicionalmente, como uno de los objetivos del trabajo, el sistema implementado resulta muy importante para el análisis del comportamiento de los distintos componentes de la red, es una herramienta didáctica y es adecuado para brindar servicios a la comunidad.

Palabras Clave: redes IoT, LoRaWAN, low code, base de datos.

Introducción

Las tecnologías LPWAN (*Low Power Wide Area Network*) se encuentran muy desarrolladas en el mundo e Internet de las Cosas se nutre de estas herramientas de conectividad inalámbrica para llevar adelante los aspectos que tienen que ver con la capa física del modelo y que buscan obtener datos del mundo físico. LoRaWAN forma parte de este conjunto de recursos de hardware y software que resuelven las necesidades de comunicación de baja potencia, bajos requerimientos de velocidad de transmisión y amplio alcance.

LoRa (capa física de LoRaWAN) utiliza una técnica de modulación de espectro ensanchado derivada de la tecnología *Chirp Spread Spectrum* (CSS), que ofrece un compromiso entre sensibilidad y velocidad de datos, mientras opera en un canal de ancho de banda fijo de 125 kHz o 500 kHz (para canales de enlace ascendente), y 500 kHz (para canales de enlace descendente). Además, utiliza factores de dispersión (SF) ortogonales. Esto permite que la red conserve la duración de la batería de los nodos finales conectados al realizar optimizaciones adaptativas de los niveles de potencia y las velocidades de datos de un nodo final individual. Por ejemplo, un dispositivo final (nodo) ubicado cerca de un *gateway* puede transmitir datos con un factor de dispersión bajo, ya que se tiene requerimientos mínimos para el enlace. Sin embargo, un dispositivo final ubicado a varios kilómetros del *gateway* necesitará transmitir con un factor de dispersión mucho más alto (Almeida N.C., 2020).

La modulación LoRa utilizada tiene un total de seis factores de dispersión (SF7 a SF12). Cuanto mayor sea el factor de dispersión utilizado, más lejos podrá viajar la señal y el receptor de RF aún la recibirá sin errores.

La TABLA 1 muestra cuatro factores de dispersión diferentes [SF7…SF10] que se pueden usar para mensajes de enlace ascendente (UL) en un canal de 125 kHz ((Semtech,"LoRa and LoRaWAN: A Technical Overview"). Muestra la tasa de bits equivalente, así como el rango estimado (esto depende del terreno). También muestra los valores de tiempo de permanencia, o tiempo en el aire (TOA), para un payload de 11 bytes para cada uno de los cuatro factores de dispersión.

TABLA 1. Bit Rate, alcance y tiempo en el aire en función de los factores de expansión en lora (Semtech,"LoRa and LoRaWAN: A Technical Overview")

Spreading Factor (For UL at 125 kHz)	**Bit Rate**	**Range**	**Time on Air (for 11 byte payload)**
SF10	980 bps	8 km	371 ms
SF9	1760 bps	6 km	185 ms
SF8	3125 bps	4 km	103 ms
SF7	5470 bps	2 km	61 ms

Un *gateway* LoRaWAN recibe mensajes modulados en *LoRa* desde cualquier dispositivo final en la distancia de audición y reenvía estos mensajes de datos al *Network Server* (NS), que está conectado a través de una red troncal IP. No existe una asociación fija entre un dispositivo final y *gateway* específico. En cambio, el mismo sensor puede ser atendido por múltiples *gateways* en el área. Con LoRaWAN, cada paquete de enlace ascendente enviado por el dispositivo final será recibido por todas las puertas de enlace a su alcance, como se ilustra en la Fig. 1.

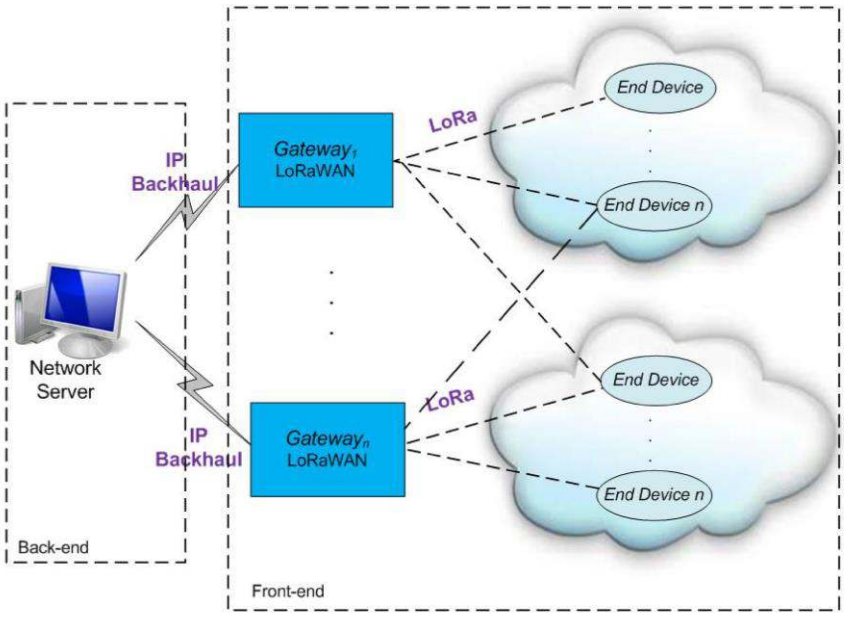


Fig. 1. Topología básica de LoRaWAN.[3] (Lavric A., 2017)

Esta disposición reduce significativamente la tasa de errores de paquetes (ya que las posibilidades de que al menos una puerta de enlace reciba el mensaje son muy altas), reduce significativamente la sobrecarga de la batería para sensores móviles y permite la geolocalización de bajo costo (suponiendo que las puertas de enlace en cuestión tengan capacidad de geolocalización) (Lavric A., 2017).

Por motivos de seguridad, calidad de servicio, facturación y otras necesidades, los dispositivos deben ponerse en marcha y activarse en la red al inicio de la operación. El proceso de puesta en marcha alinea de forma segura cada dispositivo y la red con respecto a los parámetros de aprovisionamiento esenciales (como identificadores, claves de cifrado y ubicaciones de servidores). La especificación LoRaWAN permite dos tipos de activación: Activación en el aire (OTAA) y Activación por personalización (ABP) (*LoRa Technology,* "What Is LoRa"). El stack del protocolo LoRaWAN (Lavric A. and Popa V., "Internet of Things and LoRa™ Low-Power Wide-Area Networks: A survey," *2017)* se muestra en la Fig. 2.
En Argentina se ha adoptado las bandas de frecuencia de Australia denominadas de forma estándar como AU915 (Banda ISM de 915-928 MHz) (Semtech,"LoRa and LoRaWAN: A Technical Overview")
.

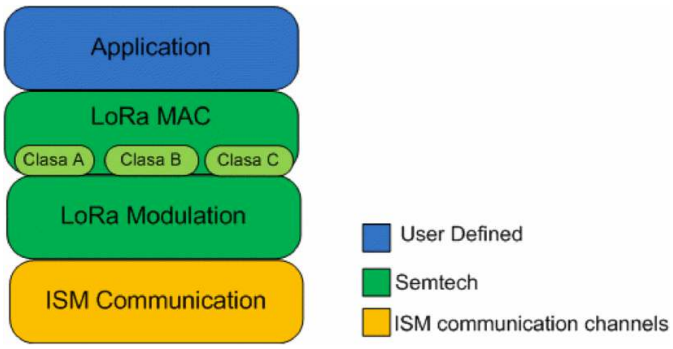


Fig. 2. *Stack* de LoRaWAN.

LoRa tiene varios tipos de dispositivos finales, que definen el mecanismo de comunicación empleado:

- Clase A: Los dispositivos de Clase A tienen capacidades de comunicación bidireccional. El intervalo de tiempo durante el cual el dispositivo está transmitiendo es seguido por dos intervalos de tiempo cortos durante los cuales el dispositivo puede recibir información. Los dispositivos incluidos en esta categoría pueden recibir datos del servidor solo después de haber enviado la información. Así, los dispositivos de clase A garantizan la máxima eficiencia energética. Si se desea enviar datos desde el servidor, se esperará el siguiente enlace ascendente de la ranura programada.

- Clase B: los dispositivos de Clase B tienen capacidades de comunicación bidireccional y un intervalo de tiempo adicional que les permite recibir datos. Además de los intervalos de tiempo aleatorios durante los cuales se pueden recibir datos que permite el dispositivo de tipo A, el dispositivo de tipo B también puede utilizar una serie de intervalos de recepción activados por un mensaje tipo *Beacon* enviado por el *gateway*.

- Clase C: los dispositivos de clase C tienen capacidades de comunicación bidireccional e intervalos de tiempo durante los cuales pueden recibir información ilimitada. El único momento en que un dispositivo de clase C no puede recibir información es cuando la envía.

A raíz del crecimiento del campo de investigación de IoT en años recientes, diversas bibliotecas de LoRaWAN han sido creados para plataformas de desarrollo como Arduino. Entre estas bibliotecas,

una de las más destacadas y utilizadas es LoRaWAN MAC in C (LMIC) de IBM lanzada en 2016. Esta biblioteca es compatible con el entorno de Arduino y soporta las especificaciones 1.0.2 y 1.0.3 (Terry M.,2021).

Para cumplir con el estándar, en los nodos implementados con sistemas embebidos compatibles con Arduino se instaló la biblioteca LMIC para Arduino. La biblioteca LMIC proporciona una implementación bastante completa de LoRaWAN de clase A y clase B, compatible con las bandas EU-868, US-915, AU-915, AS-923 e IN-866.

Materiales y métodos

Se planteó como objetivo del trabajo, desarrollar una plataforma LPWAN, con todos sus componentes, para realizar análisis del comportamiento de los distintos elementos de la red, para su utilización en actividades didácticas y para brindar servicios a la comunidad, considerando como meta la reducción de costos por utilización de servicios externos.

Se dispuso de un *gateway* marca Milesight, modelo UG65, para interiores de 8 canales. Este dispositivo adopta el chip SX1302 LoRa de Semtech con una CPU de cuatro núcleos de alto rendimiento, admite la conexión con más de 2000 nodos. El modelo UG65, que disponemos, admite dos sistemas de conectividad *back-haul* con Ethernet y WiFi. Tiene un *Network Server* (NS) incorporado, así como también puede ser integrado a NS en plataformas en la nube (como *The Things Network*, *ChirpStack*, *Milesight IoT Cloud* y otras).

Dado que el *gateway* no admite su uso en exteriores, se dispuso dentro de un gabinete estanco IP68, junto a los elementos necesarios para la conectividad *back-haul* y para la administración remota. Para esta última funcionalidad se dispuso de una placa Raspberry Pi 400, que se conecta al *gateway* a través conexión por cable Ethernet. Tanto el *gateway* como la CPU Raspberry Pi 400 se conectan a Internet a través de un enlace interno WiFi dentro del gabinete, a través de un *router* y *modem* 4G el cuál accede a la red celular desde un servicio contratado a una de las empresas telefónicas (TABLA 2). En la Fig. 3, se puede observar un diagrama en bloques del sistema implementado.

TABLA 2. Distintos tipos de conectividad en los módulos instalados en el gabinete externo.

Enlace	**Modalidad**	**Frecuencia**	**Licencia**	**Descripción**
WiFi	Inalámbrica	2.4 GHz	No	Conexión router a g*ateway* (back haul) y Raspberry PI-400
4G LTE	Inalámbrica	800-900 MHz	Si	Conexión a Internet de los equipos.
LoRa	Inalámbrica	915-928 MHz	No	Conexión de Nodos con sensores.
Ethernet	Cable	-	No	Conexión Raspberry Pi-400 a *gateway* para administración.

La administración del *gateway* se realiza ingresando de forma remota al escritorio de la CPU Raspberry Pi, utilizando la aplicación VNC Viewer.

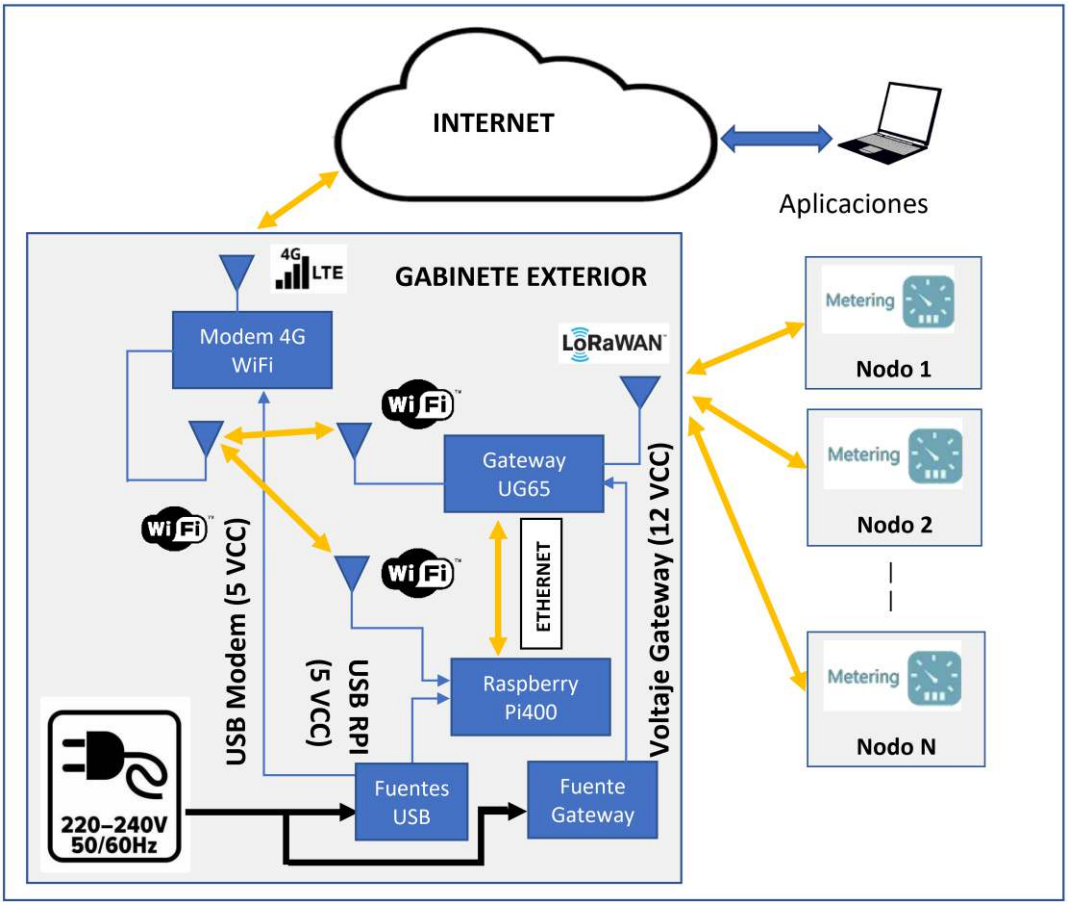


Fig. 3. Diagrama en bloques del sistema.

Configuración del Gateway LoRaWAN

Se configuró el *gateway* para utilizar el *Network Server* integrado. Se seleccionó el protocolo MQTT como el modo de transmisión de *backhaul* hacia la nube de la información recibida desde los nodos. Los datos son enviados en un formato de texto tipo JSON (JSON.ORG, Página web: “Introducing JSON”). La clave “data” contiene el dato enviado por el nodo identificado a través de las claves “devEUI” y “deviceName”. El dato es codificado por el *gateway* en Base64. Además del dato enviado por el nodo, el *gateway* envía otra información relacionada con parámetros de recepción de la radio LoRa, como nivel de señal (RSSI), relación señal ruido (LoRaSNR), frecuencia (frequency) y factor de expansión (spreadFactor). En la Fig. 4 se observa el payload enviado por el *gateway* en un único tópico creado en la configuración del modo de transmisión MQTT.

Plataforma IoT implementada

Se dispuso de una máquina virtual instalada en la nube a través de los servidores de la Institución, donde fue instalado un servidor de protocolo MQTT. El protocolo MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) es un protocolo *PubSub* de *Message Service* que actúa sobre TCP. Destaca por ser ligero, sencillo de implementar. Está optimizado para el *routing* activo de un gran número de clientes conectados de forma simultánea. MQTT es un servicio de mensajería con patrón

```
{
        "applicationID":"1",
        "applicationName":"gateway1",
        "data":"A2fjAARoZQ==",
        "devEUI":"24e124136b323709",
        "deviceName":"SENSOR1",
        "fCnt":519,
        "fPort":85,
        "rxInfo":[{
                "altitude":0,
                "latitude":0,
                "loRaSNR":13.5,
                "longitude":0,
                "mac":"24e124fffef0dc81",
                "name":"local_gateway",
                "rssi":-33,
                "time":"2023-04-17T11:28:55.998278Z"
                }],
        "time":"2023-04-17T11:28:55.998278Z",
        "txInfo":{
                "adr":false,
                "codeRate":"4/5",
                "dataRate":{
                        "bandwidth":125,
                        "modulation":"LORA",
                        "spreadFactor":10
                        },
                "frequency":917400000
                }
}
```


Fig. 4. Datos enviados por el *gateway* al servidor MQTT en formato JSON.

publicador/suscriptor (pub-sub). En este tipo de infraestructuras los clientes se conectan con un servidor central denominado *broker*.

Los paquetes de software instalados en la máquina virtual son: EMQX (Servidor de MQTT), Node-RED (Entorno de programación basado en el framework de Node.JS) para realizar aplicaciones ejecutables en navegador (Node-RED, Página web: "Node-RED Cookbook", 2022); InfluxDB es una base de datos de series temporales (TSDB) de código abierto desarrollada por la empresa InfluxData. Se utiliza para el almacenamiento y la recuperación de datos de series temporales en campos como la monitorización de operaciones, las métricas de aplicaciones, los datos de sensores de Internet de las cosas y el análisis en tiempo real (Turnbull J., 2014).
Un esquema de los componentes de software instalados en la máquina virtual se puede observar en la Fig. 5.

Entorno de Programación "low code" Node-Red:

NODE RED es una plataforma de desarrollo de software gráfica que permite la programación en entorno web, a través de bloques, basada en el lenguaje Node.JS. Se ha extendido, de manera muy importante en el desarrollo de aplicaciones para IoT e IIOT (Node-RED, Página web: "Node-Red Cookbook",2022).

Node-RED se usa para ser un suscriptor que se suscribe para recibir datos del broker MQTT (S. Chanthakit, 2018). Con Node-RED, podemos crear fácilmente un flujo para administrar y manejar los datos recibidos. Luego, Node-RED enviará datos al tablero de monitoreo, que es una aplicación web receptiva para mostrar datos en la interfaz de usuario de indicadores, texto y gráficos (S. Chanthakit, 2018)). Además, Node-RED se encarga de registrar la información de las variables relevadas en una base de datos InfluxDB.

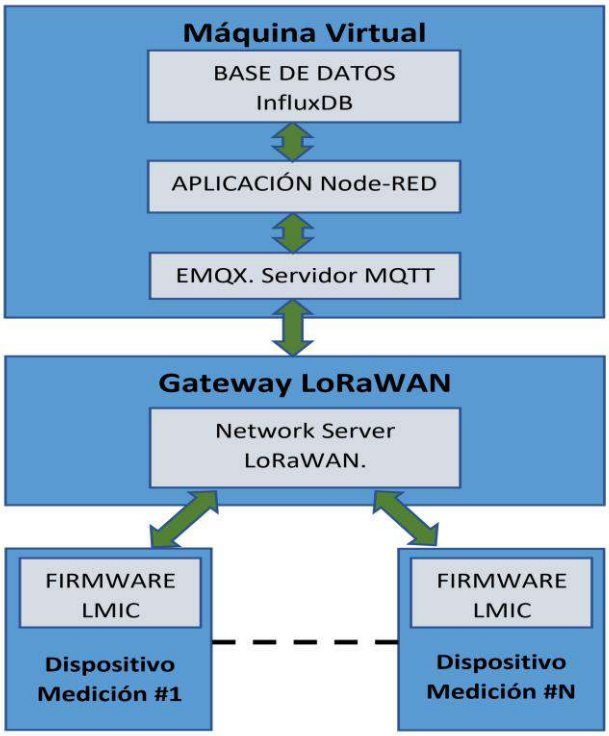


Fig. 5. Diagrama de software de la plataforma IoT.

Se configura Node-RED para que se ejecute como servicio, en segundo plano, de modo que permanentemente realice las tareas de conexión al servidor MQTT, obtenga el paquete de datos enviado por el Gateway, separe los valores de las variables leídas, guarde en una base de datos esos valores.

Se creó un flujo en Node-RED (Fig. 6) para recibir el *payload* desde el *gateway*, decodificar el payload en Base64, extraer los distintos campos del objeto JSON, e insertar datos en la base de datos creada.

Código de la función “Inserta datos en Tabla”:

```
hexString=msg.payload.data;

byteArray=[];
if (hexString.length % 2 !== 0) {
        throw "Must have an even number of hex digits to convert to bytes";
 }

var numBytes = hexString.length / 2;
for (var i=0; i<numBytes; i++) {
        byteArray[i] = parseInt(hexString.substr(i*2, 2), 16);
    }
```

```
bytes=byteArray;
var decoded = {};

for ( i = 0; i < bytes.length; ) {
        var channel_id = bytes[i++];
        var channel_type = bytes[i++];

        // BATTERY
        if (channel_id === 0x01 && channel_type === 0x75) {
            decoded.battery = bytes[i];
            i += 1;
        }
        // TEMPERATURE
        else if (channel_id === 0x03 && channel_type === 0x67) {
            // ℃
            decoded.temperature = readInt16LE(bytes.slice(i, i + 2)) / 10;
            i += 2;
        }
        // HUMIDITY
        else if (channel_id === 0x04 && channel_type === 0x68) {
            decoded.humidity = bytes[i] / 2;
            i += 1;
        }
    }

msg.payload = {
    devEUI:msg.payload.devEUI,
    deviceName:msg.payload.deviceName,
    fCnt:msg.payload.fCnt,
    data:msg.payload.data,
    Temperatura:decoded.temperature,
    Humedad:decoded.humidity,
    RSSI:msg.payload.RSSI,
    SNR:msg.payload.SNR,
    BandWidth:msg.payload.BandWidth,
    SpreadFactor:msg.payload.SpreadFactor,
    Frequency:msg.payload.Frequency,
    CodeRate:msg.payload.CodeRate,
    ADR:msg.payload.ADR,
    tiempo:Date.parse(msg.payload.time).toString()
}
return msg;

function readInt16LE(buffer, offset) {
  offset = offset || 0;
  var val = buffer[offset] | (buffer[offset + 1] << 8);
  return (val & 0x8000) ? val | 0xFFFF0000 : val;
}
```

Nodos Lorawan

Se realizaron pruebas de la plataforma utilizando dos nodos LoRaWAN comerciales, marca Milesight, modelo EM300-TH, que realizan la medición de temperatura y humedad. Por otro lado, se implementó un nodo propio con una placa LoRa32u4 II. En la fig. 8 se pueden observar, ambos tipos de nodos. Esta es una placa de bajo consumo basada en el Atmega32u4 con módulo LoRa 868 MHz/915 MHz. La radio LoRA está basada en el módulo SX1276 de Semtech. Se instaló en la misma el *stack* del protocolo LoRaWAN LMIC. Esta es una implementación portátil de la especificación de dispositivo final LoRaWAN 1.0.3 en el lenguaje de programación C, para la capa de control de acceso al medio (MAC). ("LMIC" significa "*LoRaWAN MAC in C*"). Admite varias variantes de la especificación, como US-915 y AU-915, siendo esta última la adoptada por la normativa en nuestro país. Puede manejar dispositivos de clase A y clase B, que se adaptan

particularmente para uso en nodos sensores alimentados energéticamente con baterías. La biblioteca se ocupa de todos los estados MAC lógicos y las restricciones de tiempo y controla la radio SEMTECH SX1272 o SX1276. De esta manera, las aplicaciones son libres de realizar otras tareas y la librería garantiza el cumplimiento del protocolo.

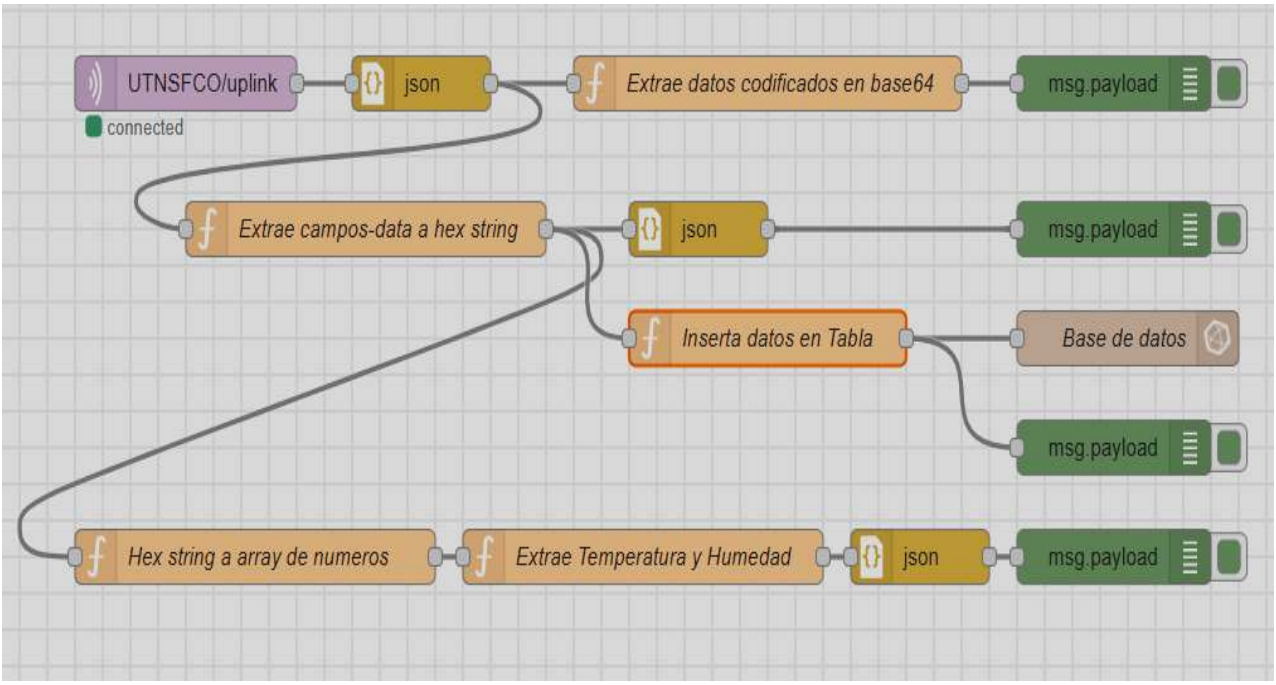


Fig. 6. Flujos Node-RED para recibir el payload MQTT desde el *gateway*, separar e insertar datos en la base de datos InfluxDB.

Los nodos implementados en el laboratorio basados en la placa LoRa32u4 II incluyen un módulo sensor de temperatura y humedad DHT11, donde los datos leídos son empaquetados en una trama cuyo ejemplo puede verse en la TABLA 3. Se asigna un byte para el canal, otro byte para el tipo de variable (temperatura, presión, …) y N bytes para el valor dependiendo el tipo de variable. La trama de bytes conforma el payload en cada envío.

TABLA 3. Ejemplo de payload enviado por los nodos.

01 75 64 03 67 10 01 04 68 71		
Canal	**Tipo**	**Valor**
01	75 (Battery)	64 =>100%
03	67 (Temperatura)	10 01=>01 10=272 Temp=272*0.1=27.2°C
04	68 (Humedad)	71=>113 Hum=113*0.5=56.5%

Resultados y discusiones

Se implementó una red LoRaWAN experimental utilizando un único *gateway* ubicado en un lugar estratégico y a una altura suficiente para disponer de trayectoria de vista para la transmisión de los nodos en un radio de cobertura de 15 km aproximadamente. Los nodos conectados a la red utilizan la activación en el aire OTAA. En la Fig. 7 se muestra una imagen del gabinete exterior con todos sus componentes.

Se configuraron los nodos con un SF fijo de 10, desactivado la opción de ADR (Adaptive Data Rate) que permitiría la adaptación automática del SF para las distancias cercanas al Gateway, dado la posibilidad de reducir ese factor, reduciendo por lo tanto el tiempo en el aire y por tanto el consumo de energía. Un SF de 10 asegura alcanzar distancias más largas de cobertura.

Fig. 7. Vista del gabinete exterior con la antena, colocado en lo alto de un edificio.

Con el sistema implementado se aprovechó en una etapa inicial para realizar un relevamiento del área de cobertura del *gateway* tomando lectura de los datos de recepción de las emisiones de los nodos en el *gateway*, relación señal/ruido (SNR) y nivel de señal en la entrada. Estos datos se leyeron de los registros en la base de datos, donde se almacenan los paquetes enviados por los nodos. La metodología implementada para la obtención de datos a campo fue la de recorrer el área, deteniéndose en posiciones específicas, permanecer al menos un minuto en el punto, registrando en una planilla (ver TABLA 4) los datos de identificación del dispositivo, devEUI y deviceName, fecha, hora y geolocalización, para luego verificar en los registros de la base de datos.

TABLA 4. Mediciones de nivel de señal recibida y relación señal/ruido en el gateway para distintas distancias

Dispositivo	**Distancia**	**SNR[dB]**	**RSSI[dBm]**
ESP32+RF95	1 km	10.0	-95
	3 km	5.2	-103
	8 km	-3.2	-108
	14 km	-10.5	-118
LoRa32U4	1 km	12.0	-83
	3 km	7.0	-100
	8 km	-1.8	-110
	14 km	-9.5	-112

Conclusiones

Se han realizado las pruebas con 2 nodos distintos constructivamente, uno utilizando la placa LoRa32u4 II con radio LoRa embebida y otro con la placa ESP32 con un módulo de radio externo RF95, en ambos casos con el *stack* LMIC cargado en el firmware. Los nodos disponen de una

antena externa. Los resultados han mostrado que el *gateway* recibe datos de los nodos hasta con niveles de recepción de hasta -120 dBm. Este nivel de recepción ocurre cuando los nodos se encuentran a aproximadamente a 16 km, con vista despejada de la antena. Otra conclusión que se puede realizar es que la señal es fuertemente afectada por los obstáculos, principalmente árboles, paredes de hormigón, techos de chapas metálicas. Esto resulta un problema en un escenario de un único *gateway*. Por lo cual, resultaría ventajoso la multiplicidad de *gateways* ya que, se ha demostrado a través de otros trabajos la robustez de la modulación LoRa, en entornos urbanos obstaculizados con múltiples trayectorias de las ondas.

Los objetivos planteados al inicio de este trabajo, que prioritariamente eran los de construir una plataforma IoT basada en LoRaWAN, que nos permitiera, sentar las bases para otros trabajos futuros, analizando el desempeño de la red en muchos escenarios distintos, fue cumplido. Se pudo implementar una plataforma propia en la nube, de bajo costo, sin necesidad de recurrir a servicios de terceros. A partir de disponer de esta herramienta son múltiples las propuestas de análisis de los comportamientos de los componentes de hardware y software de la red LoRaWAN que se pueden realizar y que serán motivación para futuros trabajos. Aspectos como respuesta del sistema ante multiplicidad de nodos, pérdidas de paquetes, tiempo en el aire y consumo de energía de los nodos, funcionamiento en las distintas clases de dispositivos LoRaWAN, interferencias, colisiones, son alguno de los temas a considerar para posteriores investigaciones.

Referencias

Almeida N.C., Rolle R.P., Godoy E.P., Ferrari P. and Sisinni E., "Proposal of a Hybrid LoRa Mesh / LoRaWAN Network," 2020 IEEE InternationaWorkshop on Metrology for Industry 4.0 & IoT, Roma, Italy, 2020, pp. 702-707, doi:10.1109/ MetroInd4.0IoT48571.2020.9138206.

Lavric A., Popa V., “Internet of Things and LoRa Low-Power Wide Area Networks Challenges”, 2017. ECAI 2017 - International Conference – 9th Edition Electronics, Computers and Artificial Intelligence29 June -01 July, 2017, Targoviste, Rumania. pp. 1-4, doi: 10.1109/ECAI.2017.8166405.

Terry M., “"MCCI LoRaWAN LMIC Library",v4.1.1, 2021. GitHub. [online] Available: https://github.com/mcci-catena/arduino-lmic.

Lavric A. and Popa V., "Internet of Things and LoRa™ Low-Power Wide-Area Networks: A survey," 2017 International Symposium on Signals, Circuits and Systems (ISSCS), Iasi, Romania, 2017, pp. 1-5, doi: 10.1109/ISSCS.2017.8034915.

Chanthakit S., Rattanapoka C., "MQTT Based Air Quality Monitoring System using Node MCU and Node-RED," 2018 Seventh ICT International Student Project Conference (ICT-ISPC), 2018, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICT-ISPC.2018.8523891.

Semtech,“LoRa and LoRaWAN: A Technical Overview”. Disponible en: https://lora-developers.semtech.com/documentation/tech-papers-and-guides/lora-and-lorawan/

LoRa Technology, “What Is LoRa” [online] Available: https://www.LoRa-alliance.org/What-Is-LoRa/Technology.

LoRaWAN™ Regional Parameters LoRa Alliance, [online] Available: https://www.LoRa-alliance.org/.

JSON.ORG, Página web: “Introducing JSON”. Disponible en: https://www.json.org/json-en.html

Node-RED, Página web: “Node-RED Cookbook”. Disponible en: https://cookbook.node-red.org/#mqtt

Turnbull J., “The Art of Monitoring”, 2014. pp. 206–. ISBN 978-0-9888202-4-1.

ACTIVIDAD EXPERIMENTAL APLICADA A LA CÁTEDRA DE QUÍMICA: DETERMINACIÓN DE VITAMINA C EN JUGOS CÍTRICOS DESHIDRATADOS

Aldana A. Chesta, Romina A. Beltrán, María Eugenia Cravero, Yanina del Valle Yrusta

Grupo de Inv. en Simulación para Ing. Qca., FRVM de la UTN. Av. Universidad 450 – XGB5900
Villa María, Cba., Argentina.
chaldana@gmail.com

Resumen

Con el objetivo de integrar contenidos de la química relacionando la teoría con el desarrollo de experiencias de laboratorio, que permitan afianzar el aprendizaje por competencias, se propone la implementación de una técnica sencilla orientada a evaluar la credibilidad de la información nutricional de jugos cítricos deshidratados. Para esto se propone incorporar a la asignatura de Química del nivel inicial de la carrera de Ingeniería Química una determinación que permite relacionar conceptos de reacciones de equilibrio redox con aplicación al análisis de alimentos.

La técnica seleccionada es la determinación de Ácido Ascórbico (vitamina C) en jugos deshidratados de naranja y limón. Este ácido actúa como antioxidante, mejora la absorción del hierro presente en alimentos vegetales y contribuye al buen funcionamiento del sistema inmunitario. Debido a que el ser humano es incapaz de sintetizarlo debe ingerirse diariamente siendo su consumo primordial. La determinación consiste en un análisis volumétrico que cuantifica un agente oxidante mediante titulación indirecta con iodo, conocida como iodometría. Esta técnica fue validada utilizando concentraciones conocidas de ácido ascórbico, garantizando así su fiabilidad y precisión. Luego, se procedió a valorar su contenido en jugos deshidratados de los sabores mencionados de diferentes marcas, realizando la comparación de los resultados con la información expuesta en sus respectivos rótulos nutricionales, ya que es la principal referencia con la que cuenta el consumidor al momento de elegir entre las alternativas comerciales.

Como conclusiones se resalta la idoneidad del método empleado para analizar el contenido de ácido ascórbico, evidenciando una precisión aceptable con un margen de error inferior al 9% en comparación con los datos nutricionales de los productos analizados. Asimismo, se destaca el valor educativo de la práctica implementada, la cual consolidó en los estudiantes la vinculación de conceptos químicos con aplicaciones prácticas, fortaleció habilidades analíticas e interpretación crítica de los resultados obtenidos.

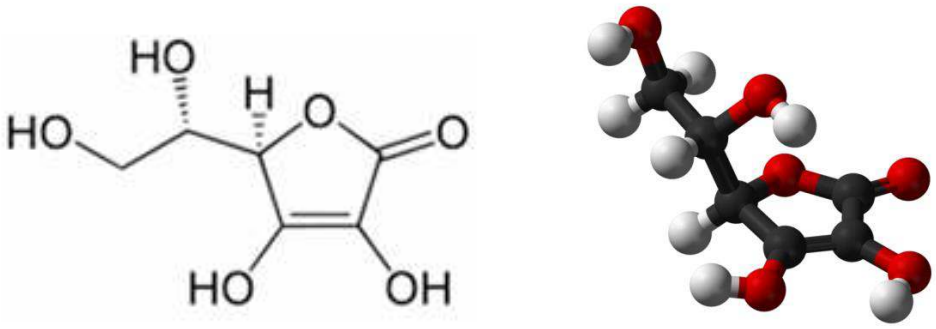
Palabras Clave: Determinación de vitamina C, Cítricos, Jugos deshidratados, Actividad experimental aplicada, Cátedra de Química.

Introducción

La integración de actividades experimentales prácticas en la enseñanza de la química no solo refuerza los conocimientos teóricos adquiridos en el aula, sino que también promueve el desarrollo de habilidades técnicas y analíticas entre los estudiantes. En este contexto, la determinación de vitamina C en jugos cítricos deshidratados se posiciona como una valiosa actividad para contextualizar contenidos de la cátedra de Química. Esta práctica no solo aplica principios aprendidos, sino que también subraya la importancia de la química analítica en la evaluación y el control de calidad de productos alimenticios de consumo diario. En este trabajo, se presenta la metodología empleada, los resultados obtenidos y las implicaciones educativas y científicas derivadas de esta experiencia práctica en el ámbito académico.

El ácido ascórbico ($C_6H_8O_6$) es un azúcar con propiedades antioxidantes. El enantiómero L del ácido ascórbico se conoce como vitamina C, tratándose de una vitamina hidrosoluble esencial para los humanos. Debido a la ausencia de la enzima L gulonolactona oxidasa, las personas no pueden sintetizar esta vitamina, de modo que debe ser ingerida a través de los alimentos (principalmente

cítricos y verduras frescas). La vitamina C es necesaria para la síntesis del colágeno y de los glóbulos rojos, contribuye al buen funcionamiento del sistema inmunitario y también juega un papel importante en el metabolismo del hierro. En la Figura 1 se detalla la estructura del ácido ascórbico (AA) (Trifunschi et al., 2022; Riera y col., 2022; Uchenna Igwe, 2014; Rebollo y col., 2005).



a) b)

Fig. 1. Estructura del Ácido Ascórbico a) bidimensional (Trifunschi et al., 2022), b) tridimensional (Villacís Chiriboga, 2015).

El nombre químico de L-Ascórbico ácido es (R) 5-{(S)-1,2-dihidroxietil}-3,4-dihidroxi-5H-furan-2-ona. Y su nombre genérico es Ácido ascórbico.
Generalmente se encuentra como cristales o polvo blanco o ligeramente amarillo, por exposición a la luz se descompone gradualmente. En estado seco es estable al aire, pero en solución se oxida rápidamente, especialmente en soluciones alcalinas. El proceso de oxidación es acelerado por la luz y el calor, es catalizado por trazas de cobre y hierro.
Su pka1: 4.17 y pka2: 11.57, el punto de fusión es de 190 - 192ºC. Presenta un pH de máxima estabilidad en 5.4.
Es incompatible con soluciones alcalinas, iones de metales pesados, especialmente cobre y hierro, metenamina, fenilefrina, maleato de pirilamina, nitrato de sodio, salicilato de sodio (Manasa et al., 2019, Villacís Chiriboga, 2015; Hernández Lomeli, 2014, Rebollo y col., 2005).
La vitamina C se usa sobre todo como suplemento nutricional y además con fines terapéuticos, ya que administrada bajo una forma adecuada puede prevenir y a menudo curar enfermedades como la gripe. Esta vitamina apoya el sistema inmune, incrementando la concentración de inmunoglobulinas en el suero sanguíneo, además es esencial para músculos, huesos, dientes, cartílagos, piel y tejidos (Bekele and Geleta, 2015; Uchenna Igwe, 2014; Dodevska, 2022).
La ingesta diaria recomendada es de 25 a 35 mg en infantes y niños, 40 mg en adolescentes, de 45 mg en adultos. En mujeres en período de lactancia esta recomendación aumenta a 70 mg al día (FAO/WHO, 2001).

Los jugos deshidratados son de alto consumo, pudiendo ser una de las principales vías de ingesta de vitamina C para la población debido a su bajo costo en comparación con otras bebidas analcohólicas, el Código Alimentario Argentino define a estos en el Artículo 1049 (Res. 2067, 11/10/1988). Se entiende por Jugo deshidratado o liofilizado o en polvo de ... (con la indicación en el espacio en blanco del nombre de la fruta u hortaliza de la cual procede) el producto que se obtiene por eliminación de la casi totalidad del agua de constitución del jugo fresco. Deberá responder a las siguientes exigencias: a) Presentar aspecto pulverulento o de pequeños cristales. b) Agua: máx. 3,0% p/p. c) No contener agregados de ninguna naturaleza a excepción de las substancias autorizadas por la autoridad sanitaria nacional para el proceso de obtención. Estos productos se rotularán "Jugo deshidratado de..." o "Jugo liofilizado de..." o "Jugo en polvo de..." (según corresponda) (llenando el espacio en blanco con el nombre de la fruta u hortaliza de la cual procede). Deberá indicar claramente la dilución a efectuar (volúmenes de agua a agregar al contenido total del envase) para obtener un producto de características similares a las del jugo original, el procedimiento de deshidratación y la fecha de elaboración.

La concentración de ácido ascórbico (vitamina C) están reportadas en las Tablas Nutricionales ya que se encuentra dentro de la Lista de Valores de Ingesta Diaria Recomendada de nutrientes (IDR) de declaración voluntaria: vitaminas y minerales. El Valor de Referencia es de 45 mg para la Vitamina C (como se mencionó con anterioridad), es decir, su cantidad recomendada de ingesta diaria. Los valores de referencia de todas las vitaminas y minerales son expuestos en el reporte de FAO/WHO: Human Vitamin and Mineral Requirements (2001). Luego, lo informado en la Tabla Nutricional en los jugos deshidratados, es la cantidad (mg) de Vitamina C en 100 g, la cantidad (mg) por porción (en este caso se trata de una cucharada de té equivalente a 200 ml de bebida preparada) y por último el % VD por porción, es decir el % de aporte de la porción al valor de la IDR.

Existen diferentes métodos para la determinación de AA en matrices alimentarias, tales como Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC), Espectroscopia Ultravioleta-Visible (UV-Vis), Polarografía, Método del indofenol, Método yodométrico, entre otros. (Zia et al., 2023; Trifunschi et al., 2022; Azmi, 2022; Campos Mangas, 2020; Alam, 2019; Pisoschi et al., 2008).
Los métodos basados en las propiedades redox del AA, tal como el yodométrico, son métodos económicos, sencillos y aptos para análisis rápidos tanto cualitativos como cuantitativos. Al no necesitar de instrumentos específicos, son fáciles de realizar y un recurso valioso para aplicarlos con fines didácticos. Además, son indicados para jugos de frutas naturales, jugos comerciales y complementos vitamínicos (Riera y col., 2019; Manasa, 2019; Uchenna Igwe, 2014; Alwazeer et al., 2003).

La vitamina C actúa como un agente reductor que nos protege de agentes oxidantes perjudiciales para la salud. Esta propiedad del ácido ascórbico se debe a la capacidad reductora que tienen los átomos de carbono unidos por enlaces dobles presentes en la molécula. Estos son capaces de captar o ceder catión hidrógeno y electrones de manera reversible, desactivando a los agentes oxidantes (González y Urzúa, 2012).

El método seleccionado para realizar la determinación de AA en este trabajo es el yodométrico. El mismo se basa en la oxidación del AA con I_3^- (triyoduro) en presencia de almidón (como indicador). El yodo forma un complejo azul con el almidón, luego al reaccionar el I_2 con el AA se observa una disminución en la intensidad del color en la disolución (Zhongwei, 2017).

El ácido ascórbico en un agente reductor suave que es oxidado por el yodo en medio ácido de forma rápida y cuantitativa. Para su determinación mediante valoración redox, en primer lugar, se genera un exceso conocido de anión triyoduro mediante la reacción en medio ácido de yodato (patrón primario) con un exceso de yodo:

$$IO_3^- + 8\ I^- + 6\ H^+ \rightarrow 3\ I_3^- + 3\ H_2O$$

Los moles totales de I_3^- existentes, de acuerdo a la estequiometria de reacción y la concentración de la solución de IO_3^- pueden calcularse de acuerdo a la ecuación 1.

$$moles\ totales\ I_3^- = ml\ IO_3^- \ .\ \frac{moles\ IO_3^-}{ml\ IO_3^-} . \frac{3\ moles\ I_3^-}{1\ mol\ IO_3^-} \qquad (1)$$

Seguidamente se deja que transcurra la reacción (oxidación) entre el triyoduro generado y el ácido ascórbico, que se convierte en ácido deshidroascórbico (DHA):

$$AA + I_3^- \rightarrow DHA + 2\ H^+ + 3\ I^-$$

Finalmente se valora el exceso de triyoduro con una disolución patrón de tiosulfato. Se aplica por tanto una valoración por retroceso.

$$2\ S_2O_3^{\ 2-} + I_3^- \rightarrow 3\ I^- + S_4O_6^{\ 2-}$$

Los moles en exceso de I_3^-, de acuerdo a la estequiometria de reacción y la concentración de la solución de $S_2O_3^{2-}$ pueden calcularse de acuerdo a la ecuación 2.

$$moles\ en\ exceso\ I_3^- = ml\ gastados\ de\ S_2\ O_3^{-2}\ .\ \frac{moles\ S_2\ O_3^{-2}}{1000\ ml}\ .\frac{1\ mol\ I_3^-}{2\ mol\ S_2\ O_3^{-2}} \quad (2)$$

El cálculo de los moles reaccionantes con el AA es a partir de la diferencia de los moles totales de I_3^- y los moles en exceso (ecuación 3), ambos ya calculados.

$$moles\ de\ I_3^-\ reaccionantes\ con\ AA = moles\ totales\ de\ \ I_3^- -\ moles\ en\ exceso\ I_3^- \quad (3)$$

Finalmente, a partir de la ecuación 4 obtendremos la cantidad de AA:

$$mg\ de\ \mathrm{AA} = moles\ de\ I_3^-\ reaccionantes\ con\ AA\ .\ \frac{1\ mol\ AA}{1\ mol\ I_3^-}\ .\frac{176{,}12\ g\ AA}{1\ mol\ \mathrm{AA}}\ .\frac{1000 g\ AA}{1\ g\ AA} \quad (4)$$

(Hernández Lomeli, 2014; Zhongwei, 2017, Campos Mangas, 2020).

Materiales y métodos

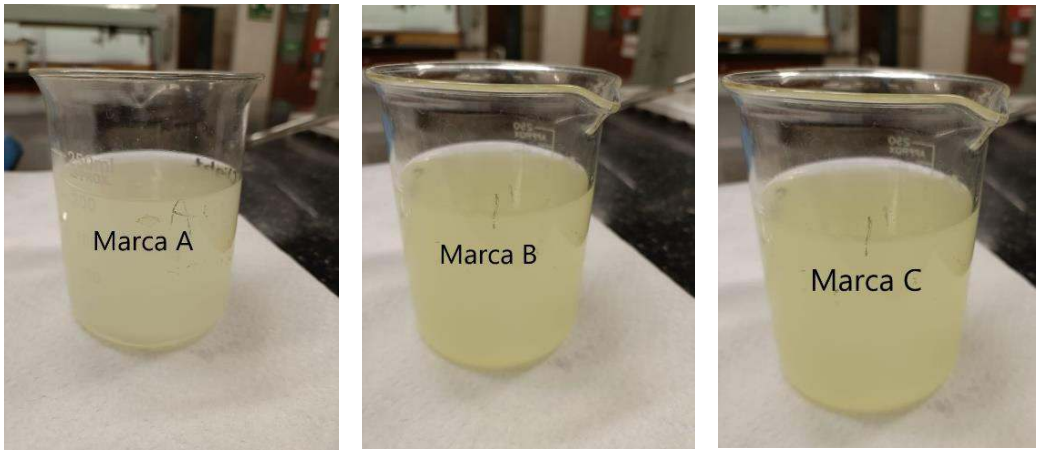
Reactivos:
Yodato de potasio (KIO_3) 0.01M
Tiosulfato de sodio ($Na_2S_2O_3$) 0.1 M patrón
Almidón como indicador
Ácido sulfúrico (H_2SO_4) 0.5 M
Ácido Ascórbico L-ascórbico 99,9 %, Aldrich Chemical Co, Inc.
Agua destilada
Muestras de jugos deshidratados de limonada y naranja

Balanza analítica
Erlenmeyer
Probetas
Pipetas
Vasos de precipitado
Equipo de titulación
Embudos
Cucharas

Para llevar a cabo los análisis, se adquirieron jugos deshidratados de cuatro marcas comerciales distintas en dos sabores diferentes (limonada y naranja), realizando la evaluación de seis productos por triplicado.

La exactitud y precisión del método para la determinación de ácido ascórbico se probó previamente mediante análisis de soluciones estándar preparadas a partir de ácido ascórbico, reactivo analítico, a diferentes concentraciones.

Una vez puesta a punto la metodología se procedió a preparar las muestras de jugo, tal como indica su respectivo envase (Ver Figura 2 y 3).



a) b) c)

Fig. 2. Muestras de jugo de limón a) Marca A; b) Marca B; c) Marca C.

a) b) c)

Fig. 3. Muestras de jugo de naranja a) Marca B; b) Marca C; c) Marca D.

Seguidamente se procedió a realizar la técnica de determinación de AA como se indica a continuación.

Se tomaron 25 ml del jugo preparado en un matraz erlenmeyer, añadiendo 10 ml de solución de H_2SO_4 0.5 M, se agregó 1 gr de KI sólido y se agitó hasta disolución. Luego, se adicionaron 25 ml de solución KIO_3, 5 ml de $Na_2S_2O_3$ 0.1 M (desde la bureta) y la solución de almidón como indicador (2 ml). La coloración que toma la solución al adicionar el almidón se muestra en la Figura 4.

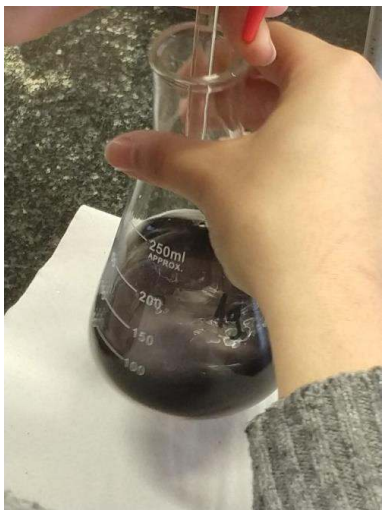
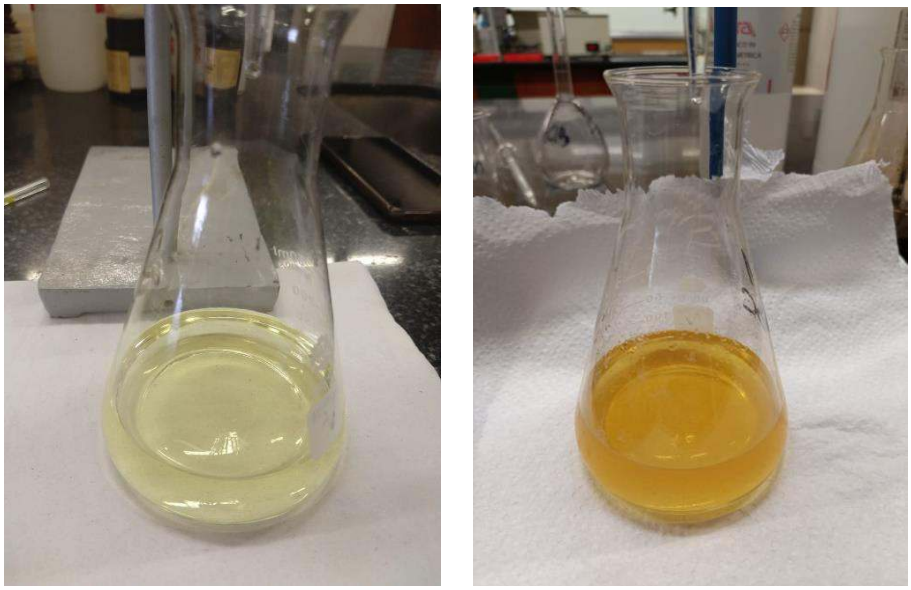


Fig. 4. Presencia de color azul en la solución al adicionar el almidón.

Se finaliza la titulación con $Na_2S_2O_3$ 0.1 M hasta desaparición del color azul al menos durante 15 segundos.
El punto final de la valoración no es incoloro, sino que tiene un color similar al color del jugo antes de la titulación, como se observa en Figura 5 a y b. Por esto es que la detección del punto final no es sencilla, porque se enmascara con la coloración de los jugos utilizados. Esto se corrige repitiendo las titulaciones y entrenando el ojo del analista.



a) b)

Fig. 5. Punto final de a) una muestra de juego de limonada; b) una muestra de juego de naranja.

Resultados y discusiones

De acuerdo a las ecuaciones 1 a 4 expuestas en el apartado de desarrollo y los mililitros gastados de Tiosulfato se realizó el cálculo del AA contenido en cada uno de los jugos. Los alumnos utilizaron diferentes herramientas para tal fin. Se expone a continuación una imagen a manera de ejemplo de un cálculo desarrollado, ver Figura 6.

ACIDO ASCORBICO

IODURO DE POTASIO PREPARADO

se pesó: $p := 1.2\ g$ — se preparó: $pr := 250\ ml$

$PM := 214\ \frac{g}{mol}$

$G := \frac{p}{PM \cdot pr} = 2.243 \times 10^{-5}\ \frac{mol}{ml}$

CANTIDAD DE IODO EN 25 ML

$m := 1\ ml$ $ml := 25\ ml$

$X := \frac{ml \cdot G}{m} = 5.607 \times 10^{-4}\ moles$

IODO TOTAL

$I := X \cdot 3 = 1.682 \times 10^{-3}\ moles$

MILILITROS GASTADOS DE TIOSULFATO DE SODIO

$T := 32.3\ ml$

MOLES EN EXCESO DE I^-_3

$E := T \cdot \left(\frac{0.1}{1000}\right) \cdot \left(\frac{1}{2}\right) = 1.615 \times 10^{-3}\ moles$

IODO QUE REACCIONA CON EL ACIDO ASCORBICO

$R := I - E = 6.724 \times 10^{-5}\ moles$

TOTAL DE ACIDO ASCORBICO

$AA := R \cdot \frac{1}{1} \cdot \frac{176.12}{1} \cdot \frac{1000}{1} = 11.843\ mg$

Fig. 6. Cálculo realizado en Mathcad para una de las muestras de jugo.

Los resultados de las determinaciones del ácido ascórbico mediante la técnica empleada se detallan en las Tablas 1 y 2, junto con los valores indicados en el etiquetado nutricional y sus correspondientes diferencias con dichos valores, para los jugos en polvo de limonada y naranja, respectivamente.

Tabla 1. Resultados obtenidos de jugo en polvo sabor limonada.

Jugo sabor limonada	AA informado (mg)	AA hallado (mg)	Diferencia %
Marca A	11	11,84	7,6
Marca B	11	11,37	3,3
Marca C	6,8	6,54	3,8

Tabla 2. Resultados obtenidos de jugo en polvo sabor naranja.

Jugo sabor naranja	AA informado (mg)	AA hallado (mg)	Diferencia %
Marca B	11	10,49	4,6
Marca C	6,8	6,54	3,8
Marca D	11	7,42	8,6

Los resultados obtenidos con la técnica desarrollada ponen de manifiesto una diferencia con el valor nutricional informado en la etiqueta de cada uno de los productos analizados, siendo de 8,6 % la mayor obtenida. Siendo menor en el resto de los casos ensayados.

La obtención de resultados requiere por parte del alumno contar con destreza en el manejo de elementos de laboratorio. Además, para su cabal comprensión, interpretación y comparación de resultados, se requiere una asociación de conocimientos que se han ido desarrollando durante el cursado y aprobación de la cátedra de química. De este modo, el estudiante alcanza resultados mediante una metodología sencilla, la cual puede ser fundamental para su desempeño técnico en laboratorios de calidad en empresas o instituciones.

Conclusiones

Se concluye que el método empleado es idóneo para analizar el contenido de ácido ascórbico en matrices tales como los jugos, evidenciando una precisión aceptable con un % de diferencia inferior al 9% en referencia con los datos nutricionales de los productos analizados.

La práctica implementada consolidó en los estudiantes la vinculación de conceptos químicos con una aplicación concreta al análisis de alimentos por lo que se evidenció el valor educativo de la misma.

Fortaleció, además, habilidades analíticas e interpretación técnica de los resultados obtenidos.

Permitió al estudiante tener una opinión crítica acerca de productos de consumo habitual y tener posibilidad de elección frente a las opciones disponibles en el mercado.

Después de participar en la experiencia, los estudiantes mostraron un cambio de actitud frente a la materia, por lo que resultó significativo el aporte a la comprensión del tema.

Se logró ampliar las competencias del alumno, extendiendo aplicaciones de contenidos útiles para situaciones de la vida cotidiana y/o profesional.

El estudiante participó de manera activa, aplicando los conocimientos adquiridos para abordar y resolver situaciones reales, construyendo su propio aprendizaje. No sólo se interesó en la preparación de las soluciones y desarrollo de la técnica, sino también en los cálculos correspondientes y los resultados fueron relevantes para ellos.

Referencias

Alam P., Kamal Y.T., Alqasoumi S.I., Foudah A. I., Alqarni M. H., Yusufoglu H. S. (2019). HPTLC method for simultaneous determination of ascorbic acid and gallic acid biomarker from freeze dry pomegranate juice and herbal formulation. Saudi Pharmaceutical Journal Vol. 27, (7), 975-980.

Alwazeer D., Delbeau C., Divies C, Cachon R. (2003). Use of redox potential modification by gas improves microbial quality, color retention, and ascorbic acid stability of pasteurized orange juice. International Journal of Food Microbiology 89, 21– 29.

Azmi, S. N. H., Al Hoqani, U., Al Mamari, J. O. S., Al Mamari, B. M. S., Al Jassasi, B. S. A. R., Al Rubaiai, A. S. S., Zakaria, Z. A. (2022). Box–Behnken Design Based Development of UV-Reversed Phase High Performance Liquid Chromatographic Method for Determination of Ascorbic Acid in Tablet Formulations. Separations, 9 (11), 361.

Bekele, D. A., Geleta, G. S. (2015). Iodometric determination of the ascorbic acid (Vitamin C) content of some fruits consumed in Jimma Town Community in Ethiopia. Res. J. Chem. Sci, 2231, 606X.

Campos Mangas C. (2020). Métodos analíticos para la determinación de vitamina C. Tesis para obtención título de Farmacéutico. Universidad de Farmacia de La Laguna, España.

Dodevska, T., Hadzhiev, D., Shterev, I. (2022). A review on electrochemical microsensors for ascorbic acid detection: clinical, pharmaceutical, and food safety applications. Micromachines, 14(1), 41.

FAO/OMS (2001). Human Vitamin and Mineral Requirements, Report 07a Joint Expert Consultation Bangkok, Thailand.

González A.; Urzúa C. (2012). Experimentos químicos de bajo costo: un aporte desde la microescala. Universidad de Santiago de Chile, Chile. Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias 9 (3), 401-409.

Hernández Lomeli M.D. (2014). Optimización de un método analítico para la cuantificación de ácido ascórbico en gomitas pediátricas. Tesis para obtener el título de Químico Farmacéutico Biólogo, Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Estudios Superiores, México.

Ley 18.284 CÓDIGO ALIMENTARIO ARGENTINO. Capítulo XII. Disponible: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/anmat_caa_capitulo_xii_aguas_actualiz_2021-08.pdf

Manasa, M., Ravali, A., Bargavi, B., Mounica, B., Prasanna, V. L. (2019). Determination of stability of vitamin c present in different commercial fruit juices. World Journal of pharmaceutical research, 8(6), 959-964.

Pisoschi, A. M., Danet A. F., Kalinowski S. (2008). Ascorbic Acid Determination in Commercial Fruit Juice Samples by Cyclic Voltammetry. Journal of Automated Methods and Management in Chemistry Vol. 2008, Article ID 937651.

Rebollo, C.; Hernández, V.; Carrieri, R.; Viera, M.; Salhá, B.; Sansone, S., Rostani, S. (2005). Vitamina C: Una estrategia didáctica polifuncional. Enseñanza de las ciencias, 23 (1), 133–140.

Riera M.A., Gómez-Salcedo Y. (2019). Influencia de las condiciones de almacenamiento en la degradación de vitamina C. Publicaciones en Ciencias y Tecnología. Vol. 13. (2), 3-11.

Riera M.A., Gómez-Salcedo Y., Córdova-Mosquera R. (2022). *Degradación térmica de ácido ascórbico en jugo de limón*. Revista de I+D Tecnológico Vol. 18, (1), 74-81.

Trifunschi, S., Zugravu, C. A., Munteanu, M. F., Borcan, F., and Pogurschi, E. N. (2022). Determination of the ascorbic acid content and the antioxidant activity of different varieties of vegetables consumed in Romania, from farmers and supermarkets. Sustainability, 14 (21), 13749.

Uchenna Igwe, O. (2014). Quantitative estimation of ascorbic acid levels in citrus fruits at variable temperatures and physicochemical properties. International Journal of Chemical and Biochemical Sciences 5, 67-71.

Villacís Chiriboga J. A. (2015). Determinación de la cinética de degradación de ácido ascórbico en zumo de naranja (Citrus sinensis var. Valencia) sometida a calentamiento y radiación ultravioleta para su aplicación en proceso tecnológicos. Tesis para obtención del título de Ingeniero en Alimentos. Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, Ecuador.

Zia H., Fischbach N., Hofsommer M., Slatnar A. (2023). Simultaneous analysis of ascorbic and dehydroascorbic acid in fruit juice using HILIC chromatography coupled with mass spectrometry. Journal of Food Composition and Analysis, 124, 105714.

Zhongwei, F. (2017). Métodos analíticos para la determinación de vitamina C en alimentos. Trabajo de titulación de grado. Universidad Complutense. Facultad de Farmacia. Madrid-España: UCM.

FORMULACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE POLIURETANO Y ORGANOARCILLA

María E. V. Hormaiztegui[1], Mercedes Salduna[1], Oscar R. Pardini[1], Francisco M. Pardini[1]

[1] Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Materiales (CITEMA – UTN/CIC), Facultad Regional La Plata, Universidad Tecnológica Nacional, Berisso, Código Postal:1923, Argentina
mevhormaiztegui@frlp.utn.edu.ar

Resumen

En la actualidad la formulación de materiales nanocompuestos ha ganado importancia en el campo del desarrollo de materiales. En general, los materiales compuestos están conformados por una matriz polimérica y por un refuerzo que le confiere propiedades diferenciadas de la matriz. En particular, los nanocompuestos de matriz polimérica con cargas inorgánicas han captado considerable atención en los últimos años, siendo las arcillas uno de los refuerzos más comunes.

En el presente trabajo, con el objetivo de compatibilizar la matriz polimérica sintetizada y la arcilla de industria nacional, se lleva adelante una modificación química de esta última con la finalidad de aumentar el espaciado interlaminar. El modificador orgánico que se utiliza para obtener la organoarcilla es el bromuro de hexadeciltrimetilamonio (HDTMA) y la reacción de modificación se realiza en solución acuosa. Por otro lado, para la síntesis del poliuretano de base acuosa aniónico se sigue el método del prepolímero, y se utiliza polipropilenglicol como poliol. Para formular los materiales compuestos, se realiza la dispersión del prepolímero con la solución acuosa que contiene los diferentes porcentajes de arcilla natural y organoarcilla (1% y 3%).

La modificación de la arcilla se evidenció a partir de los resultados de difracción de rayos X al aumentar el espaciado laminar de 1,337nm a 1,961nm. Los materiales compuestos obtenidos se caracterizaron mediante FTIR y espectroscopia UV-Visible. La absorción de agua se determinó por medio del método gravimétrico y se analizaron las muestras por análisis termogravimétrico. Dentro de los resultados destacables, se puede mencionar una mejora en la estabilidad térmica de los compuestos frente a la matriz poliuretánica gracias a la incorporación de un refuerzo inorgánico, por lo que potencialmente podrían ser utilizados estos materiales en el campo de los recubrimientos protectores.

Palabras Clave: arcilla modificada, poliuretano de base acuosa, propiedades

Introducción

Los poliuretanos son polímeros formados a partir de la reacción entre un di/poliisocianato y un diol/poliol, en presencia de extendedores de cadena, catalizadores y otros aditivos. (Sharmin & Zafar, 2012) Debido a la versatilidad y variedad de monómeros que se pueden utilizar para la síntesis de los poliuretanos (PU´s) se pueden obtener un gran número de polímeros con propiedades diferentes, que dependen de la elección de las materias primas a utilizar. (Mucci et al., 2022; Santamaria-Echart et al., 2021)

En general, los PU´s presentan una excelente calidad de película (brillo y terminación) y cuentan con una alta resistencia a la intemperie, a la abrasión y a la radiación UV, además de una gran resistencia a los agentes químicos, solventes, aceites y grasas. Además, estos polímeros suelen ser biocompatibles por lo que son utilizados en diversas aplicaciones.(Nikalin et al., 2021)

A pesar de tener excelente flexibilidad y elasticidad los PU´s presentan ciertas limitaciones como polímeros de barrera lo que reduce sus potenciales aplicaciones en esas áreas. (Cordero et al., 2015) Para mejorar las propiedades de barrera de los PU´s pueden incorporase a la matriz poliuretánica nano materiales tales como nanoarcillas o modificaciones de estas como las

organoarcillas. (Ding et al., 2020; Kuan et al., 2005; Lee & Lin, 2006; Liao et al., 2016; Panda et al., 2017) Además, los poliuretanos reforzados presentan mayor resistencia a la tracción y estabilidad térmica en comparación con el polímero original. Las nanoarcillas se caracterizan por tener gran área superficial y con las adecuadas modificaciones pueden ser dispersadas en la matriz polimérica.

El presente trabajo propone la síntesis y caracterización de poliuretanos puros y reforzados con arcilla sin modificar y una organoarcilla modificada, con el objetivo de estudiar la influencia la incorporación de las arcillas en las propiedades finales del polímero obtenido.

Materiales y métodos

Síntesis de organoarcilla

Para obtener la organoarcilla se partió de una arcilla natural provista por la empresa La Elcha Sociedad Minera Industrial S.A. (Mendoza, Argentina), con una Capacidad de Intercambio Catiónico de 72 meq/100 g, y se utilizó bromuro de hexadeciltrimetilamonio (HDTMA, Sigma-Aldrich), en una cantidad 1,5 veces mayor a la CIC de la arcilla.

Para la modificación se realizó la dispersión en agua destilada de la arcilla natural, en un reactor encamisado de 1000 ml, a 55 ºC, al que luego se incorporó HDTMA disuelto en agua a 60 ºC. La mezcla se dejó en agitación a 250 rpm y 55 ºC durante 24 horas. Luego, la organoarcilla se lavó con agua destilada mediante centrifugación hasta la eliminación de Br^-, y se secó posteriormente en una estufa a 60 ºC. Una vez seca, se terminó de acondicionar mediante la operación de molienda con mortero.

Síntesis de poliuretano

La síntesis del poliuretano base acuosa se realizó mediante el método del prepolímero (Pardini & Amalvy, 2008). Se utilizó polipropilenglicol, PPG2000 (Voranol 2120, Mn = 2000, DOW), como poliol para el prepolímero. Como poliisocianato se utilizó isoforona diisocianato (IPDI), suministrado por Adelfa SRL. Se utilizaron ácido dimetilolpropiónico (DMPA, Fluka) como estabilizante coloidal y dilaurato de dibutilestaño (DBTDL, Sigma-Aldrich) como catalizador.

Se utilizó trietilamina (TEA, Sigma-Aldrich) como agente neutralizante añadido en solución de acetona y etilendiamina (EDA, Cicarelli) como extensor de cadena durante la dispersión en agua. Para evitar la desestabilización coloidal, se añadió al medio acuoso antes de la etapa de dispersión un 1% en peso sobre sólidos, de dodecilsulfato de sodio (SDS, Sigma-Aldrich).

En un reactor de 500 ml de capacidad provisto de agitador mecánico, se colocaron el PPG2000 y el DMPA. La mezcla se calentó a 98 ºC manteniendo agitación continua a 200 rpm durante media hora. Transcurrido ese tiempo, se ajustó la temperatura a 90 ºC y se adicionó el diisocianato (IPDI) con el DBTDL. La mezcla de reacción se mantuvo en esas condiciones durante 120 minutos. Pasado ese lapso, la temperatura del reactor, conteniendo el prepolímero poliuretánico obtenido, se ajustó a 53 ºC, se adicionó lentamente TEA (en acetona) y se dejó reaccionar durante 45 minutos con el objeto de neutralizar los grupos carboxílicos. Finalizada la reacción de neutralización, se permitió al sistema alcanzar la temperatura ambiente y luego se realizó la etapa de extensión de cadena y dispersión, agregando lentamente la solución acuosa de EDA y SDS, en los valores requeridos. La dispersión se realizó a 860 rpm y 25 ºC durante 30 minutos. Pasado ese tiempo, se mantuvo el sistema a temperatura ambiente y en agitación a 200 rpm durante 24 horas, tras lo cual se abrió el reactor y se procedió a guardar el PU obtenido.

En la Figura 1 se presenta el esquema de reacción realizado.

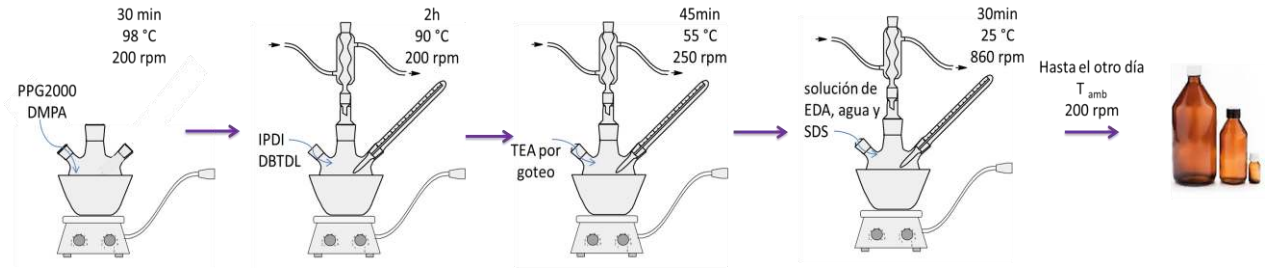


Fig. 1. Pasos de la reacción de obtención de PUs

Formulación de compuestos de poliuretanos y organoarcilla modificada

La incorporación de partículas al PU de base acuosa se puede llevar a cabo de diferentes maneras. (Mucci et al., 2022) La Figura 2 muestra algunas de las posibilidades que se tienen a la hora de incorporar partículas.

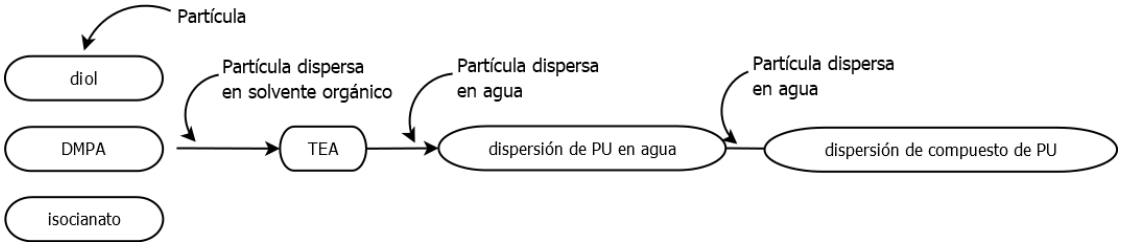


Fig. 2. Esquema de ejemplos de los diferentes momentos dentro de la síntesis donde se puede agregar partículas. Adaptado de (Mucci et al., 2022)

En el presente trabajo se siguió la estrategia de incorporación de las partículas dispersas en el agua que se utiliza en la etapa de dispersión del polímero. Para ello, se preparó la dispersión de arcilla en agua, SDS y EDA como se enuncia a continuación: se agitó magnéticamente durante una hora la mezcla de agua, SDS y arcilla y luego se sonicó la dispersión por otra hora. Posteriormente, se incorporó el EDA para así poder proceder a la dispersión del polímero en el reactor.

Se utilizaron porcentajes del 1% y 3% en peso, tanto de la arcilla natural como de la arcilla modificada, por lo que en total se realizaron 5 síntesis distintas de PU, cuyos productos fueron identificados siguiendo la siguiente nomenclatura: WBPUxN y WBPUxM, donde x indica el porcentaje agregado de arcilla y N representa a la arcilla natural, mientras que M indica la arcilla modificada químicamente.

Preparación de *films*

Las películas fueron preparadas por deposición ("*casting*") de las dispersiones acuosas sobre un molde rectangular y posterior evaporación del agua a temperatura ambiente. Para minimizar las diferencias entre las dispersiones y obtener películas con propiedades físicas similares, los contenidos de sólidos de las dispersiones fueron ajustados al 18 % p/p mediante el agregado de agua destilada.

Luego, se cortaron piezas circulares de 15 mm de diámetro empleando un sacabocados y se trataron térmicamente ("curado") a 60 °C por 24 hs de cada lado para permitir una coalescencia completa. Las condiciones fueron seleccionadas en base a información presente en la literatura y a ensayos previos realizados en el laboratorio. En la Figura 3 se muestran a modo ilustrativo el procedimiento de *casting* y la película obtenida luego de los procesos de corte y curado.

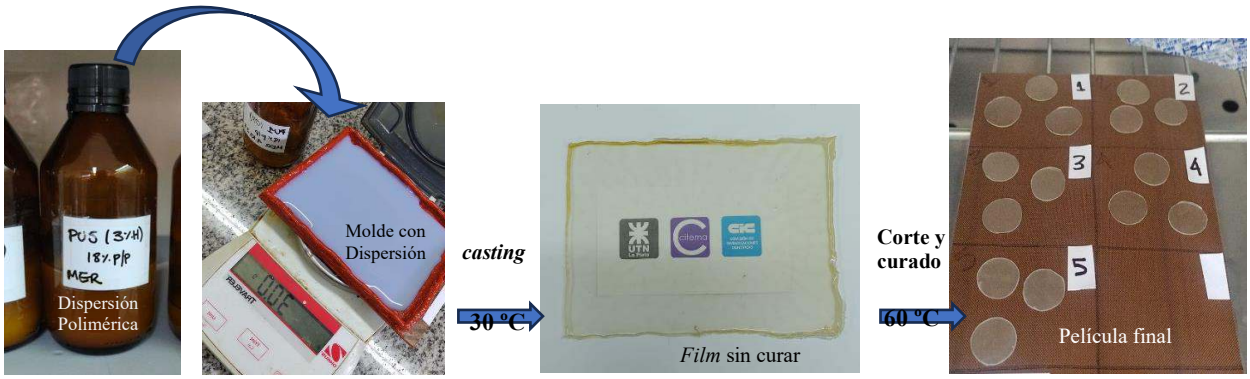


Fig. 3. Proceso de preparación de muestras

En la Figura 4 se presentan las fotos de los *films* obtenidos. En la formación de las películas se puede observar la aparición de aglomeraciones de arcilla, que puede deberse a la fase de agregado de arcilla en el proceso de dispersión del polímero en agua.

Fig. 4 *Films* a trasluz.

Caracterizaciones

Las películas de los materiales compuestos obtenidos, así como también el seguimiento de la reacción de obtención del poliuretano, se caracterizaron mediante FTIR (IRAffinity-1, Shimadzu) utilizando el accesorio para ATR y mediante espectroscopia UV-Visible (UV-1800, Shimadzu). La absorción de agua se evalúo mediante el método gravimétrico.

El análisis termogravimétrico de las muestras se realizó utilizando un equipo TA Q500, hasta 800 °C a una velocidad de 10 °C/min en atmósfera de nitrógeno.

Las muestras de arcillas se midieron en un difractómetro Panalytical X'Pert PRO a 45 Kv y 45 mA para determinar la efectividad de la exfoliación de la organoarcilla. Los difractogramas se obtuvieron en el rango angular 2-60º (2θ) con un paso de 0,02º y un tiempo por paso de 1s. La radiación CuK_{α} (1,542 Å) fue monocromatizada con monocromador de grafito. El difractómetro se encuentra equipado con una rendija de divergencia de 1°y una rendija de dispersión de 1/2°.

Para poder determinar la rugosidad de las películas poliméricas se utilizó un rugosímetro Mahr, modelo MarSurf PS 10.

Resultados y discusiones

Caracterización de las arcillas

La difractometría de rayos X es una de las formas de determinar si la modificación química fue exitosa o no. Los espaciados basales de la arcilla natural y la organoarcilla fueron analizados mediante la ecuación de Bragg ($n\lambda = 2d\sin\theta$). (Rafiei & Ghomi, 2013).

Mediante la técnica de difractometría de rayos X se realizaron los difractogramas de la arcilla sin modificar y la organoarcilla.

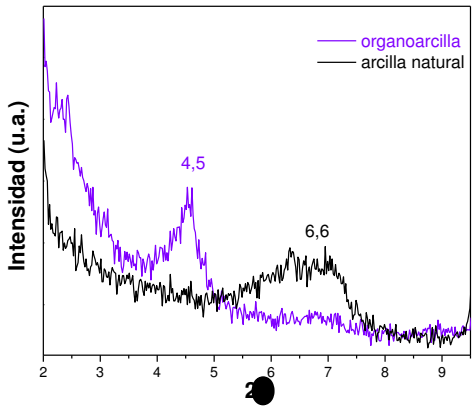


Fig. 5. Difractograma de la arcilla natural y la organoarcilla

Como se muestra en la Figura 5, el reemplazo de iones de sodio con cationes orgánicos provocó la expansión en la capa intermedia del mineral arcilloso y el pico d_{001} se desplazó a ángulos de difracción más bajos, por lo que el espaciado basal aumentó para la organoarcilla. Se puede observar que la arcilla modificada presenta el pico en 4,5 que corresponde a un espacio laminar 1,961 nm, el cual está corrido hacia la izquierda respecto al de la arcilla natural, que presenta un pico en 6,6 correspondiente a un espaciado laminar de 1,337 nm, verificando el aumento del espaciado basal en la arcilla modificada.

En la Figura 6.a se presentan los espectros ATR-FTIR de la arcilla natural y de la arcilla modificada. Las bandas principales de la arcilla natural son: 3626 cm^{-1} debido a las vibraciones de los estiramientos de los grupos -OH estructurales de la arcilla, 3393 cm^{-1} y 1632 cm^{-1} debido a los estiramientos de los grupo -OH y a las vibraciones de deformación de los grupos -OH debido al agua, 1115 cm^{-1} y 1008 cm^{-1} corresponden a las vibraciones debido a los estiramientos del enlace Si-O, 917 cm^{-1} y 885 cm^{-1}debido a las deformaciones de AlAlOH y AlFeOH respectivamente, y 797 cm^{-1} y 777 cm^{-1} a vibraciones del estiramientos del enlace Si-O. (Madejová & Komadel, 2001)
Para el caso de la organoarcilla, las bandas adicionales son: 2918 cm^{-1} y 2850 cm^{-1} correspondientes a las vibraciones de los estiramientos asimétricos y simétricos del $-CH_2$ mientras que la banda que aparece a 1470 cm^{-1} se asigna a las vibraciones de flexión de $-CH_2$. (Parolo et al., 2014; Rafiei & Ghomi, 2013)

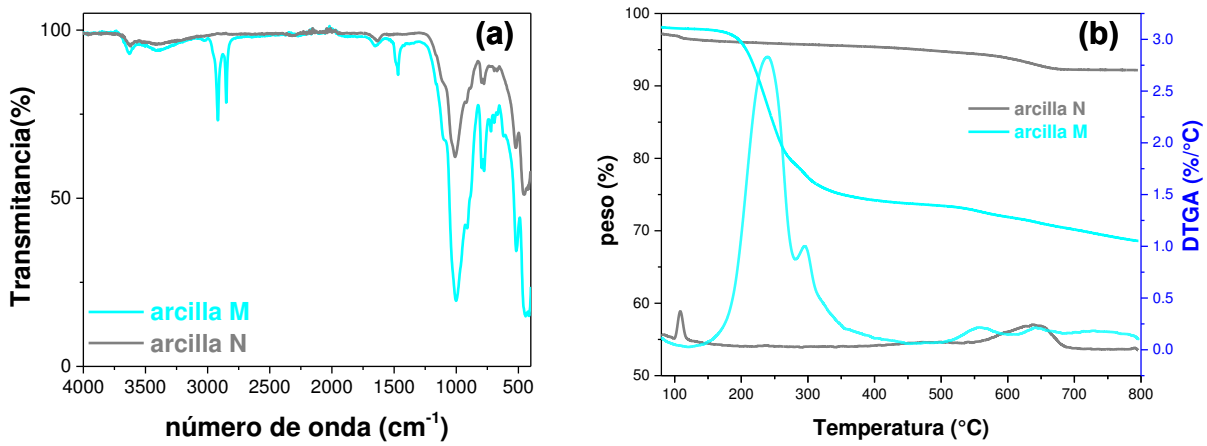


Fig. 6 (a) Espectro FTIR de la arcilla natural y la modificada, (b) Porcentaje de pérdida de peso en función de la temperatura y derivada de la pérdida de peso

En la Figura 6.b se presentan los termogramas de las arcillas caracterizadas, a través de los cuales se puede observar que la incorporación de HDMTA produce, como era de esperar, una diminución

de la temperatura de descomposición. El pico de degradación máxima que ocurre en la arcilla modificada (238,8 °C) y el salto de degradación que se observa en la Figura 6.b, corresponde a los procesos degradativos del modificador orgánico incorporado. En la Tabla 1 se comparan los valores de temperatura máxima ($T_{máx}$) y temperatura correspondiente al 5% de pérdida de peso (T_5).

Tabla 1. Valores de T_5 y $T_{máx}$ para las arcillas. Ensayo TGA

Muestra	T_5 (°C)	$T_{máx}$ (°C)
Arcilla N	468,2	640,5
Arcilla M	207,4	238,3

Estudios previos de la estabilidad térmica de arcillas y organoarcillas mencionan diferentes etapas de degradación, que incluyen la desorción de agua y deshidratación, la descomposición del surfactante y la deshidroxilización. (Ikhtiyarova et al., 2012; Parolo et al., 2014; Rafiei & Ghomi, 2013)

Tabla 2. Resultados del análisis termogravimétrico de la arcilla natural y la modificada

			Arcilla natural	Arcilla modificada
Zona 1 25-100°C	**Deshidratación**	**T (°C)**	108,5	41,7
		% pérdida de peso	3,55	2,03
Zona 2 100-600°C	**Subzona 1 Moléculas y cationes físicamente absorbidas**	**T (°C)**	-	238,9
		% pérdida de peso	-	18,75
	Subzona 2 Cationes absorbidos entre capas	**T (°C)**	-	297,2
		% pérdida de peso	-	5,44
		T (°C)	-	555,77
		% pérdida de peso	-	1,95
Zona 3: 600-750°C	**Deshidroxilación**	**T (°C)**	637,7	642,1
		% pérdida de peso	4,07	3,20
% pérdida total de peso			7,62	31,37
% pérdida total debido al compuesto orgánico			-	26,14
Cantidad total de surfactante en la muestra sin iones Br (mol/g × 10^4)			-	12,44

De acuerdo con la Figura 6.b y la Tabla 2 se pueden delimitar tres zonas de degradación. La primera zona de descomposición ocurre entre los 25°C y los 100°C y es debido a la volatilización del agua libre. La arcilla natural presenta la mayor pérdida de peso en esta zona, la baja cantidad de agua

libre en la arcilla modificada puede ser el resultado de la naturaleza hidrofóbica debido a la incorporación del modificador. La segunda zona de degradación se observa entre los 100°C y los 600°C y se la atribuye a la descomposición del compuesto orgánico. En esta zona se incluyen dos subzonas, la primera hasta 290°C en donde ocurre la descomposición de las moléculas y cationes absorbidos físicamente y la segunda desde 290°C hasta 600°C en donde ocurre la descomposición de los cationes absorbidos entre capas (Rafiei & Ghomi, 2013). La última zona de descomposición es la que ocurre debido a la deshidroxilación tanto de la arcilla natural como la modificada. (Ikhtiyarova et al., 2012; Parolo et al., 2014; Rafiei & Ghomi, 2013)

La cantidad de surfactante en la arcilla puede calcularse utilizando la ecuación (1):

$$X = \frac{m \times S \times 10^{-2}}{(M-y) \times m \times (100-S) \times 10^{-2}} = \frac{S}{(M-y) \times (100-S)} \quad (1)$$

Donde X es la cantidad de surfactante en la arcilla (mol/g), m es el peso total de la arcilla modificada, M es el peso molecular del surfactante, S es la cantidad total de pérdida de masa debida al surfactante, y es 0 si todos los iones Bromuro permanecen, si no es 80. (Rafiei & Ghomi, 2013) En la Tabla 2 se presenta el resultado el cual es comparable con el encontrado en bibliografía para el surfactante utilizado en el presente trabajo. (Rafiei & Ghomi, 2013)

Caracterización del poliuretano

Seguimiento de la reacción por espectroscopía FTIR

Para el seguimiento de la reacción de obtención del poliuretano se utilizó la técnica de espectroscopía infrarroja de transmisión por transformada de Fourier (FTIR). Para llevar a cabo el ensayo se tomaron muestras de la síntesis llevada a cabo en el reactor a distintos tiempos desde el momento en que los reactivos entraron en contacto, hasta el momento previo a la reacción de neutralización. En la Figura 7 se presentan los espectros realizados.

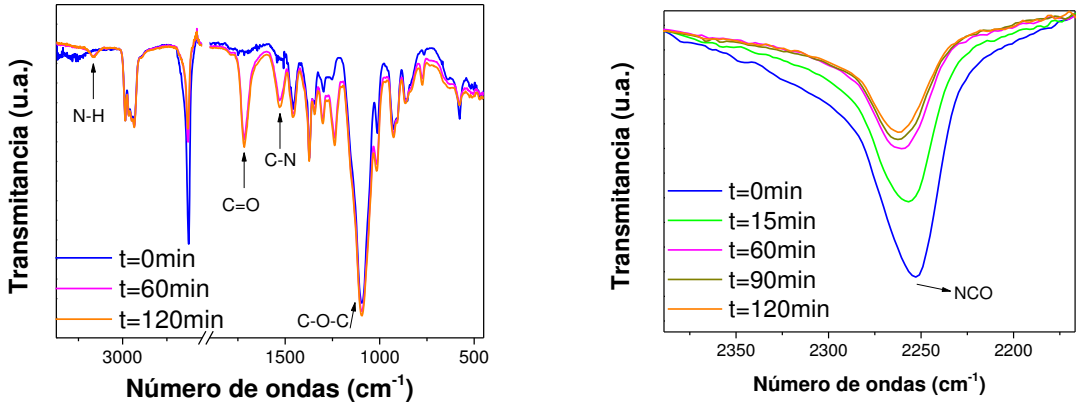


Fig. 7 Seguimiento con FTIR de la reacción de síntesis de poliuretano

Al analizar las curvas obtenidas durante el seguimiento de la reacción por FTIR, se puede observar el avance de la reacción de formación de poliuretano mediante la disminución de la banda del grupo NCO del isocianato (2250 cm^{-1}) y el incremento de la intensidad del grupo C=O debido a la formación del grupo uretano.

Caracterización de los materiales compuestos

Espectroscopía FTIR

En el análisis de las muestras por FTIR de las muestras de los *films*, cuyos espectros se presentan en la Figura 8, se puede mencionar las bandas características de los PUs: el pico en 1527 cm^{-1} debido a la combinación del estiramiento C-N y de la flexión N-H, correspondiente a la banda amida II, la aparición de la banda en 3331 cm^{-1} correspondiente al estiramiento N-H. El hombro ubicado alrededor de 3510 cm-1 se ha asignado al estiramiento OH del DMPA. Otras de las bandas principales que se pueden observar son la banda centrada a 1305 cm^{-1} (combinación entre la flexión NH y el estiramiento C-N), la de absorción a 1242 cm^{-1} (combinación entre la flexión NH y el estiramiento C-N, banda amida IV, una banda ancha a 1703 cm^{-1} que se asigna al estiramiento de C=O libre y de C=O H-enlazado (contribución principal de grupos uretanos) y un hombro en 1655 cm^{-1} que se asigna al C=O de los grupos ureas. (Pardini, 2016; Pardini & Amalvy, 2008; Peruzzo et al., 2011)

También se pueden apreciar las bandas correspondientes a al polipropilenglicol asignadas principalmente a los grupos C-H: a 1373 cm^{-1} (flexión de los grupos metilo), a 1457 cm^{-1} (flexión antisimétrica del metilo y "*scissoring*" del metileno) y desde 2960 a 2875 cm^{-1} (bandas de la vibración de estiramiento de los C-H saturados y una banda a 1110 cm^{-1} que se asigna a la vibración de estiramiento del C-O-C del polipropilenglicol. (Irusta Maritxalar & Fernández-Berridi Taberna, 1999)

En cuanto a los espectros de las muestras que contienen arcilla, se puede mencionar que no se aprecian grandes diferencias con respecto al espectro del PU sin refuerzo. En la Figura 8.d Se pueden apreciar la aparición de un pico y un hombro en los compuestos reforzados con arcilla modificada, en la zona de 2750-3050 cm^{-1}, que se correlacionan con la presencia del modificador orgánico HDTMA. Sin embargo, no se pueden apreciar corrimientos en los picos que indiquen una interacción entre las cadenas de PU y las láminas de arcilla, tanto natural como modificada.

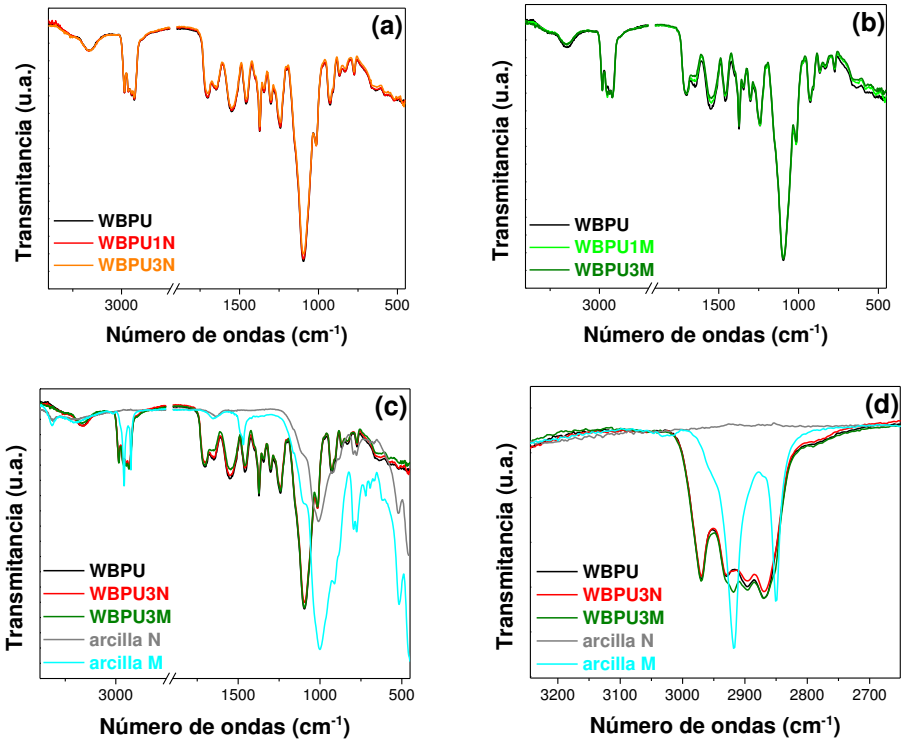


Fig. 8 Espectros FTIR de las muestras

Grado de hinchamiento

El grado de hinchamiento (GH) de las películas en sus diferentes proporciones de PU/arcilla se determinó empleando la técnica gravimétrica. Para ello, las muestras secas y curadas se colocaron en recipientes con 60 ml de agua destilada y se mantuvieron en un baño termostatizado y con agitación a fin de mantener la temperatura del medio en un rango de 25 a 28 ºC (temperatura ambiente). Las películas se pesaron antes del inicio del ensayo (P_s) y después de permanecer sumergidas durante diversos intervalos de tiempo, hasta alcanzar el equilibrio, utilizando una balanza analítica. En cada caso, utilizando una pinza adecuada se extrajo la película del recipiente y con un papel tisú se retiró el excedente de agua superficial, luego de lo cual se determinó el peso hidratado de la película (P_h). Se analizaron dos muestras por cada película realizada y en cada intervalo se tomó como valor final el promedio entre los dos pesos registrados. Los resultados se presentan en la Figura 9 y se presenta el aspecto de los *films* antes y después del ensayo.

El porcentaje de agua absorbido por las muestras se calculó empleando la ecuación (2):

$$GH(\%) = \left(\frac{(P_h - P_s)}{P_s}\right) * 100 \qquad (2)$$

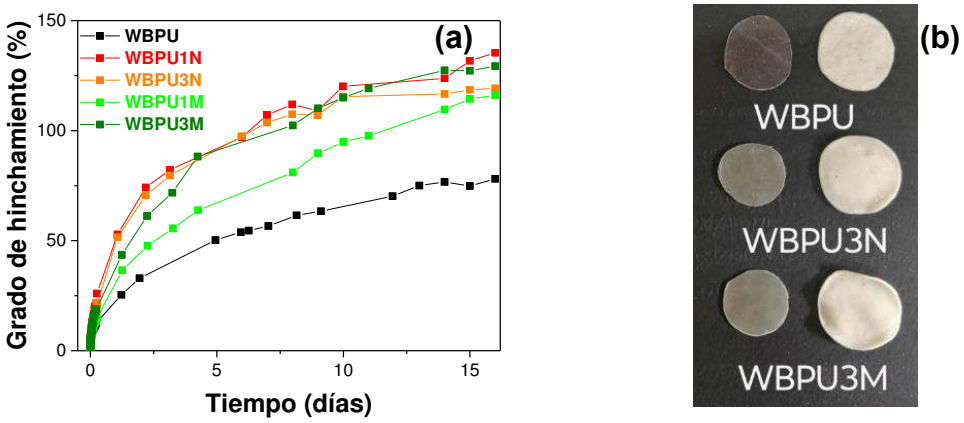


Fig. 9 (a) Porcentaje de agua absorbido por las muestras en el tiempo a T_{amb} (b) comparación visual entra las películas secas y las hidratadas

Del análisis de los resultados se puede observar que las películas que poseen arcillas en su estructura, ya sea natural o modificada, presentan una absorción de agua mayor al 40 % respecto a aquellas que no poseen refuerzo (WBPU). Esto permite inferir que en las primeras se presentan cambios en la organización de la matriz polimérica y/o aglomeración de arcillas en la película, que favorece el ingreso de agua respecto de la película de WBPU.

Se puede observar también que en WBPU1M (1% de arcilla modificada) si bien presenta mayor absorción de agua que en la matriz original, su porcentaje es menor respecto a los compuestos de poliuretano reforzado con 1% y 3% de arcilla natural, mejorando las propiedades del compuesto. El aumento en la absorción de WBPU3M, mayor a la esperada, puede explicarse por la formación de aglomeraciones que pueden observarse en la formación del *film* (Fig. 4).

Análisis termogravimétrico

Los resultados del análisis termogravimétrico de las muestras de los materiales compuestos se muestran en el Figura 10 y la Tabla 3.

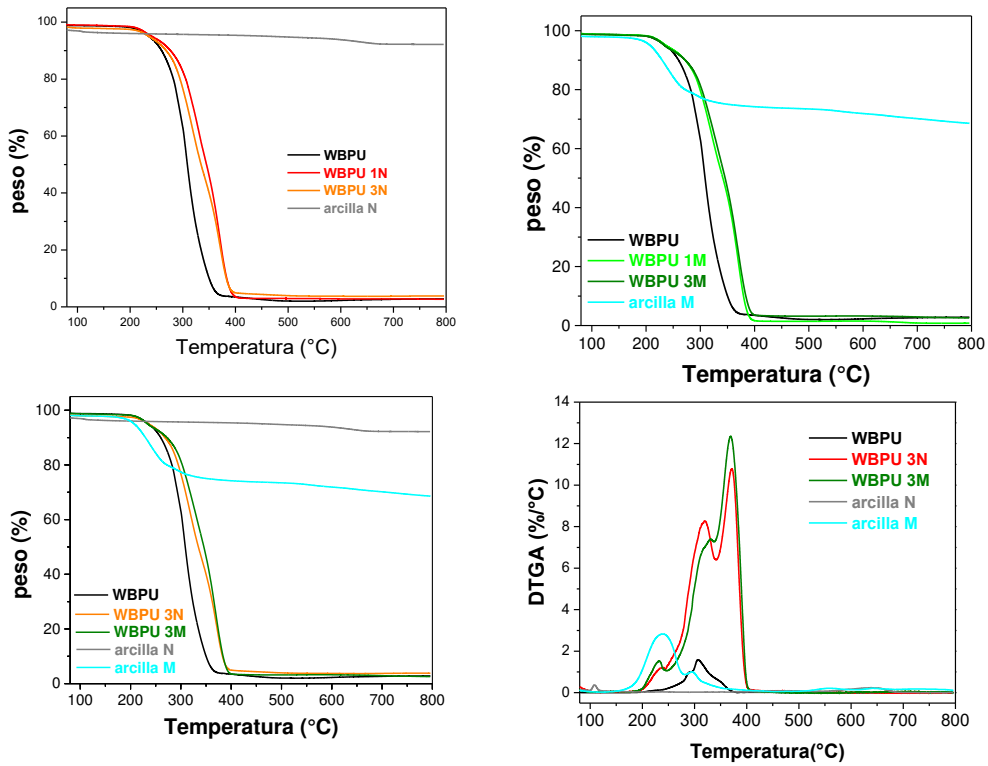


Fig. 10 Porcentaje de pérdida de peso en función de la temperatura y derivada de la pérdida de peso

Una forma conveniente de expresar la estabilidad térmica de los compuestos es definiendo se temperatura inicial de descomposición (TID), la temperatura máxima de descomposición ($T_{máx}$) y las temperaturas correspondientes al 5% y al 50% de descomposición, y estos resultados se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3 Parámetros térmicos de PU y los materiales compuestos con arcillas

Muestra	TID(°C)	T_5 (°C)	T_{50} (°C)	$T_{máx}$ (°C)
WBPU	174,5	235,6	308,6	306,7
WBPU1N	186,9	241,5	345,2	370,3
WBPU3N	189,3	235,9	334,8	371,5
WBPU1M	183,5	236,7	341,5	369,5
WBPU3M	187,2	233,9	345,8	369,1

La incorporación de las arcillas cambia la cinética de descomposición, produciéndose en más etapas que para el PU solo. En ambos compuestos, con arcilla N y con arcilla M, la velocidad máxima de descomposición se presenta a aproximadamente 370 °C, superior a la del PU puro a aproximadamente 300 °C. Adicionalmente, ocurre un aumento de la TDI con el agregado de las arcillas, consistente con un mayor aumento al agregar más arcilla.

Rugosidad

Los resultados obtenidos tanto de R_z (rugosidad media) como R_a (rugosidad media aritmética) de la superficie secada al aire de las películas de materiales compuestos se listan en la Tabla 4 y en la Figura 11 se muestra el ensayo realizado.

Fig. 11 Ensayo de rugosidad en *films* poliméricos

Tabla 4. Valores medidos de rugosidad R_z y R_a para las distintas películas poliméricas

Muestra	Rugosidad media (R_z, µm)	Rugosidad (R_a, µm)
WBPU	1,676 ± 0,361	0,209 ± 0,009
WBPU1N	1,224 ± 0,604	0,222 ± 0,110
WBPU3N	3,559 ± 0,096	0,454 ± 0,033
WBPU1M	1,312 ± 0,037	0,212 ± 0,021
WBPU3M	1,762 ± 0,844	0,330 ± 0,160

La rugosidad de las películas fue variando en función del tipo y cantidad de arcilla incorporada indicando cambios en la conformación superficial del polímero. Un aspecto importante para visualizar es que las muestras de WBPU1N y WBPU3M presentan valores de desviación estándar alto que se pueden a atribuir a las 2 fases que se observan en los *films* de ambas muestras (Fig. 4) debido a la aglomeración de las arcillas durante la formación del *film*.

Conclusiones

Se logró modificar exitosamente la arcilla natural lo cual pudo determinarse a partir de los resultados obtenidos en los ensayos de DRX, FTIR y TGA. Además se pudo calcular la cantidad de surfactante (12,44 mol/g × 10^4) en la organoarcilla. Se pudo incorporar la organoarcilla en la etapa de dispersión del polímero para obtener *films* de PU con 1 y 3 % de organoarcilla.
Los ensayos de caracterización permitieron visualizar las modificaciones en las propiedades de las películas a partir del agregado de la organoarcilla. Las películas reforzadas mostraron mayor absorción de agua (superior al 40%) y estabilidad térmica que las de WBPU. Respecto a la rugosidad de los *films* (R_z y R_a), se observaron variaciones en los valores indicando cambios en la conformación superficial del polímero.
A partir de las propiedades presentadas por los polímeros sintetizados, estos podrían ser utilizados en el campo de los recubrimientos protectores.

Referencias

Cordero, A. I., Amalvy, J. I., Fortunati, E., Kenny, J. M., & Chiacchiarelli, L. M. (2015). The role of nanocrystalline cellulose on the microstructure of foamed castor-oil polyurethane nanocomposites. *Carbohydrate Polymers*, *134*, 110–118.

Ding, Z., Li, J., Xin, W., & Luo, Y. (2020). Facile and high-concentration exfoliation of montmorillonite into mono-layered nanosheets and application in multifunctional waterborne polyurethane coating. *Applied Clay Science*, *198*. https://doi.org/10.1016/j.clay.2020.105798

Ikhtiyarova, G. A., Özcan, A. S., Gök, Ö., & Özcan, A. (2012). Characterization of natural- and organobentonite by XRD, SEM, FT-IR and thermal analysis techniques and its adsorption behaviour in aqueous solutions. *Clay Minerals*, *47*(1), 31–44.

Irusta Maritxalar, L., & Fernández-Berridi Taberna, M. J. (1999). Aplicación de la Espectroscopía Infrarroja de Transformada de Fourier al estudio de recubrimientos de poliuretano. *Revista de plásticos modernos: Ciencia y tecnología de polímeros*, *519*, 245–251.

Kuan, H. C., Ma, C. C. M., Chuang, W. P., & Hsun-Yu, S. U. (2005). Hydrogen bonding, mechanical properties, and surface morphology of clay/waterborne polyurethane nanocomposites. *Journal of Polymer Science, Part B: Polymer Physics*, *43*(1), 1–12.

Lee, H., & Lin, L. (2006). *Waterborne Polyurethane / Clay Nanocomposites : Novel Effects of the Clay and Its Interlayer Ions on the Morphology and Physical and Electrical Properties*. 6133–6141.

Liao, L., Li, X., Wang, Y., Fu, H., & Li, Y. (2016). Effects of surface structure and morphology of nanoclays on the properties of jatropha curcas oil-based waterborne polyurethane/ clay nanocomposites. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, *55*(45), 11689–11699. https://doi.org/10.1021/acs.iecr.6b02527

Madejová, J., & Komadel, P. (2001). Baseline studies of the clay minerals society source clays: Infrared Methods. *Clays and Clay Minerals*, *49*(5), 410–432.

Mucci, V. L., Aranguren, M. I., Amalvy, J. I., & Hormaiztegui, M. E. V. (2022). Developments in waterborne polyurethanes for coating applications. In *Eco-Friendly Waterborne Polyurethanes: Synthesis, Properties, and Applications* (pp. 253–266). CRC Press.

Nikalin, D. M., Serdtselyubova, A. S., Merkulova, Yu. I., & Kozlova, A. A. (2021). Waterborne Polyurethane Paints and Varnishes for Metal Surfaces: Patent Review. *Russian Journal of General Chemistry Volume*, *91*, 540–545.

Panda, S. S., Panda, B. P., Mohanty, S., & Nayak, S. K. (2017). Synthesis and properties of castor oil-based waterborne polyurethane cloisite 30B nanocomposite coatings. *Journal of Coatings Technology and Research*, *14*(2), 377–394. https://doi.org/10.1007/s11998-016-9855-8

Pardini, F. M. (2016). *Híbridos poliuretano/acrílico pH-responsivos: Síntesis, caracterización y aplicaciones potenciales*. Universidad Nacional de La Plata - Facultad de Ciencias Exactas.

Pardini, O. R., & Amalvy, J. I. (2008). FTIR, 1H-NMR spectra, and thermal characterization of water-based polyurethane/acrylic hybrids. *Journal of Applied Polymer Science*, *107*, 1207–1214.

Parolo, M. E., Pettinari, G. R., Musso, T. B., Sánchez-Izquierdo, M. P., & Fernández, L. G. (2014). Characterization of organo-modified bentonite sorbents: The effect of modification conditions on adsorption performance. *Applied Surface Science*, *320*, 356–363. https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2014.09.105

Peruzzo, P. J., Anbinder, P. S., Pardini, O. R., Vega, J., Costa, C. A., Galembeck, F., & Amalvy, J. I. (2011). Waterborne polyurethane/acrylate: Comparison of hybrid and blend systems. *Progress in Organic Coatings*, *72*(3), 429–437. https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2011.05.016

Rafiei, B., & Ghomi, F. A. (2013). *Preparation and characterization of the Cloisite Na+ modified with cationic surfactants*. https://www.researchgate.net/publication/256089918

Santamaria-Echart, A., Fernandes, I., Barreiro, F., Corcuera, M. A., & Eceiza, A. (2021). Advances in waterborne polyurethane and polyurethane-urea dispersions and their eco-friendly derivatives: A review. In *Polymers* (Vol. 13, Issue 3, pp. 1–32). MDPI AG. https://doi.org/10.3390/polym13030409

Sharmin, E., & Zafar, F. (2012). Polyurethane: An Introduction. *Polyurethane*, 3–16.

CARACTERIZACIÓN DE SENSORES DE DISTANCIA Y TEMPERATURA APLICADOS A CONTROL DE ACCESO CON DETECCIÓN DE PIREXIA

Franco M. Salvático[1], José L. Catalano[1], Javier N. Gonella[1], Javier G. Panero[1], Fabián M. Sensini[1], Julián Durelli[1], Joaquín Salas Tissera[1]

[1]Departamento de Ingeniería Electrónica. Facultad Regional Villa María de la UTN
Av. Universidad 450, Villa María, Córdoba, Argentina.
dpto-electronica@frvm.utn.edu.ar

Resumen

La pirexia es una respuesta inmunológica frente a infecciones que se manifiesta por un aumento de la temperatura corporal. Para controlar la propagación de patógenos, como el SARS-CoV-2, es fundamental detectar la fiebre en lugares de alta concurrencia. Este trabajo propone un sistema de medición de temperatura basado en sensores de temperatura y distancia, implementado con una Raspberry Pi 4, que nos permite realizar mediciones de temperatura, sin contacto, en accesos a áreas públicas y de gran concurrencia. El sistema utiliza sensores para detectar la distancia a la que se encuentra la persona, y sensores infrarrojos para medir la temperatura corporal de forma precisa. Luego de realizar una evaluación de los sensores para medir distancia (ultrasónico o láser), se concluyó que el sensor láser TOF200C es el de mejor prestaciones para este tipo de mediciones, y el sensor infrarrojo MLX90614-DCI para la medición de la temperatura, por su mayor precisión y resolución. Además, se emplea una cámara web montada sobre un sistema de motores para su posicionamiento, ajuste y encuadre del rostro, logrando así una optimizando en las mediciones. Este sistema contribuye a la reducción del riesgo de contagio en entornos públicos, mejorando la calidad de vida y reduciendo costos en salud y economía.

Palabras clave: Pirexia, Caracterización de sensores, Rastreo de patrones.

Introducción

La pirexia es una respuesta del sistema inmunológico frente a agentes infecciosos, manifestada por un aumento en la temperatura corporal. Entre los agentes externos más comunes, como los virus, se encuentran aquellos que se transmiten a través de vías aéreas, como el SARS-CoV-2, causante de la pandemia de COVID-19. Este tipo de patógenos se disemina fácilmente por contacto cercano con personas infectadas o superficies contaminadas, haciendo que las autoridades deban implementar respuestas de emergencia efectivas y eficientes para reducir la mortalidad y los efectos sociales de éstas (Qiu, W. et al, 2018). El riesgo de contagio es especialmente alto en áreas de alta concurrencia, como escuelas, oficinas y hospitales, lo que subraya la importancia de detectar y controlar síntomas tempranos como la fiebre.

Para mitigar la exposición al agente infeccioso, es esencial identificar tempranamente los síntomas asociados a estas patologías, particularmente en los accesos a áreas de tránsito y permanencia. Uno de los indicadores más inmediatos es la hipertermia, lo que justifica el uso de sensores a distancia para medir la temperatura corporal, específicamente en el rostro o la palma de la mano.

El sistema propuesto consiste en una pantalla ubicada en el acceso a las instalaciones, donde el individuo se coloca frente al dispositivo para que el sensor verifique si la zona del cuerpo a medir se encuentra dentro del rango óptimo de lectura. En caso de desalineación, se solicita al usuario corregir su posición o se ajusta el sensor. Una vez realizada la medición, y dependiendo de la zona evaluada, se estima la temperatura corporal central, la cual permite identificar posibles casos que requieran un análisis posterior por parte del personal sanitario.

La implementación de esta tecnología puede contribuir significativamente a frenar la propagación de enfermedades infecciosas, lo que se traduce en una mejora en la calidad de vida dentro del

recinto, la reducción de costos en salud y economía, y, más crucialmente, la preservación de vidas humanas, especialmente en función de la gravedad del agente patógeno involucrado.

Materiales y métodos

El sistema de control implementado en una computadora de placa única Raspberry Pi 4, se compone de tres etapas clave: la medición de distancia, la detección de rostros y su correcto posicionamiento, y finalmente, la medición de la temperatura. Estas etapas, representadas en la Fig. 1, son fundamentales para garantizar tanto la eficacia como la eficiencia del dispositivo. En la primera etapa, el sensor de distancia permite asegurar que el sujeto se encuentra a la distancia óptima para la medición, lo cual es crucial para obtener lecturas precisas. En la segunda etapa, se detecta el rostro y se verifica su posicionamiento adecuado dentro del campo de visión del sensor, lo que asegura que la medición de temperatura se realice en el área prevista de la frente, zona seleccionada por su correlación con la temperatura corporal central.

En la tercera y última etapa, el sistema utiliza sensor de medición de temperatura para realizar una lectura rápida de la superficie corporal. Estos sensores, en particular, han requerido una rigurosa evaluación y caracterización de su respuesta, dado que su precisión es vital para el correcto funcionamiento del sistema. La adecuación de los sensores a los parámetros específicos de operación del dispositivo garantiza que las mediciones de temperatura sean confiables, permitiendo una rápida identificación de posibles casos de fiebre.

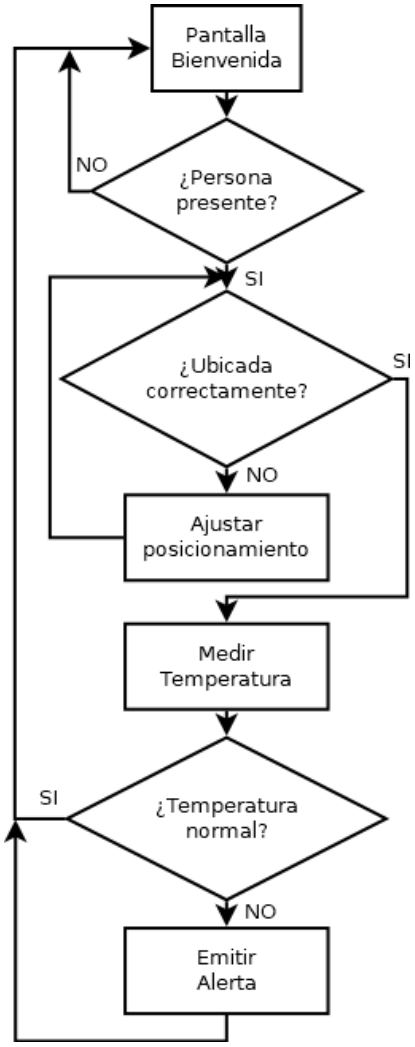


Figura 1. Diagrama de bloques de la detección

Caracterizaciones de sensores

La caracterización de sensores es un proceso fundamental en el diseño y la implementación de sistemas de medición y control en diversas aplicaciones tecnológicas. Este proceso implica evaluar y definir las propiedades y el comportamiento de los sensores para asegurar su precisión, confiabilidad y adecuación al propósito específico para el cual han sido diseñados.

Sensor de medición de distancia

Para la medición de distancia, se evaluaron dos tipos de sensores: el sensor ultrasónico HC-SR04 y el sensor láser TOF200C, cada uno con principios de funcionamiento y características diferentes, indicadas en Tabla 1. El HS-SR04 utiliza ondas de sonido para determinar la distancia al objeto, mientras que el TOF200C emplea un método basado en el tiempo de vuelo (Time of Flight) de un pulso láser. Ambos sensores fueron sometidos a un análisis exhaustivo, que incluyó pruebas de rendimiento en condiciones operativas representativas del entorno donde se implementaría el sistema.

Tabla 1. Comparativa de sensores de distancia utilizados

	HC-SR04	**TOF200C**
Principio de funcionamiento	Ultrasonido 40 kHz	Time-of-Flight 940 nm
Tensión	5 Vcc	3 a 5 V
Corriente	15 mA	40 mA
Rango	2 a 400 cm	3 a 200 cm
Ángulo medición (FOV)	15°	25°
Resolución	3 mm	1 mm

Uno de los aspectos evaluados fue el tiempo de respuesta de cada sensor, que resultó ser rápido y adecuado en ambos casos, lo que indicaba que cualquiera de los dos dispositivos podría cumplir con los requisitos de velocidad del sistema. Sin embargo, la decisión final de implementación se basó en otros factores clave: el error de medición, los límites de distancia mínima y máxima que cada sensor podía manejar, y la resolución de las mediciones.

El sensor ultrasónico HC-SR04, aunque económico y fácil de integrar, presentó un mayor error de medición en distancias cortas, lo que comprometía su precisión en ciertos rangos críticos para el sistema. Además, su capacidad para medir distancias muy cortas era limitada. Por otro lado, el sensor TOF200C, aunque más costoso, ofrecía una mayor precisión, menor error de medición, y una mejor resolución, lo que le permitía capturar distancias con mayor exactitud, incluso en rangos muy cortos. Además, el TOF200C también demostró un rango de medición más amplio, lo que lo hacía más versátil y confiable para las necesidades del sistema de control.

Considerando el objetivo de garantizar una detección precisa y confiable del posicionamiento de los usuarios en relación con el sensor de temperatura, se optó por la implementación del sensor láser TOF200C. Este ofrecía la mejor combinación de características en términos de precisión, resolución y adaptabilidad al entorno, asegurando así un rendimiento óptimo en la medición de distancias para el dispositivo.

Sensor de medición de temperatura

Para la medición de temperatura, se utilizaron sensores infrarrojos al ser un método rápido, no invasivo y sin contacto para controlar este parámetro (Sun, G. et al, 2014). Se evaluaron dos versiones del sensor infrarrojo MLX90614, el MLX90614-BAA y el MLX90614-DCI, que se diferencian principalmente en sus ángulos de visión (Field of View, FOV), mostrado en la Tabla 2. El análisis de estos sensores fue crucial, ya que el ángulo de visión determina la cantidad de área superficial que el sensor puede cubrir durante la medición, lo que impacta directamente en la precisión y confiabilidad de las lecturas de temperatura.

Tabla 2. Características principales del sensor MLX90614

	MLX90614-BAA	**MLX90614-DCI**
Tensión	3,6 V	
Corriente	1,5 mA	
Temperatura de medición	-70 a 380 °C	
Precisión	0,5 °C	0,02 °C
Ángulo de Visión	35°	5°

El MLX90614-BAA presenta un ángulo de visión amplio de aproximadamente 35°, lo que permite medir la temperatura de una zona mayor lo que lleva a una pérdida de precisión debido a la captura de temperaturas de áreas más extensas que podrían incluir zonas adyacentes con diferentes temperaturas.

Por otro lado, el MLX90614-DCI cuenta con un ángulo de visión mucho más estrecho, de aproximadamente 5°, lo que le permite enfocarse en un área más reducida y específica de la superficie corporal, lo que resulta en una mayor precisión en la medición de la temperatura, minimizando la interferencia del entorno o de áreas cercanas del cuerpo que podrían tener temperaturas distintas.

La caracterización de los sensores de temperatura se realizó mediante un protocolo que involucra la medición de una superficie a una temperatura previamente calibrada de 37°C, variando la distancia entre el sensor y la superficie en intervalos controlados. Este enfoque permitió evaluar cómo el rendimiento del sensor cambiaba con la distancia, un factor crítico para su aplicación en un sistema de control sin contacto, los resultados obtenidos se encuentran resumidos en la Fig. 2.

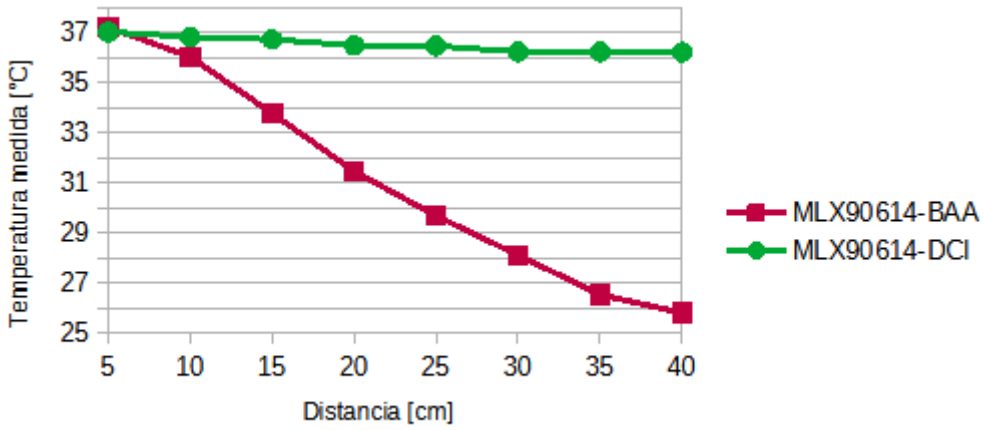


Figura 2. Respuesta de los sensores a diferentes distancias

Para garantizar la precisión de las mediciones, los datos obtenidos con los sensores fueron comparados con lecturas simultáneas capturadas por una cámara termográfica de alta precisión, la cual fue previamente calibrada para servir como referencia estándar. La cámara termográfica permitió visualizar de manera detallada la distribución de temperatura en la superficie y corroborar los puntos de lectura del sensor, Fig. 3. Este proceso de contraste fue esencial para identificar posibles desviaciones en las mediciones del sensor en función de la distancia, así como para ajustar el algoritmo de compensación en el sistema.

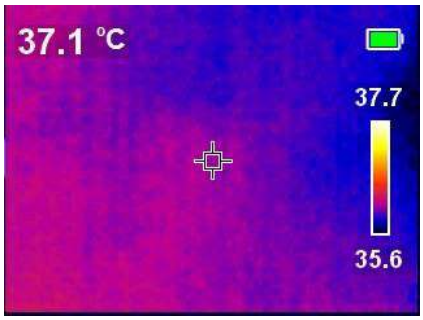


Figura 3. Imagen termográfica de la superficie caliente

Posicionamiento del sensor

El posicionamiento del sensor de temperatura es una de las fases más críticas dentro del sistema, ya que de ello depende la precisión de la medición. Una correcta ubicación del sensor garantiza la exactitud de los datos recolectados, lo que es fundamental para determinar si la temperatura corporal de un individuo se encuentra dentro de los rangos establecidos para la febrícula o fiebre.

Como la medición se centra sobre el rostro, se requiere poseer la mayor parte de la piel del mismo dentro del área de lectura del sensor, y esto se logra con una ubicación de la persona de frente al mismo lo que permite además reducir el error introducido por la diferencia de temperatura no simétrica de ambos lados del rostro (Rustemeyer, J., 2007). Asimismo, es requerible estimar el género de la persona sobre la que se intenta estimar su temperatura ya que los hombres tienen una temperatura promedio de la piel facial más alta que las mujeres. Esto puede deberse a las diferencias en la circulación de la sangre en la piel entre hombres y mujeres o a la mayor tasa metabólica básica en los hombres (Christensen, J., et al (2012).

Para alcanzar este objetivo, se ha desarrollado un dispositivo compuesto por una cámara web 1080p montada sobre una estructura motorizada, la cual incluye dos motores paso a paso, mostrados en Fig. 4. Estos motores permiten el movimiento preciso de la cámara en dos ejes: horizontal y vertical, facilitando su orientación para obtener la mejor ubicación posible del sensor de temperatura. El sensor, integrado en este conjunto, se posiciona sobre la cámara, lo que asegura que pueda captar de manera eficiente las variaciones de temperatura en las personas u objetos que se encuentren dentro de su campo de visión. Esta configuración garantiza no solo la correcta orientación del sensor, sino también la flexibilidad del sistema para adaptarse a diferentes escenarios y ángulos de medición.

El posicionamiento de la cámara se gestiona utilizando Python y la librería OpenCV, que permite la detección eficiente de rostros dentro de la imagen capturada. El proceso comienza cuando un sensor de distancia detecta la proximidad de una persona al sistema. En ese momento, se activa la cámara y se analiza la imagen generada, que tiene una resolución de 1920 x 1080 píxeles. Mediante algoritmos de reconocimiento facial, OpenCV identifica la ubicación del rostro dentro de la imagen y delimita su posición con un contorno rectangular.

Figura 4. Estructura de posicionamiento de sensor mediante cámara

Esta información, combinada con la medición de distancia proporcionada por el sensor, permite al sistema evaluar si la persona está demasiado cerca o lejos del rango óptimo para la medición de la temperatura. En caso de que la distancia no sea la adecuada, el sistema genera una notificación en la pantalla solicitando al usuario que se reubique para optimizar la medición.

Si el contorno del rostro se encuentra descentrado en la imagen, es decir, fuera de la posición ideal para la captura, el sistema calcula el número de píxeles de desviación respecto al centro de la imagen. Esta desviación en píxeles se convierte en un ángulo, que se utiliza para corregir la orientación de la cámara a través del control de los motores paso a paso. El proceso de reposicionamiento de la cámara y seguimiento del rostro se mantiene en un bucle de retroalimentación constante, asegurando que el rostro permanezca centrado y dentro de los parámetros adecuados hasta que se pueda realizar una medición precisa de la temperatura corporal. Estos datos son evaluados mediante un modelo matemático (Huang, P. W., et al, 2016).

En el caso de que la temperatura medida estuviera fuera de los límites normales establecidos, el sistema toma medidas proactivas para alertar al usuario y proporcionar recomendaciones pertinentes. Se activa una alerta en pantalla que notifica a la persona sobre la posible anomalía en su temperatura. Esta alerta incluye información clara sobre la situación, como la magnitud de la elevación y el rango de temperatura que se considera anormal.

Resultados

Durante la caracterización del sistema, se evaluaron tanto los sensores de temperatura MLX90614-BAA y MLX90614-DCI, como los sensores de distancia HC-SR04 (ultrasónico) y TOF200C (láser). A continuación, se presentan los principales resultados:

MLX90614-BAA: Con su ángulo de visión amplio (35°), este sensor realizó capturas de temperaturas de zonas adyacentes, lo que afectó su precisión.
MLX90614-DCI: Con un ángulo de visión estrecho (5°), este sensor permitió una mayor precisión en distancias cortas y medias, manteniendo un margen de error mínimo.
HS-SR04: Mostró un tiempo de respuesta rápido y adecuado, pero presentó un mayor margen de error en distancias cortas y medias con dificultades para mantener una precisión en entornos con superficies irregulares.
TOF200C: Este sensor presentó un mejor desempeño en términos de precisión, con un margen de error constante en todo el rango de medición evaluado.

El uso de Python y la librería OpenCV en la gestión del posicionamiento de la cámara permitió una detección eficiente y precisa de rostros dentro de las imágenes capturadas, con una resolución de 1920 x 1080 píxeles. El sistema, activado por el sensor de distancia, demostró ser capaz de identificar la proximidad de una persona, activar la cámara y localizar el rostro utilizando algoritmos de reconocimiento facial. Cuando el rostro estaba descentrado o fuera del rango adecuado para la medición de temperatura, el sistema calculaba correctamente la desviación en píxeles respecto al centro de la imagen y convertía esta desviación en un ángulo, que se utilizaba para ajustar automáticamente la orientación de la cámara a través de motores paso a paso. Este bucle de retroalimentación constante permitió mantener el rostro centrado, lo que resultó en una mejora en la precisión y fiabilidad de la medición de temperatura.

Conclusiones

El sistema desarrollado combina tecnologías de detección de distancia, reconocimiento facial y medición de temperatura sin contacto, logrando un alto grado de automatización y precisión. La integración de sensores de distancia láser con algoritmos de procesamiento de imágenes mediante OpenCV permite un ajuste dinámico del posicionamiento del usuario, optimizando el proceso de captura de temperatura. La capacidad del sistema para centrar el rostro y ajustar la cámara automáticamente garantiza que las mediciones se realicen bajo condiciones óptimas, lo que reduce el margen de error asociado con la alineación inadecuada o las distancias incorrectas.

La capacidad del sistema para detectar y alertar sobre anomalías en la temperatura corporal añade una capa crítica de seguridad, permitiendo una intervención rápida cuando sea necesario. Este sistema representa una solución robusta y adaptable para la detección temprana de posibles síntomas infecciosos en puntos de acceso concurridos, mejorando la prevención de la propagación de enfermedades y contribuyendo a la protección de la salud pública.

Agradecimientos

El sistema realizado forma parte del proyecto homologado de la Universidad Tecnológica Nacional CCECBVM0008265TC denominado “CONTROL DE INGRESO CON DETECCIÓN FACIAL Y MEDICIÓN DE TEMPERATURA CORPORAL COMO MÉTODO PREVENTIVO DE LA TRANSMISIÓN DE ENFERMEDADES INFECCIOSAS EN SU FASE PIRÉXICA” y forma parte del Banco Nacional de Proyectos de Desarrollo Tecnológico y Social (BNPDTS) bajo el código PDTS-0532.

Asimismo los autores dedican este artículo a la memoria de Esp. Ing. Marcelo Oscar Cejas, quien fuera director del proyecto y del Departamento de Ingeniería Electrónica de la Facultad Regional Villa María de la UTN.

Referencias

Christensen, J., Væth, M., & Wenzel, A. (2012). Thermographic imaging of facial skin—gender differences and temperature changes over time in healthy subjects. Dentomaxillofacial Radiology, 41(8), 662-667.

Huang, P. W., Chang, T. H., Lee, M. J., Lin, T. M., Chung, M. L., & Wu, B. F. (2016, November). An Embedded Non-Contact Body Temperature Measurement System with Automatic Face Tracking and Neural Network Regression. In 2016 International Automatic Control Conference (CACS) (pp. 161-166). IEEE.

Qiu, W., Chu, C., Mao, A., & Wu, J. (2018). The impacts on health, society, and economy of SARS and H7N9 outbreaks in China: a case comparison study. Journal of environmental and public health, 2018.

Rustemeyer, J., Radtke, J., & Bremerich, A. (2007). Thermography and thermoregulation of the face. Head & Face Medicine, 3(1), 17.

Sun, G., Saga, T., Shimizu, T., Hakozaki, Y., & Matsui, T. (2014). Fever screening of seasonal influenza patients using a cost-effective thermopile array with small pixels for close-range thermometry. International Journal of Infectious Diseases, 25, 56-58.

EVALUACIÓN DEL USO DE REDES NEURONALES PARA DETECTAR FALLAS EN FILTROS EMBEBIDOS EN COPROCESADORES ANALÓGICOS

Gonzalo T. Vodanovic[1,2], Agustín M. Laprovitta[1], María D. Vélez[1], Gabriela M. Peretti[1,2], Eduardo A. Romero[1,2]

[1]Grupo de Desarrollo Electrónico e instrumental, Facultad de Matemática, Astronomía, Física y Computación, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina.
[2]Grupo de Investigación de Calidad Mecatrónica, Facultad Regional Villa María, Universidad Tecnológica Nacional, Villa María, Argentina.

gonzalovodanovic@gmail.com

Resumen

El dispositivo PSOC-AC de Infineon es un exponente destacado de un *System on Chip* (SoC) programable que incluye secciones configurables analógicas que lo dota de una flexibilidad sin precedentes. PSOC-AC está concebido para descargar parte del procesamiento a las secciones analógicas, liberando al procesador principal de una aplicación embebida del costo computacional asociado. La redundancia y configurabilidad lo hacen atractivo para la implementación de sistemas que requieran características de seguridad funcional. Para este tipo de sistemas, los esquemas de test embebido en el sistema, BIST (*Built-In Self-Test*), aparecen como muy útiles debido a que poseen características de reusabilidad en campo.

Este trabajo explora la factibilidad de implementación de un BIST en un sistema embebido clásico que incluye un procesador principal y un PSOC-AC para aplicaciones en campo. Se adopta como caso de estudio un filtro pasa bajo de capacidades conmutadas implementado en las secciones analógicas. El objetivo es la detección de fallas incipientes de desviación de los valores de capacidad, fundamentales para determinar degradaciones tempranas. Se recurre a técnicas de inteligencia artificial para efectuar la clasificación entre el funcionamiento del dispositivo con o sin fallas. Se emplea una red neuronal convolucional que se consideran, a priori, como la más factible de ser embebidas en un sistema como el direccionado. Adicionalmente se pretende evitar preprocesamientos computacionalmente costosos, por lo que la entrada al clasificador es la señal normalizada.

La propuesta incluye simulación para generar señales en condición sin falla y con fallas de desviación en los capacitores, que servirán para los procedimientos de entrenamiento y validación. Se utilizan modelos de simulación de bajo costo computacional, con el agregado de ruido con características similares a las obtenidas mediante experimentos sobre el dispositivo. Nuestros resultados preliminares sugieren un muy buen desempeño para la detección de fallas en el filtro considerado.

Palabras Clave: Test embebido en el sistema, filtros, detección de fallas, redes neuronales, sistemas configurables analógicos.

Introducción

Los circuitos denominados FPAA (*Field Programmable Analog Arrays*) son las contrapartes analógicas de los circuitos FPGA (*Field Programmable Gate Arrays*). Básicamente, proveen un conjunto de recursos analógicos tales como amplificadores operacionales o de transconductancia

(según la familia), arreglo de capacitores y resistencias programables, comparadores y un sistema de ruteo configurable analógico que da al sistema una gran flexibilidad. Exponentes de estos circuitos son provistos por Lattice (Lattice Semiconductor Corp. 2000), y Anadigm (Anadigm 2003). Estos dispositivos han significado un punto de inflexión en el diseño analógico, ya que permiten la implementación de gran cantidad de circuitos dentro de una misma plataforma que pueden cambiar simplemente modificándose vía programación de la configuración de recursos.

Un avance adicional se da con los procesadores con secciones analógicas configurables. Estos dispositivos unen características de las FPAA junto con núcleos de procesamiento y los recursos normales en microcontroladores como interfaces de comunicaciones, memorias e incluso secciones configurables digitales (Cypress Semiconductor. 2019; Murphy R. et al. 2012; Cypress Semiconductor. 2015). Estos procesadores están orientados a relevar al núcleo del procesamiento de tareas de tratamiento de señales, descargando parte de estas a las secciones analógicas. El progreso de las plataformas ha permitido avanzar hacia el concepto de coprocesamiento analógico, que consiste en disponer de un procesador de potencia computacional adecuada a la aplicación y un procesador configurable de menor potencia para gestionar la adquisición y preprocesamiento de las señales. Esta idea es compatible con sistemas embebidos (SE) para un sinnúmero de aplicaciones y genera oportunidades para dotar a estos de características de adaptabilidad a diferentes misiones o condiciones medioambientales.

Cuando este tipo de SE es utilizado en aplicaciones que requieren seguridad funcional, como las médicas, automotrices y aeroespaciales, entre otras, las características de detección de fallas en campo se hacen mandatorios (Azam S. et al. 2023; Miller J. D. 2019; Ross H. L. 2016). En particular, el concepto de *test* embebido en el sistema (BIST*, Buil-In Self-Test*) se vuelve atractivo dada su característica de reusabilidad en campo (Feitoza R. S. et al. 2019; Pavlidis A. et al. 2021). Dado que los sistemas de filtrado son omnipresentes, los investigadores han hecho esfuerzos por formular estrategias BIST para filtros, por ejemplo (Shi C. et al. 2018; Kim B. et al. 2018). Sin embargo, la aplicación de esquemas de *test* BIST a filtros configurables impone desafíos particulares y ha sido relativamente poco estudiada (Balen T. R. et al. 2005; Balen T. R. et al. 2007), (Dri E. et al. 2020; Dri E. et al. 2021; Dri E. et al. 2022).

Dada la naturaleza conmutada de los filtros a estudiar en el presente trabajo, deben considerarse como antecedentes directos a la propuesta de (Dri E. et al. 2020) que propone un esquema DfT de bajo costo que recurre a los principios de TRAM, midiendo los parámetros de sobre elongación, tiempo de pico y ganancia. Se logra una excelente cobertura de fallas a expensas de uso de equipamiento externo. También, en (Dri E. et al. 2021) se demuestra la viabilidad de aplicación de medidas de similitud de señales para resolver este problema de *test*. En particular, el trabajo utiliza DTW para comparar las respuestas de *test* con un patrón de respuesta sin fallas. Finalmente, en (Dri E. et al. 2022) se demuestra la viabilidad y eficiencia de un sistema BIST para filtros SC embebidos.

Como puede verse de los trabajos referenciados, las técnicas utilizadas son ciertamente convencionales. En el caso de las estrategias BIST, los resultados son muy buenos y adecuados para sistemas embebidos de poca potencia computacional. Si se dispone de mayores recursos, la utilización de técnicas de inteligencia artificial se hace atractiva, esperándose resultados mejores.

El presente trabajo explora la detección de fallas incipientes en la desviación de los valores de capacidad de filtros de capacidades conmutadas implementado en las secciones analógicas de dispositivos configurables que forman parte de un sistema embebido que cuenta con un procesador principal de mayores capacidades de cómputo. La estrategia propuesta se basa en conceptos del Método de Análisis Transitorio TRAM (Balen T. R. 2007) obteniéndose la respuesta

del filtro al escalón. Mediante una red neuronal convolucional se clasifica la respuesta considerándola una serie temporal, distinguiendo entre estados con y sin fallas del circuito analógico. Las características de esta red deben permitir su implementación en el procesador principal del sistema embebido.

Plataforma PSOC-AC

PSOC-AC es un coprocesador analógico de la familia PSOC 4 de Infineon que integra una unidad de proceso (ARM® Cortex® M0+ de 32 bits), bloques configurables, y una interfaz de entrada y salida (Fig. 1). Los bloques digitales permiten implementar tareas de control, como temporizadores, contadores y moduladores por ancho de pulso (TCPWM), e interfaces con múltiples dispositivos mediante diversos protocolos de comunicación. Por su parte, entre las secciones analógicas hay bloques programables que pueden utilizarse para generar tensiones de referencia (PRB), bloques de capacidades conmutadas (UAB), de tiempo continuo (CTB), un conversor analógico-digital de aproximaciones sucesivas (ADC SAR), entre otros. A esto se le suma el subsistema configurable de entrada/salida que permite conectar todos estos bloques con los pines externos de propósito general (gpio).

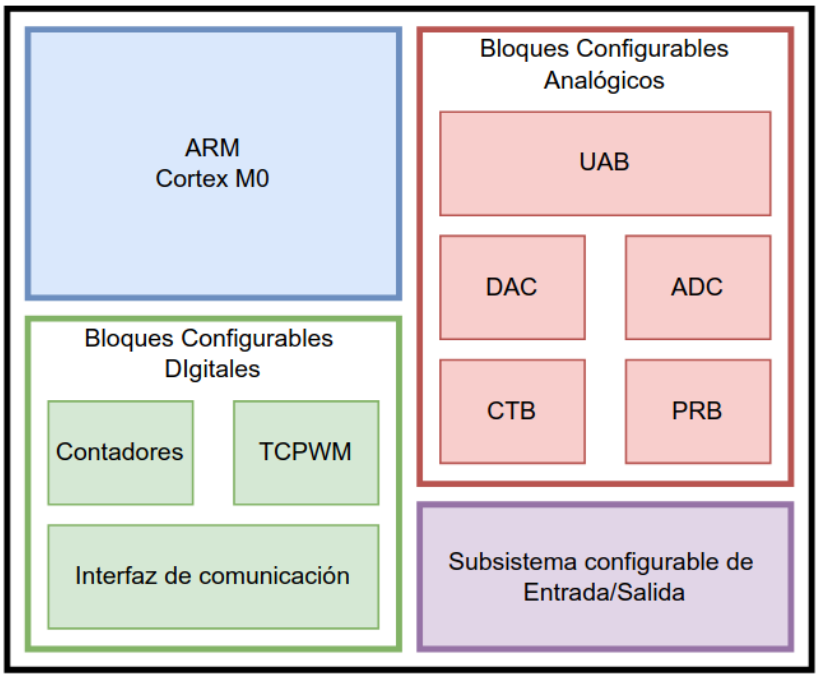


Fig. 1. Arquitectura del Coprocesador Analógico PSoC.

Este coprocesador posee un bloque analógico programable de capacidades conmutadas (UAB, *Universal Analog Block*) (Fig. 2), compuesto por dos circuitos simétricos que se pueden utilizar de forma independiente o en conjunto para implementar circuitos más complejos. Cada uno posee un par de amplificadores operacionales, buffers, comparadores, arreglos de capacidades conmutadas y llaves programables, que se pueden configurar para implementar funciones analógicas como amplificación y modulación de señales, conversión digital-analógica y filtros de polos múltiples, entre otras. Además de los recursos analógicos, el UAB posee un controlador de señales de CLK que permite controlar en tiempo real la conmutación de las llaves dispuestas en el circuito.

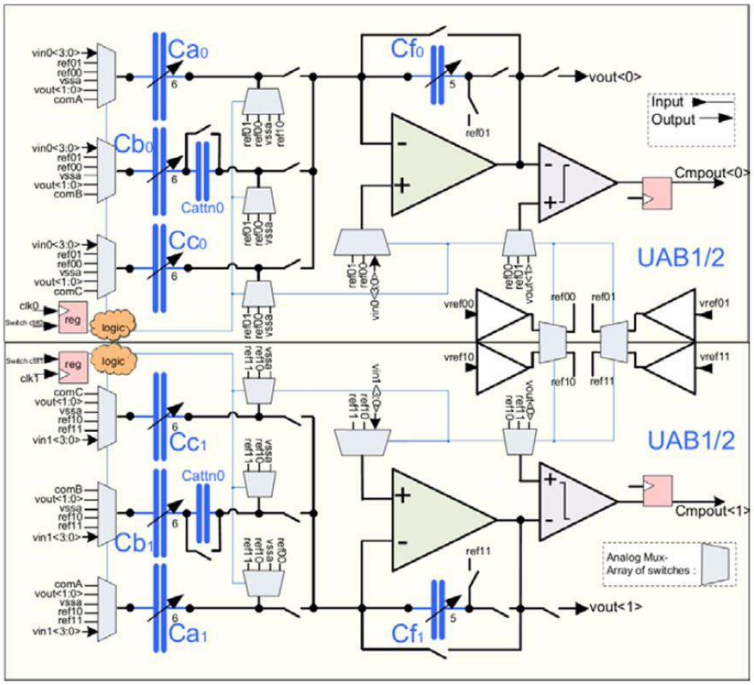


Fig. 2. Diagrama en bloques del *Universal Analog Block.* Reproducido de (Cypress Semiconductor. 2019)

Cada mitad del UAB es un integrador de capacidades conmutadas con tres ramas de entrada. Cada rama tiene un arreglo programable de capacitores (Ca0, Cb0, Cc0, Ca1, Cb1 y Cc1) que toman valores entre 50fF y 3150fF, con un paso de 50fF o un circuito abierto. Además, se dispone de un cuarto arreglo de capacitores en el lazo de realimentación del amplificador operacional (Cf0 y Cf1) que puede tomar valores entre 100fF y 3200fF, con un paso de 100fF. Las señales de control y de reloj requeridas por el UAB se generan desde el controlador del bloque. La velocidad máxima del reloj analógico es de 2MHz y se pueden configurar hasta 12 señales de sincronismo distintas, lo que permite crear señales no solapadas para comandar las llaves de los capacitores conmutados.

Filtro bajo test

Como fue mencionado antes, las dos mitades del bloque UAB pueden conectarse para implementar un filtro bicuadrático de capacidades conmutadas, con bajo offset y bajo ruido. La (Fig. 3) muestra el diagrama en bloque del filtro implementado, que corresponde al denominado Low-Q en (Temes G. C. 1988).

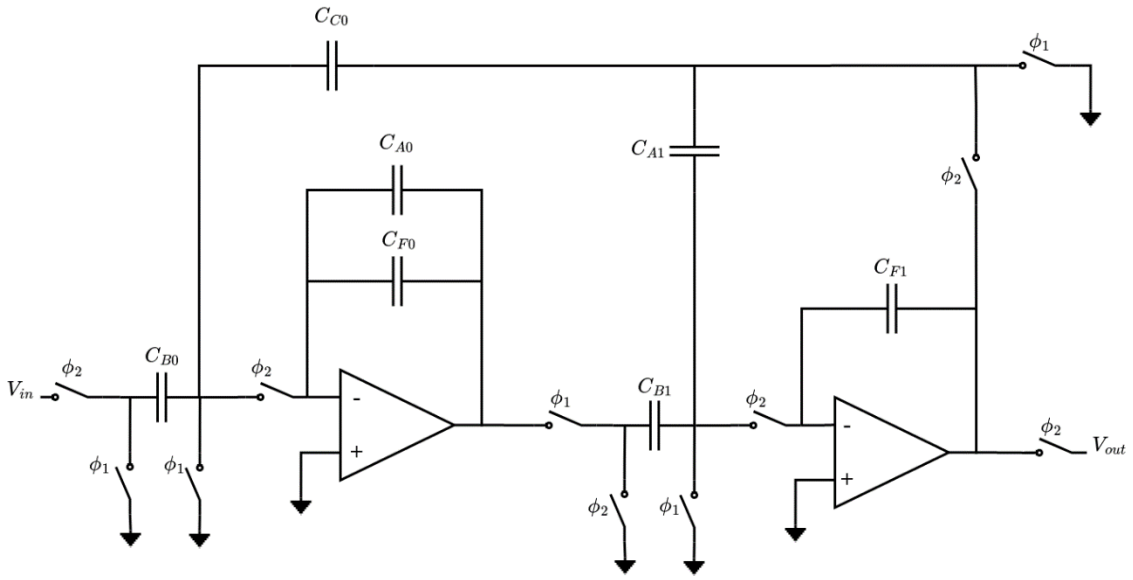


Fig. 3. Filtro bicuadrático Low-Q implementado en PSOC-AC.

La función de transferencia del filtro en el dominio discreto z es:

$$\frac{Vout(z)}{Vin(z)} = -\frac{C_{B1}C_{B0}z}{z^2(C_{A0}+C_{F0})(C_{F1}+C_{A1}) + z\big(C_{B1}C_{C0} + (C_{F0}C_{A0})(-2C_{F1}-C_{A1})\big) + (C_{A0}+C_{F0})C_{F1}} \quad (1)$$

Aplicando la transformada bilineal a (1), es posible llevar esta función al dominio continuo s como se muestra en (2), siendo f_s la frecuencia de muestreo.

$$\frac{V_{out(s)}}{V_{in(s)}} = -\frac{\frac{C_{B0}}{C_{C0}}\frac{C_{C0}C_{B1}}{(C_{A0}+C_{F0})(4C_{F1}+2C_{A1})-C_{B1}C_{C0}}4{f_s}^2}{s^2+s4f_s\left(\frac{C_{A1}(C_{A0}+C_{F0})}{(C_{A0}+C_{F0})(4C_{F1}+2C_{A1})-C_{B1}C_{C0}}\right)+4{f_s}^2\left(\frac{C_{C0}C_{B1}}{(C_{A0}+C_{F0})(4C_{F1}+2C_{A1})-C_{B1}C_{C0}}\right)} \quad (2)$$

En la expresión 3 se muestra la función de transferencia genérica del filtro. Por comparación con (2), se obtienen las especificaciones del filtro ganancia (K), frecuencia de polo (ω_n), factor de amortiguamiento (ξ), en función de las especificaciones. Estas se muestran en (4), (5) y (6) respectivamente.

$$\frac{Vout(s)}{Vin(s)} = \frac{K\ {\omega_n}^2}{s^2 + 2\,\xi\,\omega_n\,s + {\omega_n}^2} \quad (3)$$

$$K = -C_{B0}/C_{C0} \quad (4)$$

$$\omega_n = 2f_s\left(\frac{C_{C0}C_{B1}}{(C_{A0}+C_{F0})(4C_{F1}+2C_{A1}) - C_{B1}C_{C0}}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

$$\xi = \frac{C_{A1}(C_{A0}+C_{F0})}{[C_{C0}C_{B1}((C_{A0}+C_{F0})(4C_{F1}+2C_{A1}) - C_{B1}C_{C0})]^{\frac{1}{2}}} \quad (6)$$

En el entorno de diseño previsto por el fabricante, el usuario puede configurar tipo de filtro, frecuencia de corte, ganancia, frecuencia de muestreo de la señal de entrada, entre otros. Particularmente, en este trabajo adoptamos como caso de estudio un filtro pasa-bajo inversor, con frecuencia de corte de 10kHz, ganancia de 0dB y frecuencia de muestreo de 1Msps. Al seleccionar estas especificaciones en la herramienta de diseño provista por el fabricante, se obtienen los valores de capacidad mostrados en la Tabla 1. Reemplazando los valores de la tabla 1 en las expresiones (4) a (6), se obtiene $\omega_n = 65533$ rad/s, $K = -1$ y $\xi = 1{,}08$.

Tabla 1. Valores de los capacitores del filtro implementado

Capacitor	C_{A0}	C_{A1}	C_{B0}	C_{B1}	C_{C0}	C_{F0}	C_{F1}
Valor [fF]	2750	300	250	300	250	2800	3000

Estrategia de test

La idea básica del *test* es la de excitar el circuito con una señal de test simple (un escalón en esta propuesta), que es posible de ser generada con los subsistemas configurables analógicos *on chip*, reduciendo de esta forma la sobreasignación de recursos. Se considera como hipótesis de *test* que una falla en el circuito impactará en la respuesta transitoria, haciéndola observable. Posteriormente, un clasificador de tipo red neuronal distingue entre comportamientos con fallas y sin fallas a partir de la respuesta transitoria, considerada como una serie temporal. Debe mencionarse que la hipótesis de *test* debe ser probada mediante procedimientos de validación, los que serán presentados en las secciones subsiguientes.

Consideramos un sistema embebido como el que se muestra en la (Fig. 4), el cual cuenta con un procesador principal con un poder de cómputo superior al del PSOC-AC. Un caso ejemplo podría ser la computadora de bajo costo Raspberry pi, con un ARM Cortex-A72, procesador de 64 bits, cuatro núcleos, que trabaja a una frecuencia de 1.5 GHz y que cuenta con 1MB de caché compartida (Raspberry Pi Ltd. 2023). Como se menciona en la sección anterior, el PSOC-AC cuenta con un procesador de un único núcleo de 32 bits, que trabaja a una frecuencia de 48MHz, con 32KB de flash y 4KB de SRAM, sin unidad de punto flotante dedicada. Ejecutar una red neuronal en un procesador de este tipo no es viable debido a la latencia con la que contaría el *test* y por la limitada capacidad de memoria con la que cuenta.

En la fase operativa de *test*, el procesador principal inicia el proceso de *test*, comunicándose con el procesador del PSOC-AC, que deberá reconfigurar sus secciones analógicas para generar el escalón de entrada al filtro. La respuesta del filtro será digitalizada mediante un conversor A/D. El microprocesador la enviará al procesador principal en donde corre la red neuronal que evaluará la existencia o no de falla.

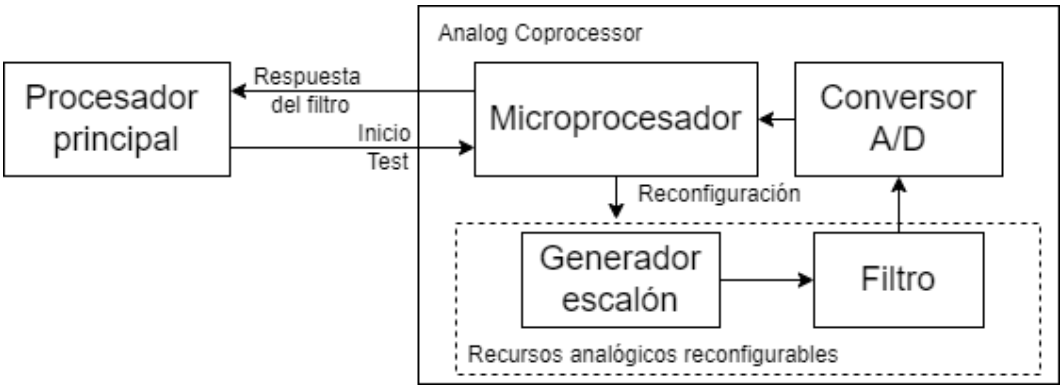


Fig. 4. Diagrama del sistema embebido utilizado.

Estrategia de validación de la propuesta de test

Se considera que el filtro falla cuando alguna de las capacidades se desvía un determinado porcentaje respecto a su valor nominal. En este caso, se pretende detectar variaciones superiores al 1% del valor nominal en cualquiera de los capacitores que conforman el filtro, considerando que los capacitores fallan de a uno por vez (falla única).

Como se expresó antes, se propone un estímulo en escalón para excitar al circuito en modo test. Para demostrar la viabilidad de obtener este estímulo *on chip*, la (Fig. 5) muestra el escalón de entrada al filtro (en negro) y la respuesta del mismo (en azul) medidas en el dispositivo PSOC-AC configurado con las capacidades de la Tabla 1. Dichas respuestas han sido obtenidas utilizando el ADC *on chip* de PSOC-AC.

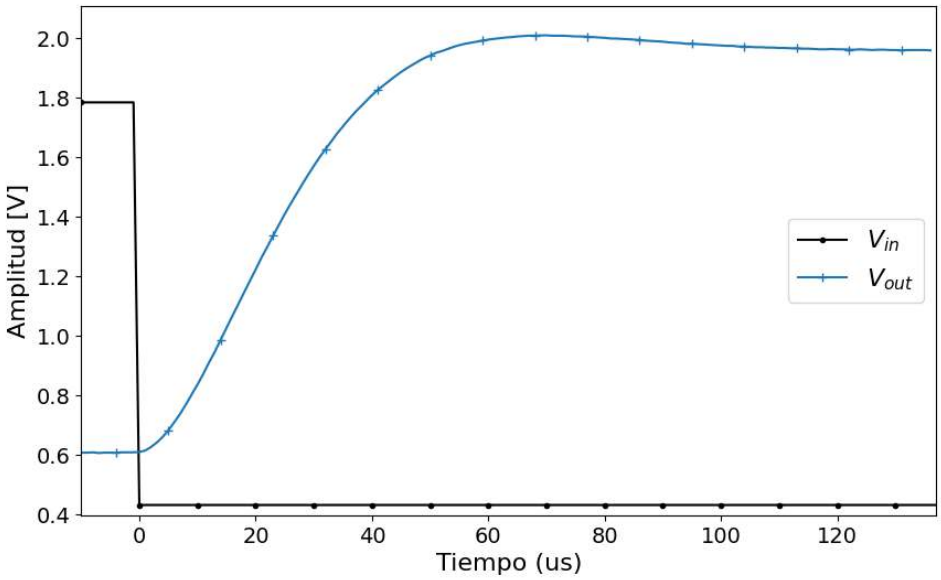
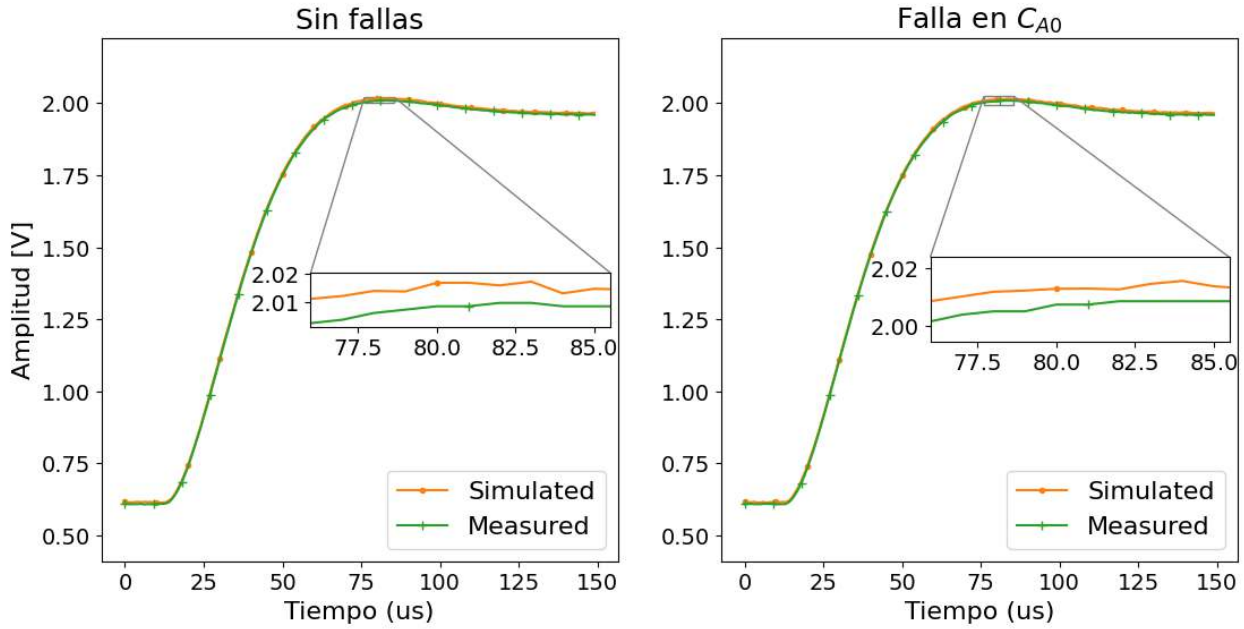


Fig. 5. Respuesta al escalón del filtro bajo test.

Para demostrar la hipótesis planteada, se propone un enfoque basado en los ampliamente conocidos procedimientos de inyección y simulación de fallas. Estos métodos son ampliamente tratados en la literatura (Mourad S. et al. 2000). Se adopta para las campañas de inyección y simulación de fallas un modelo a nivel función de transferencia. De esta forma, con propósitos de simulación simplemente se debe considerar (3) para Vin siendo una entrada en escalón. La inyección de fallas se realiza desviando los valores de capacitores en esta expresión.

La primera validación que debe efectuarse es sobre la capacidad del modelo para emular la respuesta real del filtro, tanto bajo condición libre de fallas como con fallas. Si bien esto se realizó para un conjunto amplio de fallas, por razones de espacio solo se muestran dos respuestas. En la (Fig. 6) se muestra una comparación entre la respuesta del filtro simulada y medida para la condición libre de fallas (Fig. 6-a) y con una falla (Fig. 6-b) a modo de ejemplo de desviación en el capacitor C_{A0}. Como puede verse, la aproximación mediante el modelo de simulación es muy buena. Mayores detalles se muestran en (Vodanovic G. et al. 2022).



a) Sin fallas b) Falla en C_{A0}

Fig. 6. Comparación entre las respuestas del filtro medida y simulada.

Selección de la red neuronal, entrenamiento y validación

Dado que la simulación de la función de transferencia modela con precisión el filtro implementado en el PSOC-AC, se utiliza para generar las señales tanto para el entrenamiento como para la evaluación de la red neuronal. La inyección de fallas se realiza modificando el valor de capacidad de uno de los capacitores antes de obtener la respuesta.

Al considerar la respuesta del filtro como una serie temporal, es posible detectar fallas mediante un algoritmo de clasificación. En este caso, se propone utilizar una red neuronal convolucional de 3 capas convolucionales (Conv1D) y una capa densa (*Dense*). En la (Fig. 7) se muestran los detalles del modelo. La función de activación utilizada es ReLU (*Rectified Linear Unit*), luego de cada capa convolucional se agrega una de normalización (*Batch Normalization*) que ayuda a que el proceso de entrenamiento sea más estable. Finalmente, la última capa (*Dense* en Fig. 7) es un clasificador *softmax.* En total el modelo cuenta con 1865 parámetros (7KB aproximadamente).

En los clasificadores basados en redes neuronales, el entrenamiento es el proceso más costoso en términos computacionales. Por esta razón, se lleva a cabo en una computadora personal equipada con un procesador Intel i9-12900K y 32 GB de RAM. En este *hardware*, el entrenamiento se completa en unos pocos segundos debido al tamaño de la red, lo que elimina la necesidad de utilizar hardware dedicado o GPUs. Una vez entrenada, la red puede ejecutarse en el procesador principal (Fig. 4) sin que sea necesario realizar el entrenamiento en el sistema embebido.

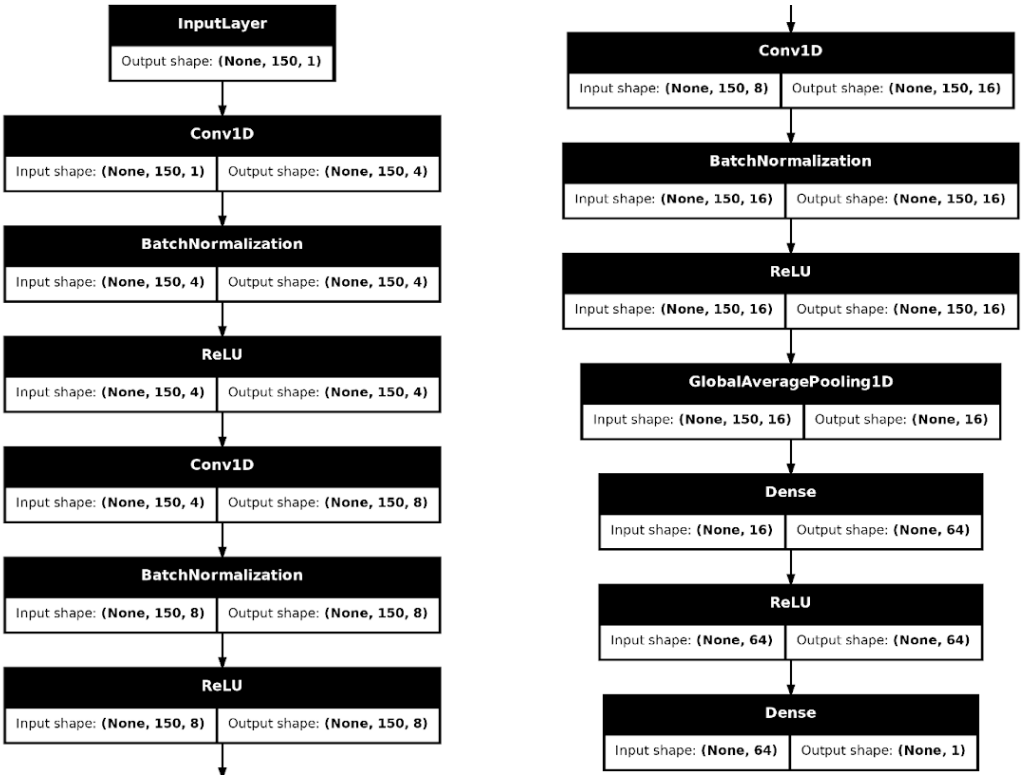


Fig. 7. Detalles de la red neuronal utilizada.

Se construye un conjunto de datos simulados con dos clases: con y sin fallas tanto para el entrenamiento como para la evaluación. En la (Fig. 8) se muestra un diagrama de este proceso, considerando a N la cantidad de señales por cada falla que se generan. En la clase con fallas, se utilizarán señales con desviaciones en el rango de -5% a 5% del valor nominal, con un paso de 1% para cada uno de los capacitores. Dado que hay 7 capacitores y 10 valores de falla para cada uno, esto resulta en un total de 140 señales con fallas. A las señales obtenidas de la simulación se les aplica un aumento de datos mediante la adición de ruido gaussiano con características similares al ruido real ya caracterizado, generando 20 (N) señales adicionales a partir de cada una de las originales y obteniéndose así un conjunto de datos con un total de 1400 señales. A estas se suman otras 1400 que se generan a partir de agregarle el mismo tipo de ruido gaussiano a la señal sin fallas, así se cuenta con datos de 2800 señales balanceadas entre clases. Este *dataset* es dividido en entrenamiento (80%) y evaluación (20%) en forma aleatoria.

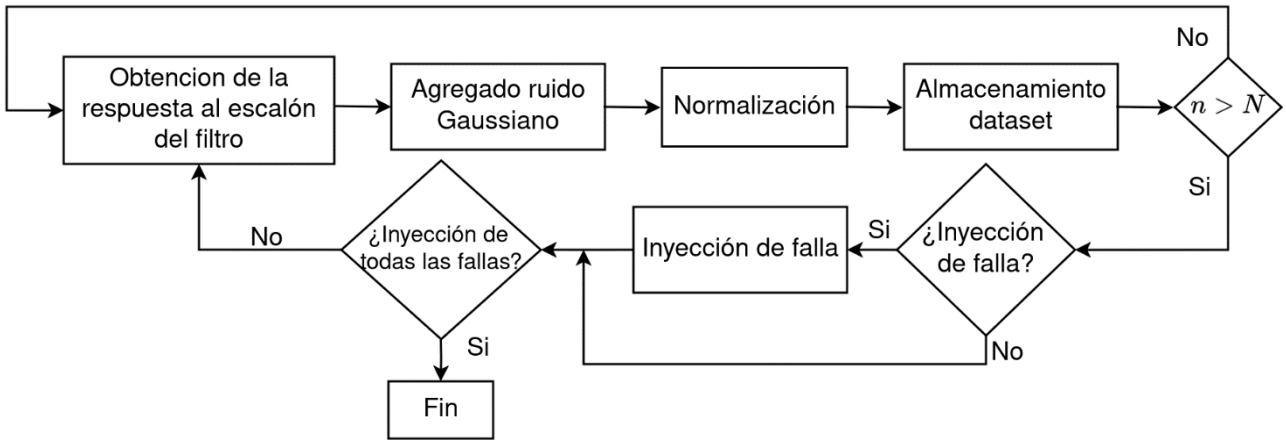


Fig. 8. Proceso de generación del conjunto de datos

Dado que el objetivo es correr el proceso de *test* en un sistema embebido, es deseable que no sea necesario utilizar preprocesos computacionalmente costos, por esto, únicamente se aplica una estandarización, la cual se basa en obtener la media (μ) y la desviación estándar (σ) del

conjunto de datos (obtenidos una única vez en el entrenamiento), luego para cada señal (x) se computa la señal estandarizada (X_Z) como:

$$X_Z = \frac{x - \mu}{\sigma} \tag{7}$$

Dado que el coprocesador analógico cuenta con un procesador principal, resulta interesante analizar si no es conveniente que la estrategia de *test* este incluida en el mismo dispositivo. Considerando que el poder de cómputo incluido en el PSOC-AC es muy modesto, no es posible implementar estrategias de detección como la propuesta. Sin embargo, es posible implementar mediciones de distancia como la euclidiana cuadrática, aunque esto se reportará en trabajos futuros, se utilizarán los resultados obtenidos con el objeto de comparar las estrategias. Se utiliza también el desempeño de DTW, en ambos casos se utiliza la distancia como medida de similitud entre la medición y una señal patrón sin fallas, luego se determina la existencia o no de fallas a partir de la menor distancia.

Resultados

De las 2800 señales generadas, 2240 se utilizaron para el entrenamiento y 560 para la evaluación. De este último conjunto, únicamente una señal fue incorrectamente clasificada como se muestra en la matriz de confusión de la (Fig. 9). Considerando que la exactitud es la proporción de datos clasificados correctamente respecto al total, esta es de 99.82% y la cobertura de fallas como la cantidad de señales con fallas clasificadas como tal, es de 99.61%.

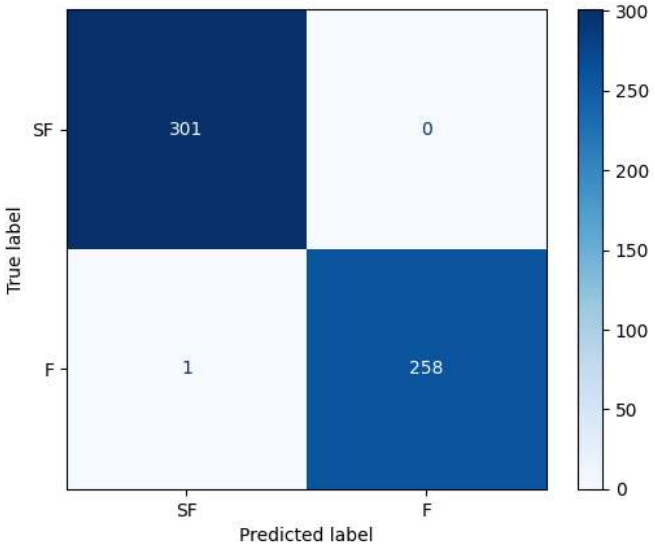


Fig. 9. Matriz de confusión

Una métrica que resulta interesante para comparar el desempeño de las tres estrategias es la desviación mínima detectada, es decir, la variación mínima respecto al valor nominal de capacidad a partir del cual los distintos métodos pueden detectarla. En la Tabla 2 se compara distancia euclidiana cuadrática (ED2), *Dynamic Time Warping* (DTW) y la red neuronal propuesta (CNN).

Tabla 2: Comparación de desviación mínima detectada

	C_{A0}	C_{A1}	C_{B0}	C_{B1}	C_{C0}	C_{F0}	C_{F1}
ED2	[-3; 2]	±2	±1	[-1; 2]	±1	[-3; 2]	[-4; 3]
DTW	±2	[-2; 1]	±1	±1	±1	±2	[-4; 2]
CNN	±1	±1	±1	±1	±1	±1	[-2; 1]

Como puede verse, la red neuronal propuesta es considerablemente superior a ambos métodos de detección propuestos, llegando a detectar variaciones del 1% (positivas y negativas) en todos los capacitores excepto en C_{F1}, donde detecta a partir del 1% positivo y 2% negativo.

Conclusiones

En este trabajo se explora la aplicación de una estrategia BIST basada en redes neuronales para la detección de desviaciones en los valores de los capacitores de un filtro de capacidades conmutadas. Este filtro se implementa en un coprocesador analógico que forma parte de un sistema embebido, que cuenta con un procesador de mayor potencia de cálculo y permite la ejecución de algoritmos más complejos. Los resultados demuestran que se logran detectar las fallas con una exactitud del 99.82% en el conjunto de datos evaluado. Además, se analizó la desviación mínima que es posible detectar y se comparó con otras estrategias menos exigentes en términos de procesamiento, que pueden operar directamente en el coprocesador analógico. Los resultados muestran una mejora significativa en la capacidad de detección al trasladar el cómputo al procesador principal del sistema embebido, detectándose fallas del 1% en todos los capacitores, excepto en C_{F1}, donde detecta a partir del 1% positivo y 2% negativo.

Referencias

Anadigm, Inc. (2003). AN220E04 Datasheet - Dynamically Reconfigurable FPAA.

Azam, S., Dall'Ora, N., Fraccaroli, E., Gillon, R., y Fummi, F. (2023). Analog defect injection and fault simulation techniques: A systematic literature review. IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems.

Balen, T. R., Andrade, A. Q., AzaÏs, F., Lubaszewski, M., y Renovell, M. (2005). Applying the oscillation test strategy to FPAA's configurable analog blocks. *Journal of Electronic Testing*, *21*, 135-146.

Balen, T. R., Calvano, J. V., Lubaszewski, M. S., y Renovell, M. (2007). Built-in self-test of field programmable analog arrays based on transient response analysis. *Journal of Electronic Testing*, *23*, 497-512.

Cypress Semiconductor. (2015). PSoC® 5LP: CY8C58LP. Family Datasheet. Prod. Cypress Semiconductor.

Cypress Semiconductor. (2019) CY8C4Axx PSoC® Analog Coprocessor Architecture - Technical Reference Manual (TRM).

Dri, E. A., Peretti, G. M., y Romero, E. A. (2020). A low-cost test strategy based on transient response method for embedded reconfigurable filters. *International Journal of Electronics*, *108*(4), 664-683.

Dri, E., Peretti, G., y Romero, E. (2021). Fault detection in configurable switched-capacitor filters using transient analysis and dynamic time warping. *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, *108*(2), 291-304.

Dri, E., Peretti, G., y Romero, E. (2022). A built-in self-test for analog reconfigurable filters implemented in a mixed-signal configurable processor. *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, *112*(2), 355-365.

Feitoza, R. S., Barragan, M. J., Dzahini, D., y Mir, S. (2019). Reduced-Code Static Linearity Test of Split-Capacitor SAR ADCs Using an Embedded Incremental ΣΔ Converter. *IEEE Transactions on Device and Materials Reliability*, *19*(1), 37-45.

Kim, B., y Abraham, J. A. (2018). Spectral leakage-driven loopback scheme for prediction of mixed-signal circuit specifications. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, *66*(1), 586-594.

Lattice Semiconductor Corporation. (2000). ispPAC Handbook, Programmable Analog Circuits.

Miller, J. D. (2019). *Automotive system safety: Critical considerations for engineering and effective management*. John Wiley & Sons.

Mourad, S., & Zorian, Y. (2000). *Principles of testing electronic systems*. John Wiley & Sons.

Murphy, R., y Family, A. P. (2012). Getting Started with PSoC 1. Cypress Semiconductor.
Pavlidis, A., Louërat, M. M., Faehn, E., Kumar, A., y Stratigopoulos, H. G. (2021). SymBIST: Symmetry-based analog and mixed-signal built-in self-test for functional safety. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, *68*(6), 2580-2593.
Raspberry Pi Ltd. (2023). Raspberry Pi Compute Module 4
Ross, H. L. (2016). *Why Functional Safety in Road Vehicles?* (pp. 7-39). Springer International Publishing.
Shi, C., Lee, S., Aguilar, S. S., y Sánchez-Sinencio, E. (2018). A time-domain digital-intensive built-in tester for analog circuits. *Journal of Electronic Testing*, *34*, 313-320.
Temes, G. C. (1988). Analog MOS integrated circuits (No. NAS 1.26: 182999).
Vodanovic, G., Vélez Ibarra, M., Laprovitta, A., Peretti, G., Romero, E. (2022) Un estudio experimental sobre test de fallas de desviación en un coprocesador analógico. IDETEC 2022. Pag 331.

DIAGNÓSTICO DE FALLAS EN FILTROS DE CAPACIDADES CONMUTADAS USANDO UN ALGORITMO EVOLUTIVO: UN CASO DE ESTUDIO

Mónica A. Lovay[1], Gabriela M. Peretti[1,2], Eduardo A. Romero[1,2]

[1]Grupo de Estudio en Calidad en Mecatrónica, Facultad Regional Villa María, Universidad Tecnológica Nacional, Av. Universidad 450, 5900, Villa María, Argentina
[2]Grupo de Desarrollo Electrónico e Instrumental, Facultad de Matemática, Astronomía y Física, Universidad Nacional de Córdoba, Av. Medina Allende, 5000 Córdoba, Argentina
mlovay@gmail.com

Resumen

Este trabajo propone un esquema basado en un Algoritmo Evolutivo (EA, *Evolutionary Algorithm*) para diagnosticar fallas en filtros de capacidades conmutadas de segundo orden, embebidos en el microcontrolador reconfigurable PSoc1. Se adoptan fallas de desviación única, en particular, fallas de desviación incipientes (10%-30%). Las mismas pueden causar una degradación leve en el desempeño del sistema, por lo que son las más difíciles de detectar y diagnosticar. La estrategia propuesta se basa en la medición de la respuesta del filtro para diagnosticar el componente defectuoso. El diagnóstico se mapea a un problema de optimización que se resuelve mediante el algoritmo PSO (*Particle Swarm Optimization*). El objetivo es minimizar la diferencia entre la respuesta con falla y la respuesta de cada individuo simulada por el algoritmo usando la función de transferencia del filtro, donde cada individuo representa una combinación de valores para los capacitores. PSO retorna como solución la combinación de valores de capacitores que más se acerca a la del filtro con fallas, posibilitando establecer el capacitor que falla. El desempeño de este esquema es analizado para un caso de estudio, evaluando su capacidad para diagnosticar diferentes desviaciones. Los resultados preliminares obtenidos muestran que es posible detectar el componente que presenta fallas con una tasa de éxito de 99% para las fallas incipientes consideradas.

Palabras Clave: Filtros de Capacidades Conmutadas, Algoritmos Evolutivos, Diagnóstico de Fallas.

1. Introducción

Los procesadores reconfigurables PSoC1 de *Infineon* representan una solución versátil en la integración de microcontroladores y periféricos analógicos y digitales programables. Diseñados para aplicaciones embebidas, combinan un núcleo de microcontrolador con una variedad de recursos de hardware configurables que pueden ser adaptados para implementar diversos circuitos analógicos y digitales (Ashby, 2005; Doboli & Currie, 2011). Entre estos, los filtros de capacidades conmutadas (SC, *switched capacitor*) son especialmente importantes debido a su capacidad para realizar filtrado analógico preciso y ajustable en una amplia gama de sistemas electrónicos. Son esenciales en aplicaciones que requieren un procesamiento de señal robusto y adaptable, como comunicaciones, procesamiento de audio, y sistemas de control.

Cuando se requiere mantener la fiabilidad y el rendimiento de estos sistemas electrónicos se recurre al diagnóstico de fallas. Los circuitos analógicos son los más desafiantes para este proceso, debido a la naturaleza continua de las señales analógicas y la alta sensibilidad de los mismos a variaciones en los valores de los componentes, sumado a que, si bien representan una pequeña área del circuito, son los más propensos a fallar (E. A. Dri et al., 2023).

Los tipos de fallas más comunes que pueden afectar a los circuitos analógicos son las fallas de desviación simple (también conocidas como fallas *soft*) (Gao et al., 2021; C. Yang et al., 2019; H. Yang et al., 2020). De estas, las fallas incipientes son un subconjunto en las que la desviación del componente afectado (normalmente dentro del rango [10%-30%]) no es suficiente para causar una

degradación significativa en el rendimiento del sistema. Estas fallas son las más difíciles de detectar y diagnosticar.

Algunos autores han propuesto enfoques basados en optimización para diagnosticar fallas de desviación simple. Los mismos se centran en identificar fallas en los componentes usando algoritmos evolutivos (EA, *Evolutionary Algorithms*). En (C. Yang et al., 2019) se propone un método para diagnosticar fallas usando algoritmos genéticos (GA, *Genetic Algorithms*), adoptando como casos de estudio un filtro Tow-Thomas y un filtro Leapfrog. Por otro lado, estos mismos filtros son considerados en (C. Yang, 2020, 2021), donde se usa GA para determinar el rango de valores de un componente que puede provocar una determinada falla en los mismos. En (Nedjah et al., 2023) se explora la aplicabilidad de optimización por enjambre de partículas (PSO, *Particle Swarm Optimization*) y el algoritmo de murciélago (BA, *Bat Algorithm*) para determinar el componente con fallas en un filtro Tow-Thomas y un filtro Butterworth. GA es utilizado en (Karthi et al., 2014) para diseñar un filtro Sallen Key y también para diagnosticar una falla a nivel de componentes agrupados en módulos. En (Yu et al., 2016) se plantea la identificación de una falla mediante el cálculo de sensibilidades de orden superior de voltajes de los nodos, empleando PSO para resolver las ecuaciones multivariables no lineales.

En este trabajo se propone un esquema de diagnóstico de fallas basado en PSO para filtros SC configurados en PSoC1. Se consideran fallas de desviación simples en los capacitores, particularmente, fallas incipientes. La estrategia propuesta utiliza la respuesta del filtro con fallas para diagnosticar el componente defectuoso. El objetivo de PSO es encontrar el capacitor que podría presentar una falla comparando esta respuesta con las respuestas obtenidas por el algoritmo a partir de la función de transferencia del filtro. Con el propósito de comprobar la viabilidad del esquema, se propone su aplicación en un filtro SC pasabajo adoptado como caso de estudio.

2. Materiales y métodos

2.1. Filtro adoptado

PSoC1 es una plataforma de sistema en chip de señales mixtas, que cuenta con recursos tales como un procesador de 8 bits, memorias flash y SRAM, interfaces de comunicación embebidos, entre otros. También ofrece bloques configurables analógicos y digitales y rutas de interconexión configurables por el usuario. La plataforma proporciona dos tipos de circuitos configurables analógicos, de tiempo continuo (CT, *Continous Time*) y de capacidades conmutadas (SC, *Switched Capacitor)* (PSoC® Programmable System-on-ChipTM Datasheet, 2017).

El filtro adoptado como caso de estudio se configura mediante la interconexión de dos bloques SC del chip. La Fig. 1 muestra un diagrama esquemático del mismo. En la figura, φ1 y φ2 son señales de reloj no solapadas de frecuencia fs (frecuencia de muestreo). Los capacitores internamente corresponden a arreglos de capacitores programables, cuyo valor mínimo es 80fF. C1 a C4 pueden asumir valores entre 0 y 31 veces el valor mínimo, mientras que CA y CB pueden adoptar los múltiplos 16 y 32 del valor mínimo.

En las tablas 1 y 2 se presentan las especificaciones y valores de componentes del filtro considerado.

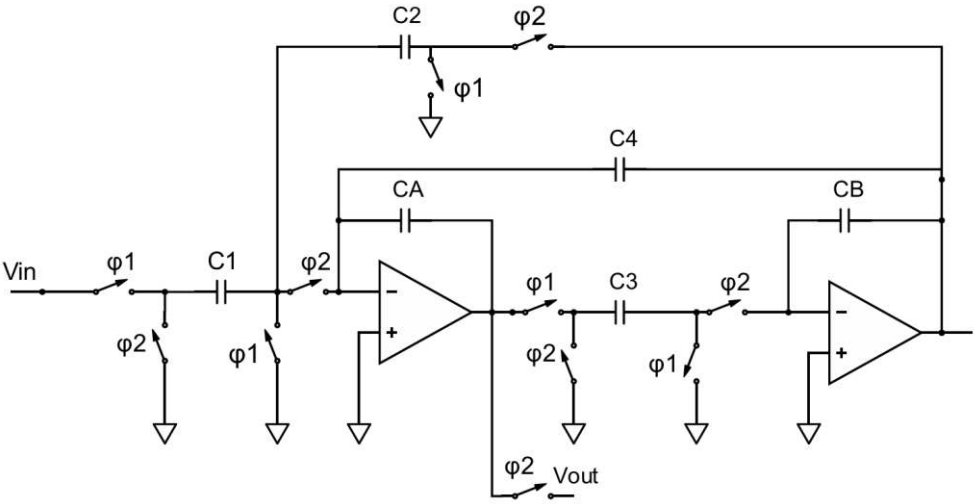


Fig. 1. Filtro SC adoptado

Tabla 1. Especificaciones del filtro

Característica	Valor
Frecuencia de cruce de 0dB (Hz)	1990,0
Frecuencia -3dB (Hz)	2552,5
Rizado en la banda de paso (V/V)	1,14
Ganancia DC (V/V)	1,0
Frecuencia angular ωp (rad/s)	12685
Factor de calidad Qp	0,98
Frecuencia de muestreo (fs) [KHz]	200

Tabla 2. Parámetros de diseño del filtro. Los valores de los capacitores son múltiplos del valor mínimo (80 fF)

Parámetro	C1	C2	C3	C4	CA	CB	fs
Valor	1	1	4	16	32	32	200KHz

Si bien la dinámica de este filtro es de tiempo discreto, para frecuencias de operación menores a fs, se lo puede aproximar a un sistema de tiempo continuo, cuya función de transferencia está dada por (1) (Two-Pole Low-Pass Filter Datasheet LPF2, V 4.10, Cypress Semiconductor, 2013).

$$H_{BP}(s) = \frac{-\frac{C_1 C_B}{C_2 C_3}\frac{\frac{s}{fs}\left(1+\left(\frac{s}{2\cdot fs}\right)^2\right)fs^2}{\frac{C_A C_B}{C_2 C_3}-\frac{1}{4}-\frac{1}{2}\frac{C_4}{C_2}}}{s^2+\frac{C_4}{C_2}\cdot\frac{sfs}{\frac{C_A C_B}{C_2 C_3}-\frac{1}{4}-\frac{1}{2}\frac{C_4}{C_2}}+\frac{fs^2}{\frac{C_A C_B}{C_2 C_3}-\frac{1}{4}-\frac{1}{2}\frac{C_4}{C_2}}} \quad (1)$$

2.2. Diagnóstico de fallas basado en PSO

2.2.1. Esquema propuesto

El esquema de diagnóstico propuesto requiere que una estrategia de test haya previamente detectado la existencia de una falla. Ejemplos de estrategias de test propuestas en la literatura para filtros de capacidades conmutadas pueden encontrarse en (E. Dri et al., 2021; E. A. Dri et al., 2020).

Luego de detectar que el filtro tiene fallas, el diagnóstico determina el capacitor que presenta la falla. Este esquema, basado en PSO (Fig. 2), asume que se dispone de la respuesta *E* al escalón del filtro con falla. El propósito de PSO es encontrar el conjunto de valores capacitores que permitan que el filtro presente una respuesta al escalón tan parecida a *E* como sea posible. PSO emplea la función de transferencia (ecuación (1)) expresada a partir de los componentes del filtro, para simular la respuesta del filtro.

La función *fitness f(X)* a minimizar por PSO considera la distancia Euclidiana entre ambas respuestas. Es decir:

$$f(X) = Distancia\ Euclideana\ (R(X) - E) \tag{2}$$

En (2), X=[C1, C2, C3, C4, CA, CB], mientras que R(X) es el término que representa la respuesta al escalón del filtro. Este se obtiene considerando una entrada en escalón y (1), para un conjunto de valores X, es decir:

$$R(X) = Step(H_{BP}(X)) \tag{3}$$

El proceso de optimización realizado por PSO arroja como resultado un vector X* que se compone de los valores de los capacitores que minimizan (2). En este vector, los valores de los capacitores varían dentro de su rango de tolerancia a excepción de uno de ellos que presentará una variación mayor, indicando que se trata del componente que tiene la falla. Esto es así debido a la particular forma de implementar las poblaciones, como se verá en la sección siguiente.

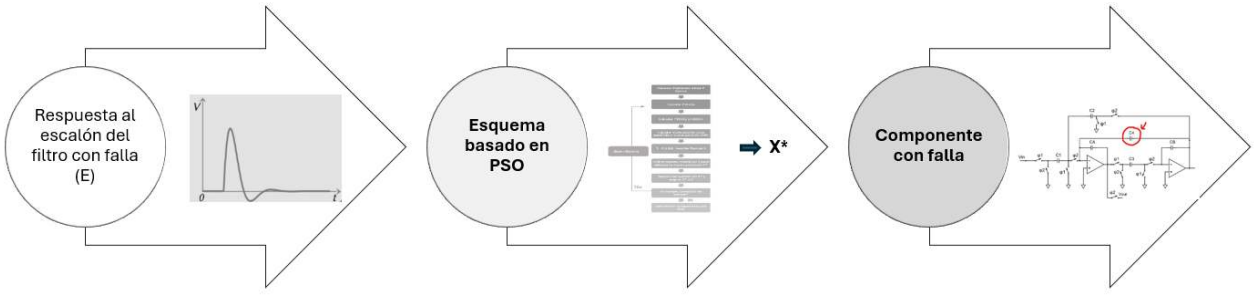


Fig. 2. Esquema de diagnóstico de fallas propuesto

Teniendo en cuenta el comportamiento de las fallas que pueden ocurrir en los capacitores que implementan los circuitos SC (E. A. Dri et al., 2023) asumimos en este trabajo que las desviaciones ocurren en un solo sentido, siendo negativas en nuestro caso. Por otro lado, los componentes sin falla varían en un valor de tolerancia dado por el *mismatch*, de 2%(E. A. Dri et al., 2023).

2.2.2. Aplicación de PSO

PSO es una técnica de optimización que pertenece a la categoría de algoritmos de inteligencia de enjambres. Se inspira en el comportamiento colectivo observado en la naturaleza, como las bandadas de aves y los bancos de peces, donde individuos simples interactúan entre sí para lograr un objetivo común (Lovay et al., 2016a; Slowik, 2020; Yu X. & Gen M., 2010).

PSO utiliza una población de partículas, cada una representando una posible solución al problema de optimización. Estas partículas se mueven a través del espacio de soluciones siguiendo reglas simples, ajustando sus posiciones y velocidades basándose en su experiencia personal y la experiencia del enjambre. Una característica particular de este algoritmo es su capacidad para combinar la exploración del espacio de búsqueda con la explotación de las mejores soluciones encontradas. Por otro lado, es un algoritmo simple que necesita del ajuste de pocos parámetros, lo que justifica su aplicación en una amplia gama de problemas de optimización.

En la Fig. 3 se muestra un diagrama de flujo con las principales operaciones realizadas por el algoritmo PSO desarrollado. Debe mencionarse que, debido a la naturaleza del problema, se han realizado modificaciones que apartan el algoritmo desarrollado de las implementaciones convencionales. Las operaciones se describen a continuación.

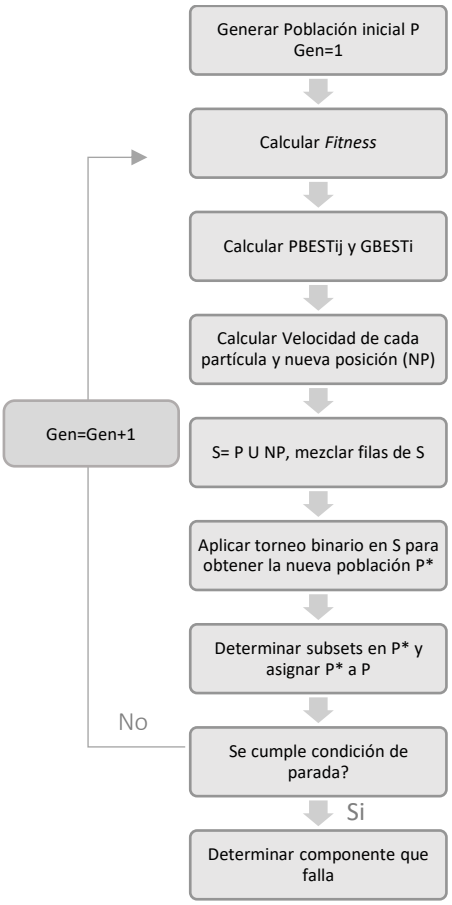


Fig. 3. Principales operaciones realizadas por PSO

- *Generar Población inicial P*. Se parte de N partículas agrupadas en tantos subsets como capacitores posea el filtro.

  En este caso de estudio se necesitan 6 subsets de tamaño k=N/6. En la Fig. 4 se muestra la estructura de P. Cada vector X_{ij} = [$C1_{ij}$, $C2_{ij}$, $C3_{ij}$, $C4_{ij}$, CA_{ij}, CB_{ij}] representa la posición de la partícula j en el subset i de la población P. En cada subset se asume una falla incipiente en uno de los capacitores (sombreado en gris en la Fig. 4).
  Por ejemplo, el Subset 1 considera que el capacitor C1 es el que falla por lo que su valor es un número real que puede variar en el intervalo [(1-alfa)*ValorNominal; ValorNominal], siendo alfa el valor de desviación, mientras que los demás capacitores varían en su rango de tolerancia.

Por otro lado, el Subset 2 considera que el capacitor C2 es el que falla mientras los restantes están dentro de sus tolerancias. Esto se repite en el resto de los subsets y capacitores del filtro.

Subset 1	$C1_{11}$	$C2_{11}$	$C3_{11}$	$C4_{11}$	CA_{11}	CB_{11}	X_{11}
	$C1_{12}$	$C2_{12}$	$C3_{12}$	$C4_{12}$	CA_{12}	CB_{12}	X_{12}
	…	…	…	…	…	…	…
	$C1_{1k}$	$C2_{1k}$	$C3_{1k}$	$C4_{1k}$	CA_{1k}	CB_{1k}	X_{1k}
Subset 2	$C1_{21}$	$C2_{21}$	$C3_{21}$	$C4_{21}$	CA_{21}	CB_{21}	X_{21}
	$C1_{22}$	$C2_{22}$	$C3_{22}$	$C4_{22}$	CA_{22}	CB_{22}	X_{22}
	…	…	…	…	…	…	…
	$C1_{2k}$	$C2_{2k}$	$C3_{2k}$	$C4_{2k}$	CA_{2k}	CB_{2k}	X_{2k}
Subset 3	$C1_{31}$	$C2_{31}$	$C3_{31}$	$C4_{31}$	CA_{31}	CB_{31}	X_{31}
	$C1_{32}$	$C2_{32}$	$C3_{32}$	$C4_{32}$	CA_{32}	CB_{32}	X_{32}
	…	…	…	…	…	…	…
	$C1_{3k}$	$C2_{3k}$	$C3_{3k}$	$C4_{3k}$	CA_{3k}	CB_{3k}	X_{3k}
Subset 4	$C1_{31}$	$C2_{31}$	$C3_{31}$	$C4_{31}$	CA_{31}	CB_{31}	X_{41}
	$C1_{32}$	$C2_{32}$	$C3_{32}$	$C4_{32}$	CA_{32}	CB_{32}	X_{42}
	…	…	…	…	…	…	…
	$C1_{3k}$	$C2_{3k}$	$C3_{3k}$	$C4_{3k}$	CA_{3k}	CB_{3k}	X_{4k}
Subset 5	$C1_{31}$	$C2_{31}$	$C3_{31}$	$C4_{31}$	CA_{31}	CB_{31}	X_{51}
	$C1_{32}$	$C2_{32}$	$C3_{32}$	$C4_{32}$	CA_{32}	CB_{32}	X_{52}
	…	…	…	…	…	…	…
	$C1_{3k}$	$C2_{3k}$	$C3_{3k}$	$C4_{3k}$	CA_{3k}	CB_{3k}	X_{5k}
Subset 6	$C1_{31}$	$C2_{31}$	$C3_{31}$	$C4_{31}$	CA_{31}	CB_{31}	X_{61}
	$C1_{32}$	$C2_{32}$	$C3_{32}$	$C4_{32}$	CA_{32}	CB_{32}	X_{62}
	…	…	…	…	…	…	…
	$C1_{3k}$	$C2_{3k}$	$C3_{3k}$	$C4_{3k}$	CA_{3k}	CB_{3k}	X_{6k}

Fig. 4. Población inicial P conformada por 6 subsets de k partículas cada uno. En gris se señala el capacitor que presenta falla de desviación dentro del subset.

- Calcular *Fitness* de cada partícula X_{ij} usando (2).

- Calcular para cada partícula el valor de *PBEST* que es la mejor posición alcanzada por cada una hasta el momento (se considera el mejor *fitness* obtenido por esa partícula hasta la generación actual). Por otro lado, el valor de *GBEST* se calcula para cada subset (se tiene en cuenta el mejor *fitness* alcanzado considerando todas las partículas de ese subset).

- Calcular la velocidad de cada partícula (v_{ij}^{Gen+1}) teniendo en cuenta su valor de *PBEST* y el valor de *GBEST* correspondiente al subset al que pertenece cada una, mediante (4).

$$v_{ij}^{Gen+1} = \phi\, v_{ij}^{Gen} + c_1 r_1 \left(PBEST_{ij}^{Gen} - X_{ij}\right) + c_2 r_2 \left(GBEST_i^{Gen} - X_{ij}\right) \quad (4)$$

  En (4), ϕ es la masa inercial, c_1 y c_2 son constantes positivas conocidas como coeficientes de aceleración, que determinan la influencia relativa de $PBEST_{ij}^{Gen}$ y $GBEST_i^{Gen}$, respectivamente, en el cálculo de la velocidad de cada partícula. Por otro lado, r_1 y r_2 son variables aleatorias independientes distribuidas uniformemente en el rango (0,1).

- Calcular las nuevas posiciones para cada partícula usando (5) y almacenarlas en NP. El cálculo se efectúa controlando que los valores alcanzados estén contenidos dentro de los intervalos establecidos para cada componente en cada subset. Luego, almacenar en S la unión de N y NP, y mezclar aleatoriamente sus filas. S es una matriz de 2*N filas.

$$X_{ij}^{Gen+1} = X_{ij}^{Gen} + v_{ij}^{Gen+1} \quad (5)$$

- Aplicar selección por torneo binario sobre S, recorriéndola desde el principio y comparando el *fitness* de a dos partículas (cada partícula ocupa una fila). Seleccionar la que tiene el mejor *fitness* de cada par y guardar en P* (P* tiene N filas). Las partículas que se comparan en este paso pueden pertenecer a subsets diferentes, representando distintas fuentes de falla.

Debe mencionarse que esta operación no pertenece al algoritmo PSO, siendo típica de los algoritmos genéticos.

- Agrupar las partículas de P* de acuerdo con el subset al que pertenecen. Es decir, si el elemento i de una partícula está fuera del rango de tolerancia definido, esa partícula corresponde al subset i. La nueva población puede tener la misma cantidad de subsets o menos y el tamaño de cada uno puede ser diferente (los subsets son dinámicos entre una generación y otra). Se actualiza entonces la cantidad de subsets y el tamaño de cada uno.

- Cuando se cumple el criterio de parada que en este caso consiste en alcanzar una determinada cantidad de generaciones, el algoritmo se detiene, devolviendo la partícula con el menor *fitness* alcanzado, X*. El subset al que pertenece dicha partícula indica cual es el componente que presenta la falla. Por ejemplo, si la mejor solución corresponde al subset 3, significa que el componente que falla es C3.

Para ilustrar el funcionamiento de PSO en este caso de estudio, se muestra en la Fig. 5 de manera esquemática como se obtiene en cada generación una nueva población P* a partir de la población actual P. En P cada fila representa una partícula y los subsets que las agrupan se distinguen con colores diferentes. Como se aprecia en la figura, NP presenta la misma cantidad de subsets que P y los mismos tienen el mismo tamaño que tienen en P. No obstante, las partículas que conforman cada subset de NP son diferentes a las de P ya que son obtenidas usando (5). Luego de la aplicación de los demás operadores descriptos en párrafos previos (unión, mezcla, torneo binario) es obtenida la nueva población P*, que puede tener una cantidad de subsets igual o menor a P con diferentes tamaños. Esta población P* reemplaza a P para la siguiente generación.

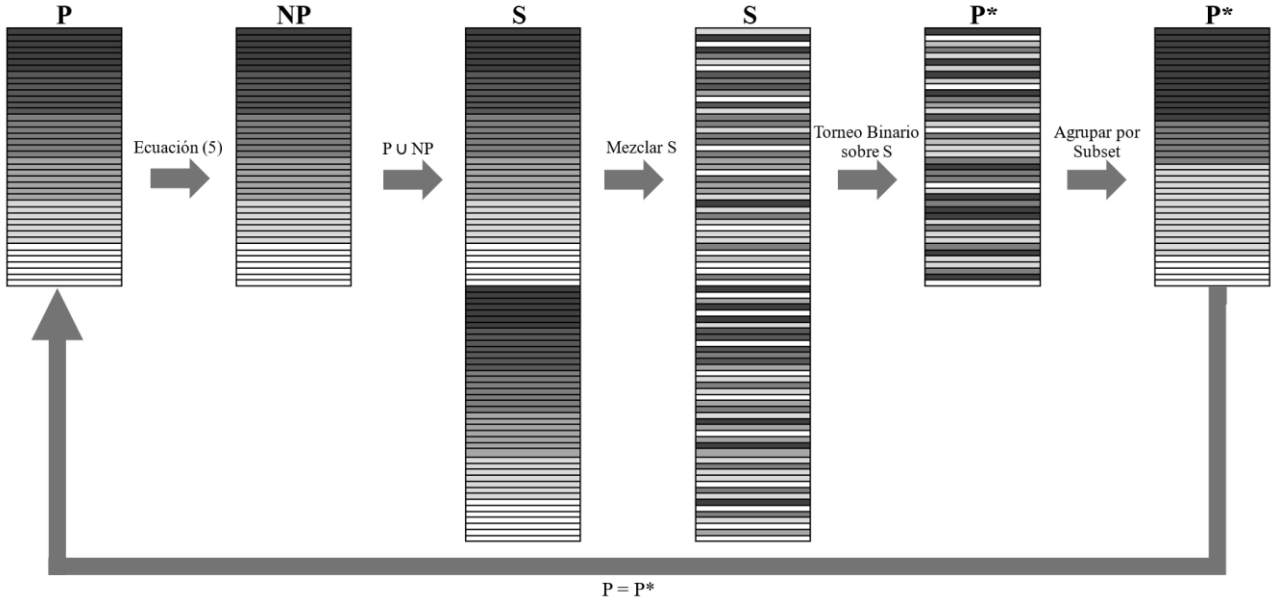


Fig. 5. Evolución de la población en una generación

3. Resultados y discusiones

Se realizan experimentos considerando fallas de desviación incipientes de -10% y -30% en cada uno de los seis capacitores del filtro, efectuando 20 corridas de PSO para cada caso. Se adoptan diferentes valores para el tamaño de la población (18, 30, 42) y de generaciones (50, 100, 200). Para cada combinación de parámetros se calcula la tasa de éxito alcanzada, la cual se determina mediante la expresión (6).

$$Tasa\ de\ éxito = \frac{Cantidad\ de\ corridas\ con\ Fallas\ Detectadas}{Total\ de\ corridas\ realizadas} \quad (6)$$

La Fig. 6 visualiza los resultados obtenidos. Si bien en todos los casos la tasa de éxito adopta valores altos, empleando 30 y 42 individuos, independientemente de los tres valores considerados para la cantidad de generaciones, la tasa de éxito supera el 95%. El mejor desempeño se obtiene con 42 individuos y 100 generaciones, alcanzando un valor de 99%. Esta es la combinación de parámetros elegida. Con referencia a los parámetros particulares de PSO, es decir, los coeficientes de aceleración (c_1 y c_2) y los valores entre los que varía la masa inercial (ϕ_{max} y ϕ_{min}), se adoptan valores empleados en trabajos previos (Lovay et al., 2016b, 2016a) . Los valores seleccionados son: c_1=2, c_2=2, ϕ_{max} =0,9, ϕ_{min} =0,4.

En las Tablas 3 y 4 se detallan los resultados del diagnóstico de fallas realizado por PSO para una desviación de -10% y -30%, respectivamente. Cada columna representa una instancia de falla (en C1, en C2, etc.), mientras que en cada fila se representa a cada uno de los capacitores en los que en los que se detecta dicha falla. Para el caso de una desviación de -10% (Tabla 3), la falla inyectada en cada uno de los capacitores es detectada correctamente por PSO en las 20 corridas realizadas para cada caso, a excepción de CB, debido a que la misma es detectada de forma correcta en 19 corridas, en la corrida restante PSO determina que la falla se encuentra en C1. Por otro lado, para el caso de fallas de -30% (Tabla 4), cuando se inyecta una falla en C2, la misma es detectada correctamente en 19 corridas, mientras que en una corrida el algoritmo arroja una falla en C3. En los restantes casos el algoritmo detecta correctamente la falla en todas las corridas efectuadas.

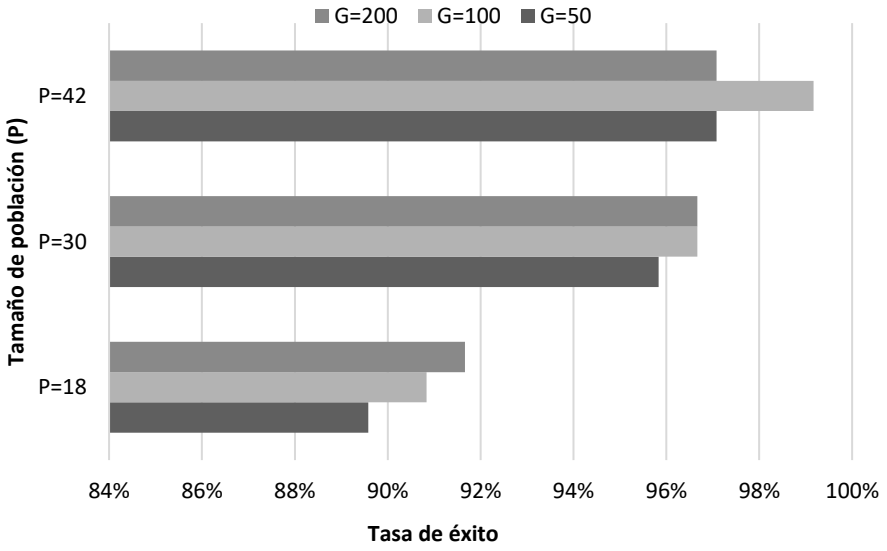


Fig. 6. Tasa de éxito en función del tamaño de población y la cantidad de generaciones.

Tabla 3. Diagnóstico de fallas realizado por PSO considerando una falla de desviación de -10%

		Capacitor en el que se inyectó una falla de -10%					
		C1	C2	C3	C4	CA	CB
Capacitor en el que PSO detectó la falla	C1	20					1
	C2		20				
	C3			20			
	C4				20		
	CA					20	
	CB						19
Tasa de éxito		100%	100%	100%	100%	100%	95%

Tabla 4. Diagnóstico de fallas realizado por PSO considerando una falla de desviación de -30%

		Capacitor en el que se inyectó una falla de -30%					
		C1	C2	C3	C4	CA	CB
Capacitor en el que PSO detectó la falla	C1	20					
	C2		19				
	C3		1	20			
	C4				20		
	CA					20	
	CB						20
Tasa de éxito		100%	95%	100%	100%	100%	100%

Por otro lado, en las Tablas 5 y 6 se presenta, para fallas de -10% y -30%, respectivamente, una caracterización estadística del *fitness* alcanzado por las soluciones encontradas por PSO en las 20 corridas efectuadas, para cada uno de los capacitores. El mejor *fitness* se alcanza cuando se consideran fallas de -10% en C2 y fallas de -30% en CB. No obstante, el mejor obtenido en todos los casos adquiere valores muy bajos. Por otro lado, el peor *fitness* corresponde a C3 para ambos tipos de falla. Con respecto a la mediana, el valor más bajo se obtiene para la inyección de fallas en C1, tanto con fallas de -10% como -30%. La desviación estándar es menor cuando se consideran fallas de -10% en CA y de -30% en C4.

Tabla 5. Caracterización estadística del *fitness* de las soluciones alcanzadas en las 20 corridas para falla de desviación de -10%, para cada capacitor

	C1	C2	C3	C4	CA	CB
Mejor	1,21E-07	3,66E-08	2,83E-04	2,23E-04	4,73E-03	8,36E-04
Peor	1,01E-01	1,26E-01	2,05E-01	1,15E-01	7,53E-02	1,36E-01
Mediana	1,53E-02	5,23E-02	4,36E-02	3,08E-02	2,74E-02	3,21E-02
Desv. estándar	2,79E-02	4,12E-02	6,39E-02	3,46E-02	2,03E-02	3,67E-02

Tabla 6. Caracterización estadística del *fitness* de las soluciones alcanzadas en las 20 corridas para falla de desviación de -30%, para cada capacitor

	C1	C2	C3	C4	CA	CB
Mejor	9,65E-05	3,16E-04	5,67E-03	6,58E-04	7,50E-04	5,68E-08
Peor	2,47E-01	3,52E-01	3,54E-01	2,02E-01	2,17E-01	2,61E-01
Mediana	4,62E-02	1,09E-01	1,31E-01	5,75E-02	6,02E-02	7,36E-02
Desv. estándar	5,89E-02	1,17E-01	1,05E-01	5,16E-02	6,61E-02	7,82E-02

Con el propósito de evaluar el desempeño de PSO se presenta en la Fig. 7 la evolución de la cantidad de subsets en la población de cada generación en una corrida seleccionada al azar. La figura muestra que a partir de la generación 8, PSO ya detecta cual es el componente que presenta la falla; en esa generación la población presenta un solo subset.

Por otro lado, para la misma corrida, se visualiza en la Fig. 8 el valor alcanzado por la mejor partícula (*GBEST*) en cada subset en las primeras 10 generaciones. Los valores que adopta *GBEST* entre un subset y otro son notablemente diferentes. En esta corrida, a partir de la generación 8 el único subset que persiste es el 6, por lo que el componente que presenta falla en este caso es CB. Para este subset el valor de *GBEST* es muy bajo desde la primera generación, esta característica se evidencia en la Fig. 9 donde se grafica solo este subset.

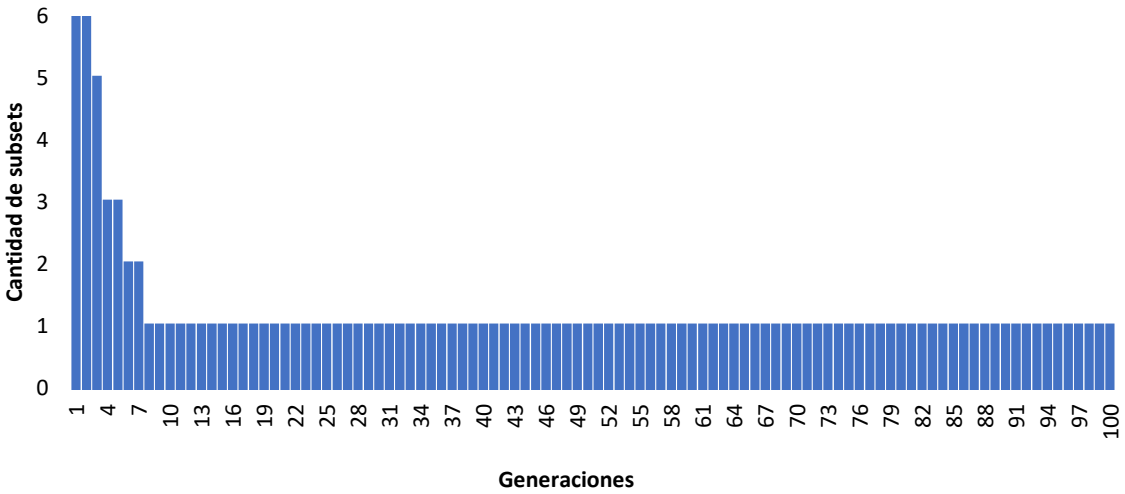


Fig. 7. Evolución de la cantidad de subsets en función de las generaciones.

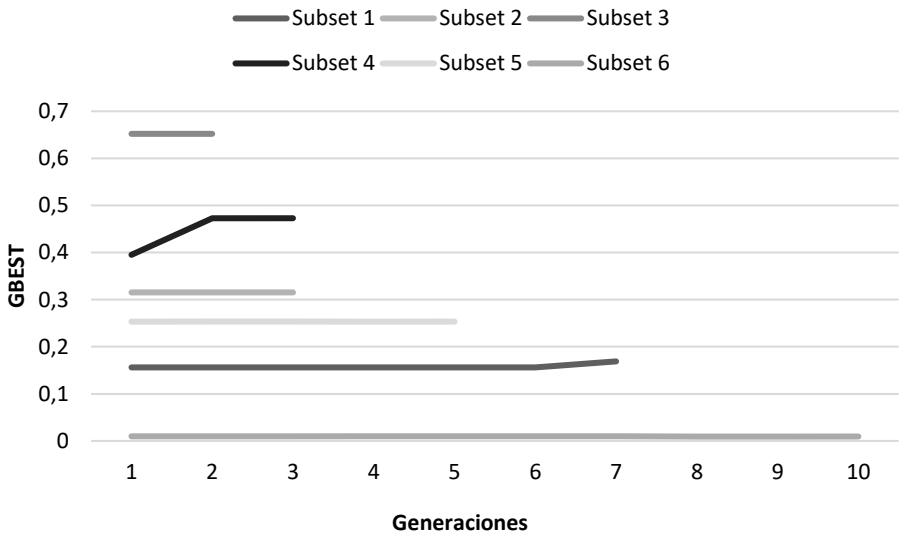


Fig. 8. Valor de GBEST para cada subset en las primeras 10 generaciones.

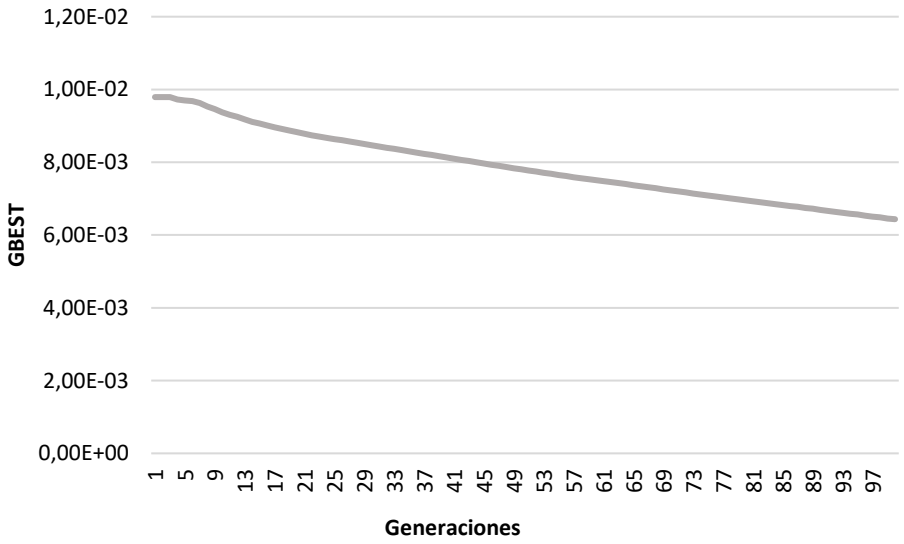


Fig. 9. Valor de GBEST para el Subset 6 en función de las generaciones.

4. Conclusiones y trabajos futuros

En este trabajo se presenta una estrategia basada en PSO para diagnosticar fallas en filtros de capacidades conmutadas embebidos en el microcontrolador reconfigurable PSoc1. Se consideran fallas de desviación simples, particularmente, fallas de desviación incipientes (10%-30%), que son las más difíciles de detectar y diagnosticar. El desempeño de este esquema es analizado para un caso de estudio, evaluando su capacidad para diagnosticar desviaciones de -10% y -30%. Los resultados exploratorios obtenidos muestran que es posible detectar el componente que presenta fallas con una tasa de éxito de 99% para las fallas incipientes consideradas.

En futuros trabajos se prevé profundizar la evaluación del esquema propuesto considerando mayor cantidad de fallas incipientes, incorporando también otros casos de estudio. También se analizará el uso de otros modelos de simulación más realistas (por ejemplo, utilizando *Matlab-Simscape*) para realizar el diagnóstico utilizando respuestas experimentales.

Referencias

Ashby, R. (2005). *Designer's guide to the Cypress PSoC*.

Doboli, A., & Currie, E. H. (2011). Introduction to mixed-signal, embedded design. In *Introduction to Mixed-Signal, Embedded Design*. Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7446-4

Dri, E. A., Peretti, G. M., & Romero, E. A. (2020). A low-cost test strategy based on transient response method for embedded reconfigurable filters. *International Journal of Electronics*, 1–20. https://doi.org/10.1080/00207217.2020.1793412

Dri, E. A., Romero, E. A., & Peretti, G. M. (2023). Soft Fault Diagnosis in Embedded Switched-Capacitor Filters. *Circuits, Systems, and Signal Processing*. https://doi.org/10.1007/s00034-022-02262-6

Dri, E., Peretti, G., & Romero, E. (2021). Fault detection in configurable switched-capacitor filters using transient analysis and dynamic time warping. *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, *108*(2), 291–304. https://doi.org/10.1007/s10470-021-01888-x

Gao, T., Yang, J., & Jiang, S. (2021). A Novel Incipient Fault Diagnosis Method for Analog Circuits Based on GMKL-SVM and Wavelet Fusion Features. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, *70*. https://doi.org/10.1109/TIM.2020.3024337

Karthi, S. P., Shanthi, M., & Bhuvaneswari, M. C. (2014). *Parametric Fault Diagnosis in Analog Circuit Using Genetic Algorithm*.

Lovay, M., Romero, E., & Peretti, G. (2016a). Aplicación del algoritmo de Optimización por Enjambre de Partículas en el dimensionamiento óptimo de componentes para Filtros Activos. *Proceedings of SII 2016, 5th Argentine Symposium on Industrial Informatics, 45 JAIIO - 45th Argentine Conference on Informatics*, 13–24.

Lovay, M., Romero, E., & Peretti, G. (2016b). Diseño óptimo de filtros bicuadráticos mediante optimización por enjambre de partículas. *Libro de Memorias VII Congreso de Microelectrónica Aplicada 2016*, 125–130.

Nedjah, N., Galindo, J. D. L., Mourelle, L. de M., & Oliveira, F. D. V. R. de. (2023). Fault Diagnosis in Analog Circuits Using Swarm Intelligence. *Biomimetics*, *8*(5). https://doi.org/10.3390/biomimetics8050388

PSoC® Programmable System-on-ChipTM Datasheet. (2017).

Slowik, A. (2020). *Swarm Intelligence Algorithms*. CRC Press.

Two-Pole Low-Pass Filter Datasheet LPF2, V 4.10, Cypress Semiconductor. (2013).

Yang, C. (2020). Genetic Algorithm Based Faulty Parameter Identification for Linear Analog Circuit. *IEEE Access*, *8*, 213357–213369. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3034963

Yang, C. (2021). Analog Circuit Faulty Parameter Identification Based on Two-Objective Evolutionary Algorithm. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, *70*. https://doi.org/10.1109/TIM.2020.3034125

Yang, C., Zhen, L., & Hu, C. (2019). Fault diagnosis of analog filter circuit based on genetic algorithm. *IEEE Access*, *7*, 54969–54980. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2913049

Yang, H., Meng, C., & Wang, C. (2020). Data-driven feature extraction for analog circuit fault diagnosis using 1-D convolutional neural network. *IEEE Access*, *8*, 18305–18315. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2968744

Yu, W., He, Y., & Gao, K. (2016). A Compute Method of Analog Circuit Fault Diagnosis via Particle Swarm Optimization. *Journal of Automation and Control Engineering*, 439–442. https://doi.org/10.18178/joace.4.6.439-442

Yu X., & Gen M. (2010). *Introduction to Evolutionary Algorithms*. Springer.

ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD COMO APORTE A LA ODS 6 - AGUA LIMPIA Y SANEAMIENTO, A TRAVÉS DE LA DESCENTRALIZACIÓN CON BLOCKCHAIN EN LA CERTIFICACIÓN Y TRAZABILIDAD DE LOS ANÁLISIS DE AGUA DEL ÁREA DE SERVICIOS DE LA UTN FRVM

Fernando M. Córdoba, Matías A. Cassani, Nicolas A. Durelli, Ignacio A. González Rover, Salvador Bacci, Álvaro F. Ibarra

Grupo de Investigación de Ingeniería en Sistemas de Información (GIISI), Facultad Regional Villa María - Universidad Tecnológica Nacional, Av. Universidad 450
mcordoba@frvm.utn.edu.ar

Resumen

¿Se podrían agilizar y asegurar los resultados de los análisis de agua que se otorgan en el laboratorio de servicios de nuestra Facultad?
Tomando como base la aprobación en el Consejo Directivo la resolución 34/24 el proyecto "Modernización de los procesos académicos y administrativos en la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Villa María", iniciamos desde el Grupo de Investigación el estudio de factibilidad para poder desarrollar la investigación e implementación del proyecto de digitalización descentralizada de los certificados, en los análisis de agua y efluentes que se llevan a cabo en la Facultad a través de la tecnología Blockchain.

Se analizaron los procesos del área del laboratorio de nuestra facultad, esto nos ayudó a:
Determinar la aplicabilidad de Blockchain para la emisión y verificación de los certificados emitidos asegurando que sean transparentes y trazables.
Entender las actividades realizadas en el área de laboratorio.
Tomar conciencia de la posibilidad de replicar este servicio a otras áreas de nuestra Facultad u otras instituciones.

Objetivo General:
Digitalizar e innovar a través de la implementación de Blockchain en la certificación y trazabilidad de los análisis, para brindar transparencia y acceso a través de una bitácora con los resultados.

Objetivos específicos:
Lograr a través de la investigación y desarrollo una plataforma web que permita a quienes utilizan los servicios del laboratorio de la Facultad, subir los certificados en formato PDF emitidos por el laboratorio y validar con el time stamping de la blockchain de la BFA que no han sido adulterados.
Desde el GIISI finalizar la Implementación del nodo sellador de la BFA en servidor virtual de la UTN FRVM.
Fortalecer el trabajo dentro del grupo, desarrollar una aplicación para el control y monitoreo del recurso hídrico de nuestra Ciudad y que se pueda replicar en otras instituciones.

Palabras Clave: Blockchain, Descentralización, Certificados, Trazabilidad, ODS6

Introducción

Para poder entender qué es "Blockchain" es importante entender la evolución en el tiempo de esta tecnología, que a la fecha ha pasado por tres (3) generaciones. Brevemente podemos decir:

Primera Generación: Bitcoin (2009):
Objetivo Principal: La creación de Bitcoin marcó el inicio de la tecnología blockchain. La primera generación se centró principalmente en la creación de una moneda digital descentralizada y en la implementación de un libro de contabilidad público (ledger) a prueba de manipulaciones.
Características Destacadas: Transacciones peer-to-peer, consenso mediante prueba de trabajo (PoW), anonimato relativo, y un enfoque específico en la moneda digital (Bitcoin).

Segunda Generación: Plataformas Contrato Inteligente (Ethereum - 2015):
Objetivo Principal: Ethereum llevó la tecnología blockchain más allá de las simples transacciones de criptomonedas, introduciendo contratos inteligentes y facilitando el desarrollo de aplicaciones descentralizadas (DApps).
Características Destacadas: Contratos inteligentes, plataforma para el desarrollo de DApps, implementación de la máquina virtual Ethereum (EVM), y un lenguaje de programación propio llamado Solidity.

Tercera Generación: Mejora de Escalabilidad y Funcionalidad (Actualidad):
Objetivo Principal: Abordar limitaciones como la escalabilidad, la velocidad de las transacciones y la interoperabilidad entre diferentes blockchains. La tercera generación busca mejorar la adopción masiva al abordar desafíos anteriores.
Características Destacadas: Soluciones de escalabilidad (como sharding y sidechains), mayor eficiencia, interoperabilidad entre blockchains, y enfoque en casos de uso más allá de las finanzas, como la gestión de identidades, la trazabilidad de la cadena de suministro, entre otros. (Swan, 2015)
Se buscó a través de diferentes fuentes la importancia de esta tecnología, su evolución y hacia dónde va. Como resultado de la misma hay un trabajo realizado por la Universidad Tecnológica Nacional (UTN) Facultad Regional La Plata que presentó un proyecto PID de Universidad "Uso de la tecnología Blockchain Federal (BFA) para dejar pistas de auditoría y trazabilidad a sentencias y acordadas de la Suprema Corte de la provincia de Mendoza" (Rotella Carina, 2020).
Entonces, teniendo en cuenta los avances de la tecnología de Blockchain como describimos anteriormente y que a su vez la UTN Facultad Regional Villa María forma parte tanto de la BFA (https://bfa.ar/bfa/quienes-somos) por ser uno de los nodos de la red, además de ser miembro del Córdoba Blockchain Hub, fue que definimos como parte del Grupo de Investigación, trabajar en la problemática del control de la huella hídrica de manera descentralizada. Hoy en día con la problemática del cambio climático, alineado a las ODS 6: "Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos" de la ONU en la agenda 2030, es que estamos dando los primeros avances en esta temática desde GIISI, para evolucionar la plataforma y poder llegar a cumplir con los objetivos planteados anteriormente.

Materiales y métodos

¿Qué es la tecnología de cadena de bloques? (AWS, 2024)
La tecnología de cadena de bloques es un mecanismo avanzado de bases de datos que permite compartir información transparente dentro de la red de una empresa. Una base de datos de cadena de bloques almacena los datos en bloques que se vinculan entre sí en una cadena. Los datos son cronológicamente consistentes debido a que no es posible eliminar ni modificar la cadena sin el consenso de la red. Como resultado, se puede utilizar la tecnología de cadena de bloques para crear un libro mayor inalterable o inmutable para realizar un seguimiento de los pedidos, los pagos, las cuentas y otras transacciones. El sistema incluye mecanismos integrados que evitan las entradas de transacciones no autorizadas y crean coherencia en la vista compartida de estas transacciones.

¿Por qué es importante la tecnología de cadena de bloques?
Las tecnologías de bases de datos tradicionales presentan varios desafíos a la hora de registrar las transacciones financieras. Por ejemplo, analicemos la venta de una propiedad. Una vez que se intercambia el dinero, la titularidad de la propiedad se transfiere al comprador. Individualmente, tanto el comprador como el vendedor pueden registrar las transacciones monetarias, pero ninguna de las dos partes es fiable. Con facilidad, el vendedor puede afirmar que no recibió el dinero aunque lo haya hecho y, de igual manera, el comprador puede alegar que pagó el dinero aunque no lo haya hecho.

Para evitar posibles problemas legales, un tercero de confianza debe supervisar y validar las transacciones. La presencia de esta autoridad central no solo complica la transacción, sino que crea

un único punto de vulnerabilidad. Si la base de datos central se viera comprometida, ambas partes podrían ser perjudicadas.
La tecnología de cadena de bloques mitiga estos problemas, ya que crea un sistema descentralizado y seguro para registrar las transacciones. En el caso de las transacciones inmobiliarias, con la tecnología de cadena de bloques se crea un libro mayor para el comprador y el vendedor. Todas las transacciones deben ser aprobadas por ambas partes y se actualizan de forma automática en los dos libros mayores en tiempo real. Cualquier alteración en las transacciones históricas dañará todo el libro mayor. Estas propiedades de la tecnología de cadena de bloques han contribuido para que se utilice en varios sectores, incluido el de la creación de monedas digitales como Bitcoin.

El origen de este trabajo está divido en dos partes, por un lado se realizó una investigación teórica de los conceptos de la Blockchain y un análisis de pre-factibilidad para la implementación a través del desarrollo de una plataforma que permita cargar el archivo formato PDF de los resultados del informe final del laboratorio de análisis de agua y efluentes del área de servicios de la UTN Facultad Regional Villa María.

Sello de Tiempo

Existen modos de certificar contenidos a través de blockchain. Estos mecanismos permiten generar una “prueba de existencia”, algo así como un sello digital que demuestra que un mensaje existía antes de una fecha y hora determinada. BFA ofrece su propio servicio de TSA (Time Stamping Authority), que permite demostrar o evidenciar que un determinado archivo digital se ha mantenido inalterado en el tiempo a partir de una determinada fecha. (BFA, n.d.) En la Ilustración 1 se puede observar el equema de la arquitectura de la BFA.

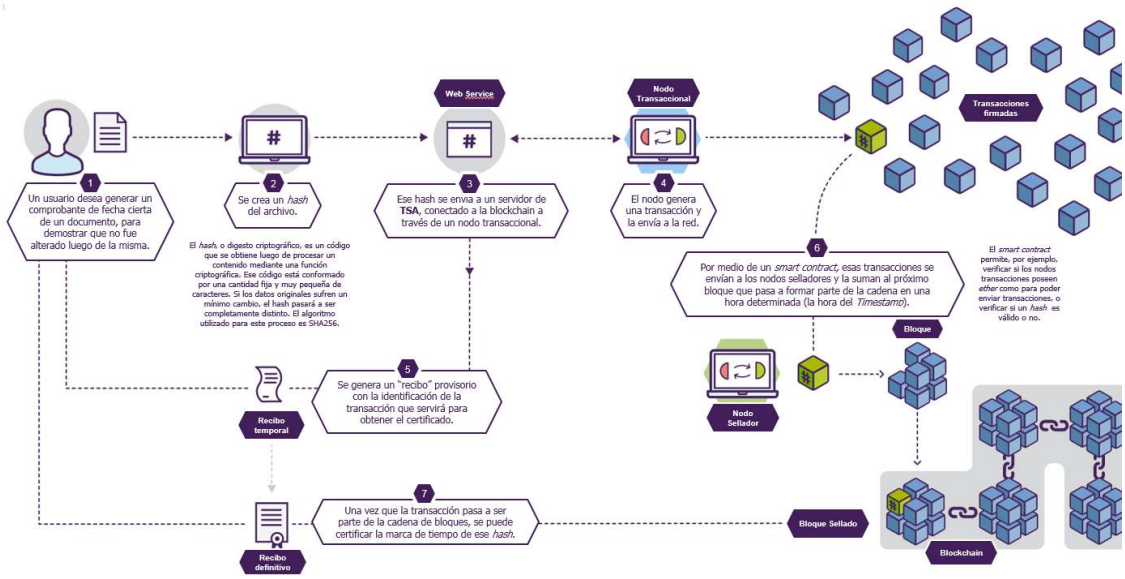


Ilustración 1- Esquema de Tecnología para Sello de Tiempo

Ethereum

BFA está basada en la tecnología Ethereum, una de las blockchains públicas más difundidas a nivel internacional. Es una plataforma descentralizada que funciona con el algoritmo de consenso Prueba de Apuesta (Proof-of-Stake) y permite a cualquier desarrollador crear y publicar aplicaciones distribuidas para ejecutar smart contracts garantizados por la cadena de bloques. La red posee una infraestructura de nodos a nivel global.
Como el desarrollo está basado en código abierto, toda la comunidad puede participar en las pruebas de concepto existentes para mejorar la plataforma, o tomar todo ese trabajo y adaptarlo a

otros contextos y necesidades. Blockchain Federal Argentina toma el software de Ethereum, utilizando Prueba de Autoridad (*Proof-Of-Authority*), sin criptomoneda asociada.

Resultados y discusiones

Hemos realizado como parte de la investigación un estudio para conocer más en profundidad sobre: Soluciones pensadas en el tratamiento del agua con tecnologías de blockchain, en el plano internacional podemos mencionar que en España se está trabajando en el tema: "La aplicación de la tecnología blockchain podría revolucionar la gestión del agua, según el análisis realizado por Virginia Mijes, docente y autora del informe «El blockchain: la revolución tecnológica que está cambiando el mundo», publicado por la EAE Business School en colaboración con la asociación «Blockchain Catalunya». Según Mijes, la integración de blockchain podría potencialmente reducir el gasto de agua hasta en un 25%... España se posiciona como un líder en la adopción de blockchain, siendo pionero en normativas sobre identidad digital descentralizada y el segundo país en Europa con un número significativo de proyectos blockchain. Sin embargo, solo el 10% de las empresas en España actualmente trabajan con esta tecnología." Fuente: https://www.w3volution.com/blockchain-ahorro-agua/
A nivel local Kilimo una startup cordobesa trabaja también en el ámbito del manejo del agua para el sector del agro, y figura en algunos informes que se está trabajando desde la tecnología blockchain. "Startup argentina incorpora herramienta blockchain, de medición de huella hídrica, con el apoyo de RSK" Fuente: https://es.cointelegraph.com/news/argentine-startup-incorporates-blockchain-tool-to-measure-water-footprint-with-the-support-of-rsk

Existen más soluciones relacionados a estos dos puntos que confluyen en la generación de tecnologías aplicadas al uso eficiente del recurso hídrico, nuestra propuesta de investigación aplicada está centrada en la utilización y mejora en los organismos públicos, como un aporte desde nuestra Facultad en esta temática tan importante y poder generar nuevos vínculos con instituciones interesadas en aportar a este proyecto.

Se comenzó investigando de qué se trata esta tecnología innovadora con respecto a la descentralización y todo su poder para poder aplicarlo en diferentes entornos de situaciones reales, y que resuelvan alguna problemática. A raíz de este análisis y como se comentó anteriormente surge este proyecto de poder llevar adelante una digitalización del área del laboratorio de nuestra facultad, que tiene aún una visión más amplia para futuros trabajos de investigación relacionados directamente con la trazabilidad a través de la blockchain en el manejo de la gestión integral de la huella hídrico, teniendo como objetivo desarrollar una plataforma que permita conocer desde el origen cómo se maneja este recurso tan imprescindible y que según estudios a nivel global va a ser un recurso aún más escaso, esto también nos permite trabajar en forma de grupo interdisciplinario para entender desde el impacto ambiental, cómo poder aportar desde la tecnología una solución que permita a las Municipalidades, Cooperativas de agua y público en general tener mayor control y conciencia sobre este recurso.

Se realizó aparte de la investigación introductoria sobre la tecnología de blockchain y su implementación, como avanzar para la instalación de un nodo sellador de BFA (Ver referencia Tecnología BFA). Esto se realizará en un servidor virtual que se instaló a tales efectos y el cual está en etapa de implementación para integrarlo a los nodos que hoy ya están funcionando.
Se trabajó además en el desarrollo de la plataforma para subir y validar documentos con el sellador de la blockchain, que si bien en la primer etapa es aplicarlo al área de laboratorio validando los certificados emitidos, la misma se puede replicar a otras áreas de nuestra Facultad y extender el mismo, luego de haber pasado por la validación de la solución, a otras regionales de nuestra Universidad, como puede ser para la validación de certificados.

A continuación se adjuntan las ilustraciones desde la 2 hasta la 5, del MVP (Producto Mínimo Viable) V1.0, con la evolución del mismo, lográndose desarrollar los módulos de Login, carga y validación de documentos.

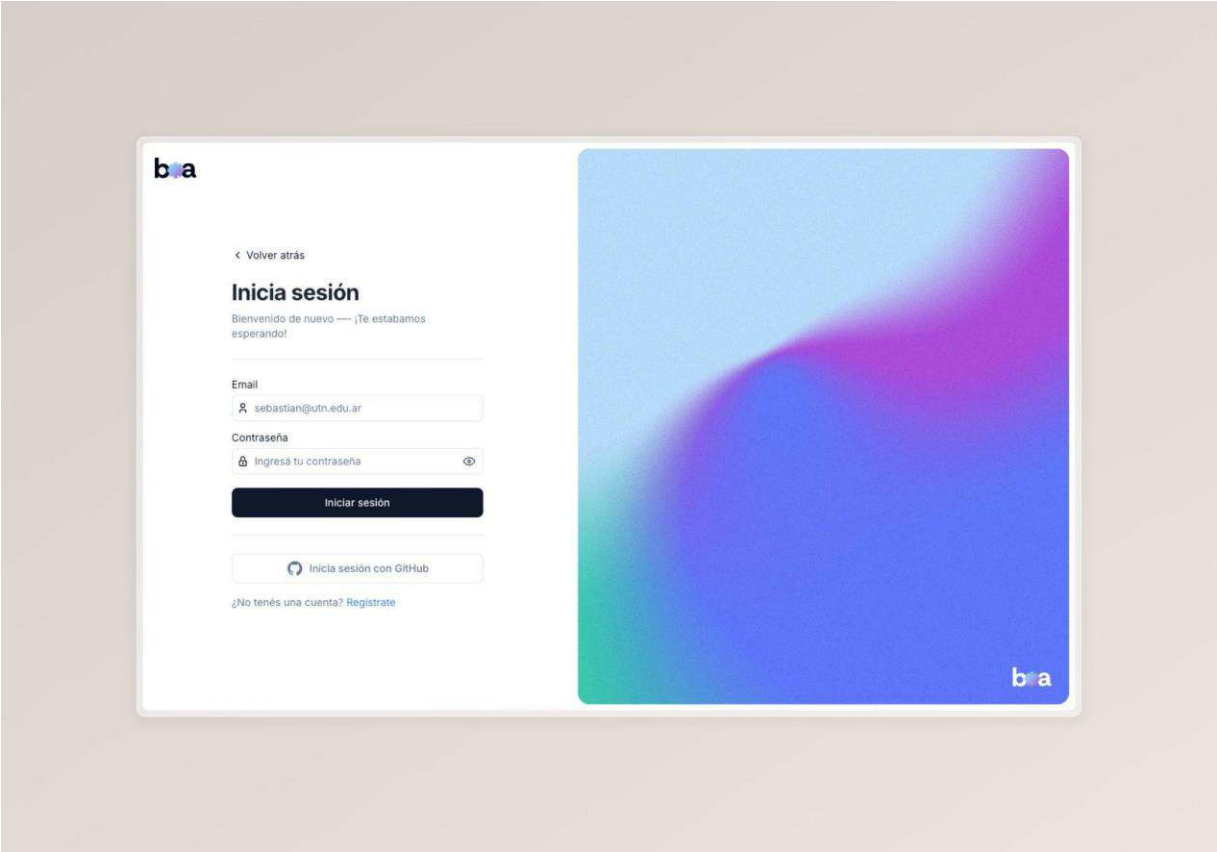


Ilustración 2- Pantalla de Login de usuario

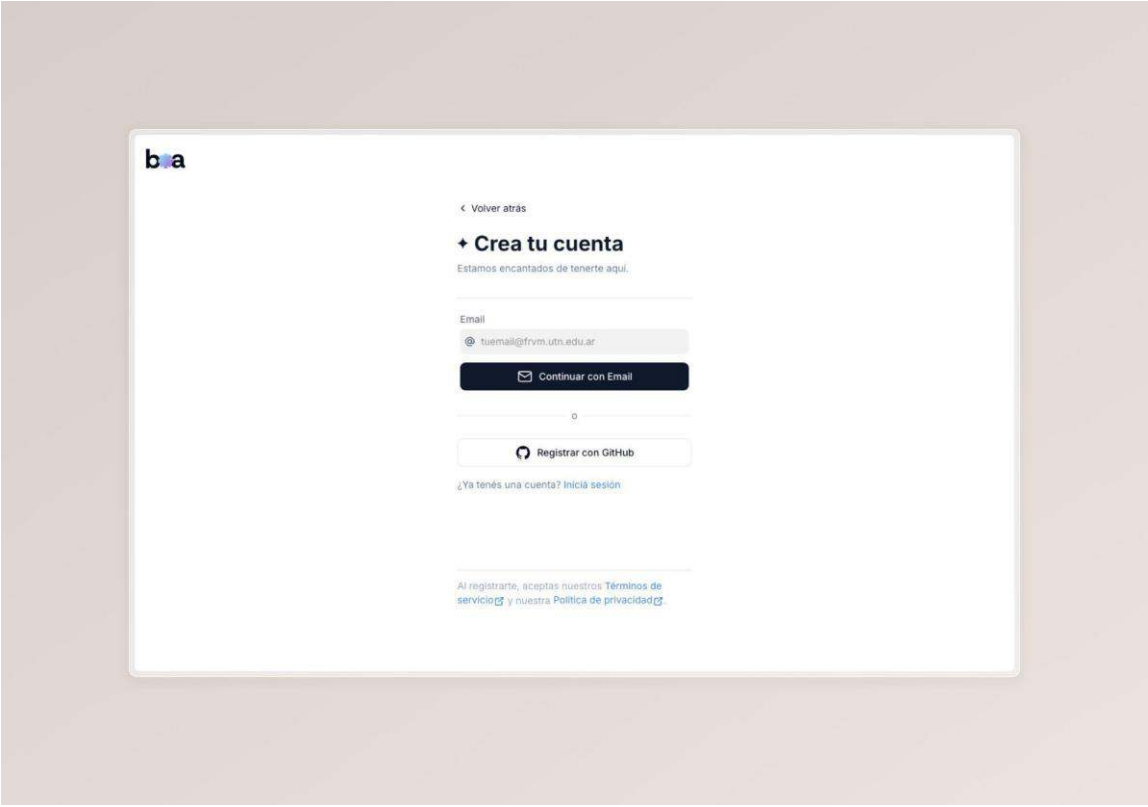


Ilustración 3- Pantalla para registrarse como usuario

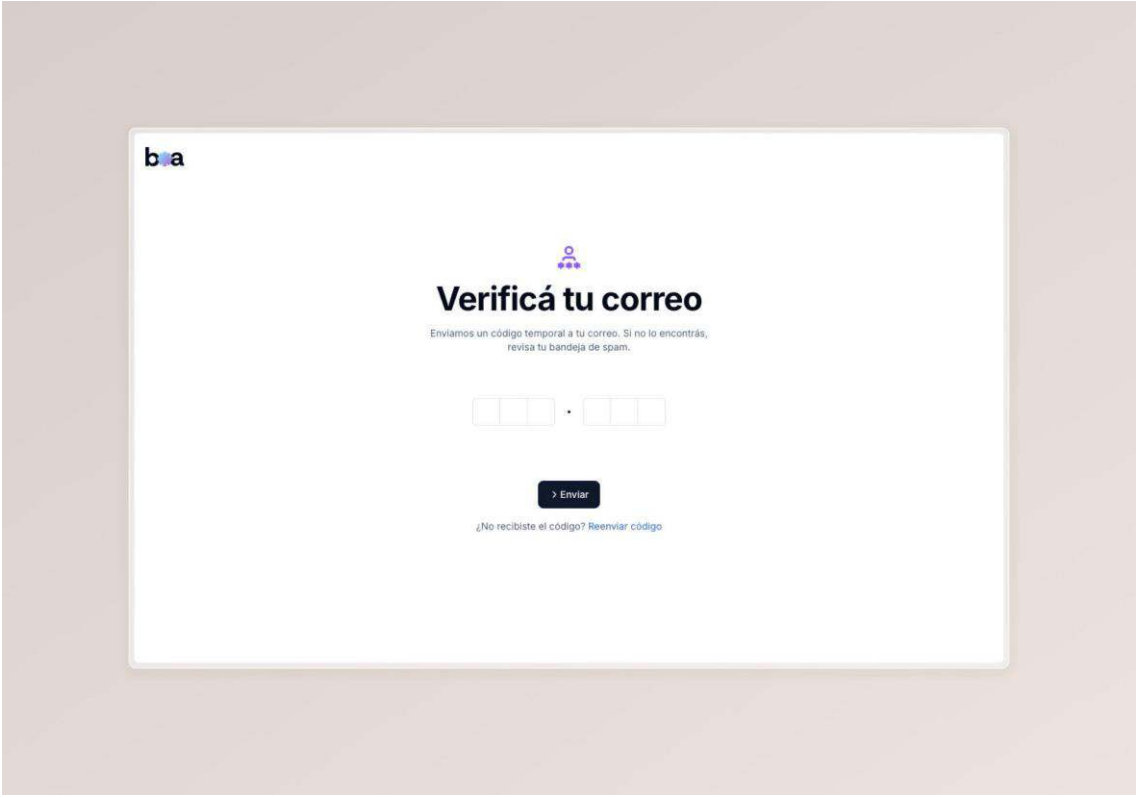


Ilustración 4 - Pantalla de verificación de email

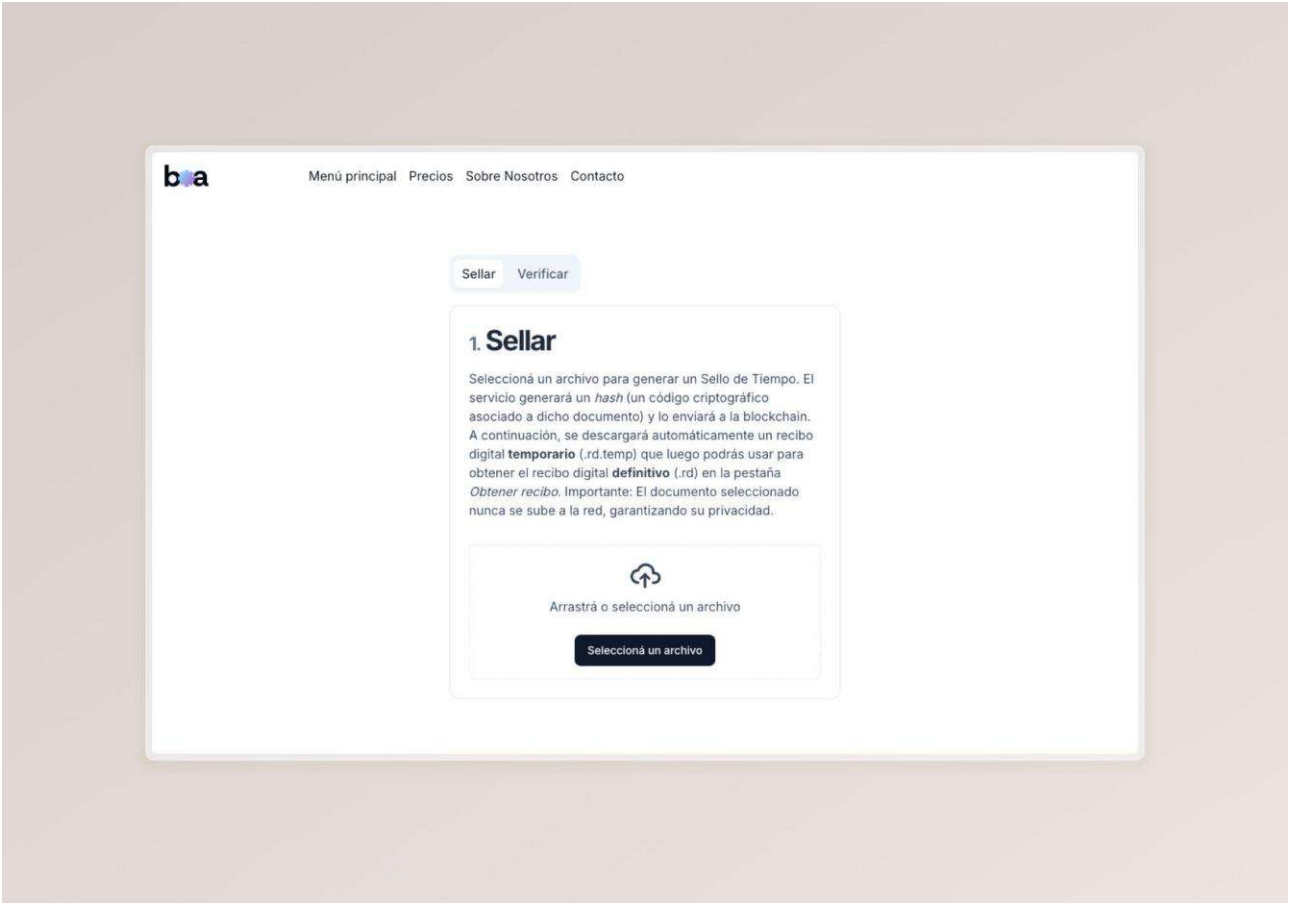


Ilustración 5 - Pantalla principal del frontend para la carga y validación de documentos sellados por la Blockchain.

Blockchain - SmartContract

A continuación se adjunta parte del código para la ejecución de los contratos inteligentes en la Blockchain implementada en un nodo de test de PolygonID, para luego en la Ilustración 6 ver los resultados de implementación de Blockchain.

```
// SPDX-License-Identifier: MIT
pragma solidity ^0.8.26;
contract SimpleStamper {
    struct Stamp {
        bytes32 object;
        uint256 blockNo;
        uint256 timestamp;
    }
    Stamp[] private stampList;
    mapping(bytes32 => uint256[]) private hashObjects;
    event Stamped(
        bytes32 indexed object,
        uint256 blockNo,
        uint256 timestamp
    );
    constructor() {
        stampList.push(Stamp(0, block.number, block.timestamp));
    }
    function put(bytes32[] memory objectList) public {
        for (uint256 i = 0; i < objectList.length; i++) {
            bytes32 object = objectList[i];
            stampList.push(Stamp(object, block.number, block.timestamp));
            uint256 newObjectIndex = stampList.length - 1;
            hashObjects[object].push(newObjectIndex);
            emit Stamped(object, block.number, block.timestamp);
        }
    }
    function isStamped(bytes32 object) public view returns (bool) {
        return hashObjects[object].length > 0;
    }
    function getStamplistPos(uint256 pos) public view returns (bytes32, uint256,
uint256) {
        require(pos < stampList.length, "Index out of bounds");
        Stamp storage stamp = stampList[pos];
        return (stamp.object, stamp.blockNo, stamp.timestamp);
    }
    function getTimestampByHash(bytes32 object) public view returns (uint256) {
        require(isStamped(object), "Object not stamped");
        uint256[] storage indices = hashObjects[object];
        uint256 latestIndex = indices[indices.length - 1];
        return stampList[latestIndex].timestamp;
    }
    function getTimestampByPos(uint256 pos) public view returns (uint256) {
        require(pos < stampList.length, "Index out of bounds");
        return stampList[pos].timestamp;
    }
}
```

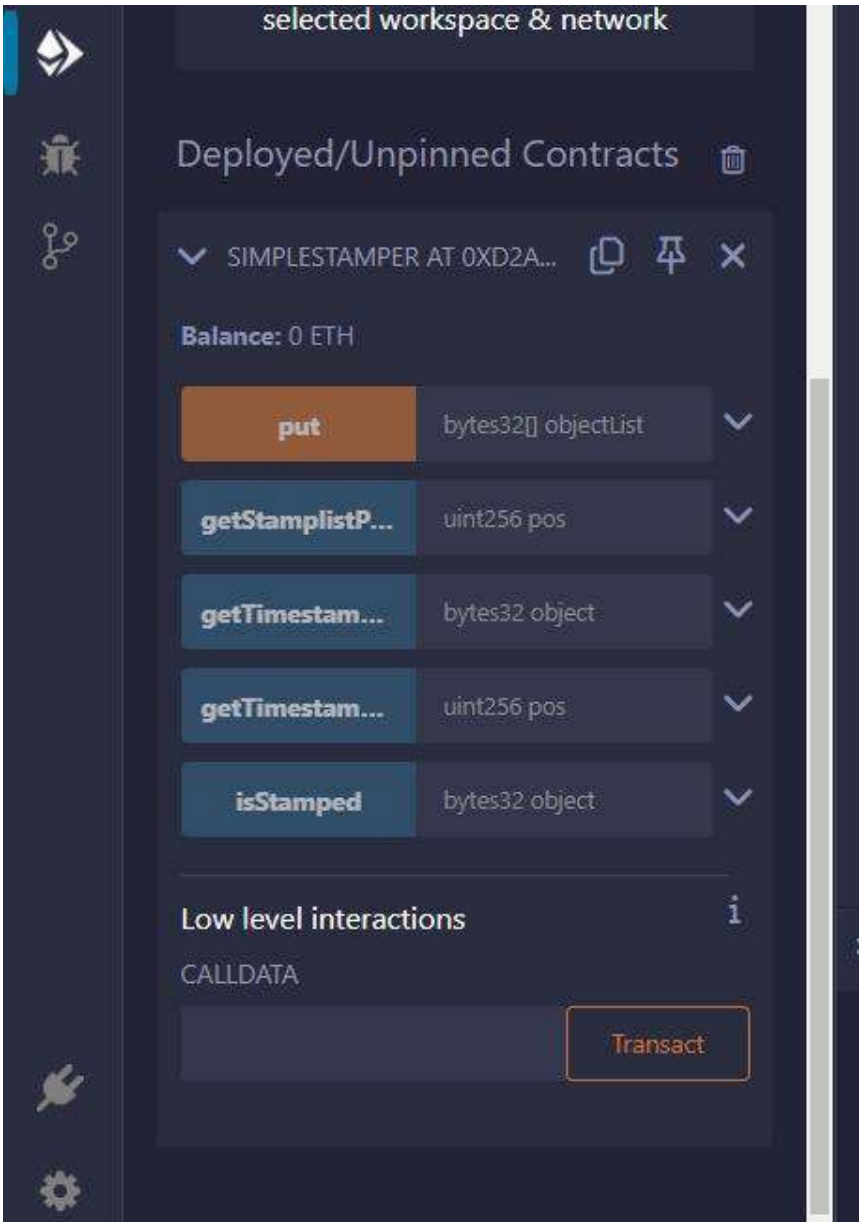


Ilustración 6 - Pantalla de Blockchain para el sellado del documento PDF

Conclusiones

Desde el comienzo del presente trabajo, hemos podido conocer y aprender más y mejor el marco teórico/conceptual de Blockchain, debatiendo internamente sobre sus potenciales aplicaciones, sus diferentes usos, su evolución, sólo para nombrar algunos de los puntos en los que hemos estado trabajando internamente.

También hemos logrado avances significativos desde la toma de requerimientos, como de reuniones que se mantuvieron con los responsables del sector de laboratorio de la UTN FRVM para realizar un primer análisis, luego de esto y después de debatir e investigar la mejor forma de llevar adelante el proyecto hemos podido confirmar la factibilidad técnica, operativa y económica de llevarlo a cabo, logrando de esta manera la primera versión del MVP, que fue el origen del mismo y donde pudimos aplicar en los diferentes sprints todos los procesos del ciclo de vida de un producto.

Como avances hemos logrado desarrollar en modo prueba una plataforma que nos va a permitir en el transcurso del presente año, subir un archivo PDF, sellarlo con la Blockchain de BFA u cualquier

otra y luego poder validar si el documento no ha sido adulterado desde la fecha que se incorpora en la misma plataforma.

Próximos pasos

Terminar de implementar el nodo transaccional para poder desplegarlo en modo de prueba y luego pasarlo al nodo producción para desplegarlo en un ambiente real.
Terminar de implementar el nodo sellador de la UTN Fac. Reg. Villa María, ya está instalado pero falta a la fecha del presente trabajo las validaciones de la BFA para que entre el nodo en producción.
Evolucionar el MVP a la versión 1.1 donde se contemplará la trazabilidad y avanzar hacia el registro de la huella hídrica y fortalecer la vinculación con otras disciplinas para un proyecto de impacto ambiental y social.

Agradecimientos

En primer lugar a la Facultad Regional Villa María y sus autoridades por el financiamiento del proyecto, mediante el programa de Becas de Investigación y Servicio, que se abre todo los años y a la que accedieron alumnos de la Carrera de Ingeniería en Sistemas de Información, para su formación y fortalecimiento en el área de investigación aplicada, donde pueden desarrollar sus habilidades en el desarrollo de un proyecto nuevo y que busca innovar, no solo desde la tecnología sino desde su aplicación en el impacto ambiental. Los autores también desean expresar su agradecimiento al Sr. Marcelo Ambrossio personal No Docente del área TIC de nuestra Facultad, por su contribución en la implementación del nodo sellador de la Facultad, como así también en la preparación de los ambientes y despliegue de infraestructura para poder contar con todos los requerimientos en el avance de este proyecto.

Trabajos citados

Rotella Carina, O. P.-S. (2020). *http://sedici.unlp.edu.ar*. Recuperado el febrero de 2024, de Repositorio Institucional UNLP: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/104237/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

AWS. (28 de Febrero de 2024). *¿Qué es la tecnología de cadena de bloques?* Obtenido de Centro de conceptos de computación en la nube: https://aws.amazon.com/es/what-is/blockchain/?aws-products-all.sort-by=item.additionalFields.productNameLowercase&aws-products-all.sort-order=asc

Swan, M. (2015). *Blockchain BLUEPRINT FOR A NEW ECONOMY.*

BFA. (s.f.). *Blockchain Federal Argentina*. Obtenido de BFA: https://bfa.ar/bfa/tecnologia

TOOLCHAIN DE DESARROLLO Y VALIDACIÓN PARA LA ARQUITECTURA RISC-V RV32I

Roberto Simone[1], Luciano. Ferreyro[1], Alejandro. Furfaro[1]
[1]Laboratorio de Procesamiento de Digital (DPLab), Facultad Regional Buenos Aires, Universidad Tecnológica Nacional, Av. Medrano 951
rsimone@frba.utn.edu.ar

Resumen

El presente trabajo propone un toolchain de validación de código abierto para la arquitectura RISC-V de enteros de 32 bits orientado a la fase de desarrollo. Durante esta fase se requiere detectar los errores más comunes a nivel RTL quedando el hallazgo de errores más sutiles para la fase de certificación, la cual escapa al alcance de este trabajo. Se mostrará que este toolchain es capaz de encontrar errores en un diseño en no más de 5 min, en el 100% de los escenarios de error probados. Este tiempo puede reducirse a 20s si se acepta una tasa de detección del 80%. Se ha puesto especial atención a que el flujo de verificación emplee software de acceso gratuito, ya sea del tipo open source o bien corporativo con una licencia gratuita. Por tal motivo se descartó el uso de software de verificación formal comercial. Como parte de esta herramienta se desarrolló un generador de programas para RISC-V con los cuales se realizaron las simulaciones de hardware y software. Para este último caso se construyó un simulador ad-hoc en C++ con el fin de minimizar el tiempo de simulación. Además del toolchain se obtuvo un procesador RISC-V de arquitectura de enteros de 32 bits validado y corriendo en una FPGA. La elaboración a futuro de este trabajo permitirá adaptarlo a otras arquitecturas RISC-V, así como incorporar la validación cuando interactúan con dispositivos periféricos.

Palabras clave: RISC-V, arquitectura, toolchain, validación

Introducción

Este trabajo aborda la evaluación de un conjunto de módulos de firmware para comprobar la corrección del funcionamiento de un procesador RISC-V acorde a la especificación de arquitectura entera de 32 bits (de ahora en más core-rv32i), vale decir de todos sus módulos integrados o top-level. No se abordará la verificación aislada de los módulos componentes que se asume fue objeto de una fase previa de desarrollo.

La especificación del core-rv32i [2] consta de 47 instrucciones. Se implementaron las de Desplazamientos, Aritméticas, Lógicas, Comparaciones, Saltos, Llamados a subrutinas, Lectura de memoria, y Escritura en memoria. Se excluyeron las de Sincronización (FENCE y FENCE.I), Entorno (ECALL y EBREAK), y Acceso a los registros de estado y CONTROL (CSRxx). Se completó la configuración del procesador bajo prueba con una memoria de programa ROM de 256 KiB y una memoria de datos RAM de 1 KiB. La Figura 1 muestra un esquema del mismo del cual se destaca el pipeline de cinco etapas.

Una hipótesis inicial es que el procesador bajo prueba está diseñado a nivel RTL bajo la forma de un conjunto de archivos Verilog sintetizables y que las construcciones empleadas son agnósticas respecto de tecnologías de implementación específicas (FPGA, celdas estándar, etc.). El modo convencional de verificar este tipo de diseños es mediante un simulador gobernado por un banco de pruebas con capacidades auto verificadoras que arrojan como resultado un conteo de pruebas exitosas e incorrectas. Es sabido que los circuitos combinacionales no pueden testearse para todos patrones que pueden adoptar sus entradas, salvo contadas excepciones donde las entradas son pocas [1]. En los circuitos secuenciales la cantidad de escenarios a probar es mucho mayor debido a los múltiples estados de los elementos de memoria. Esto aplica a los procesadores que no son sino un caso particular de circuito secuencial.

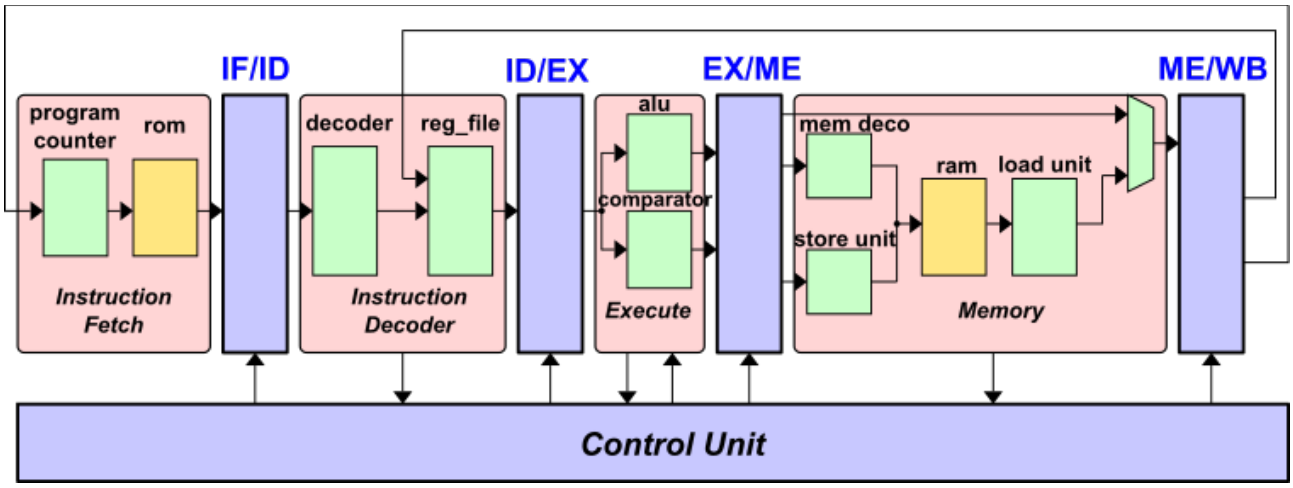


Figura 1. Implementación del core-rv32i empleada en nuestra propuesta.

Para la verificación de procesadores la estrategia consiste en hacerlos ejecutar a nivel de firmware un programa representativo y cotejar los resultados contra una referencia, de manera que respondan a la pregunta de si el circuito funciona correctamente.

Material y Métodos

Aspectos específicos en la verificación de un procesador

La validación someterá al procesador descrito a nivel RTL a una batería de simulaciones, donde en cada una de ellas cambia el contenido de la memoria de programa. El criterio rector que hemos adoptado para la elaboración de este conjunto de módulos de firmware de prueba fue desarrollar uno por cada instrucción a verificar resultando el conjunto básico expresado por la Tabla 1.

Tabla 1. Firmware de testing para evaluar el core-rv32i.

Tipo de instrucción	Inserta nops (*no_hzrd*)	No inserta nops
R	10	10
I	9	9
B	6	6
U	2	2
J	2	2
L	5	5
S	3	3
Multi-instrucción	33	0
Total	**39**	**37**

Una forma de monitorear la corrección de funcionamiento es observando el estado del *core-rv32i*, es decir, sus registros de datos y el contador de programa. A partir de estos valores puede optarse por dos enfoques diferentes para la verificación de los resultados de la simulación. Una de éstas formas es estableciendo ciertos puntos de verificación en cada programa de prueba bajo la premisa que cuando la ejecución de programa alcance ese punto se espera que el procesador esté en un estado específico (llamado ***firma***), tal como ilustra la Figura 2, izquierda. Este es el criterio empleado por las herramientas de certificación [3]. El otro enfoque es hacer el monitoreo instrucción por instrucción aumentando su *granularidad*, de modo que cada instrucción termina siendo una unidad a verificar, como se indica en la Figura 2, derecha. Cada unidad de verificación requiere el volcado del contenido de los registros de datos y el contador de programa a un archivo especial que luego será contrastado contra una referencia patrón. Este último abordaje genera volcados mucho mayores que el primero, pero es claramente más exhaustivo.

Las ventajas que ofrece la validación con máxima granularidad superan a las desventajas cuando

se la aplica a las etapas de desarrollo de un procesador. Mientras que en abordaje por punto de control la instrucción que produce el fallo no queda directamente identificada, el volcado instrucción por instrucción si lo hace.

La memoria de datos debe considerarse parte del estado del *core-rv32i* y por lo tanto su contenido hipotéticamente debería formar parte del archivo de volcado. A pesar de ello, durante la confección del toolchain se adoptó una posición conservadora de no hacer un volcado directo de la memoria de datos temiendo que los archivos resultantes fueran excesivamente grandes. Para evitarlo se optó por un monitoreo indirecto que consistió en almacenar valores en memoria y luego leerlos en un registro, de modo que la verificación solo consiste en monitorear estos últimos.

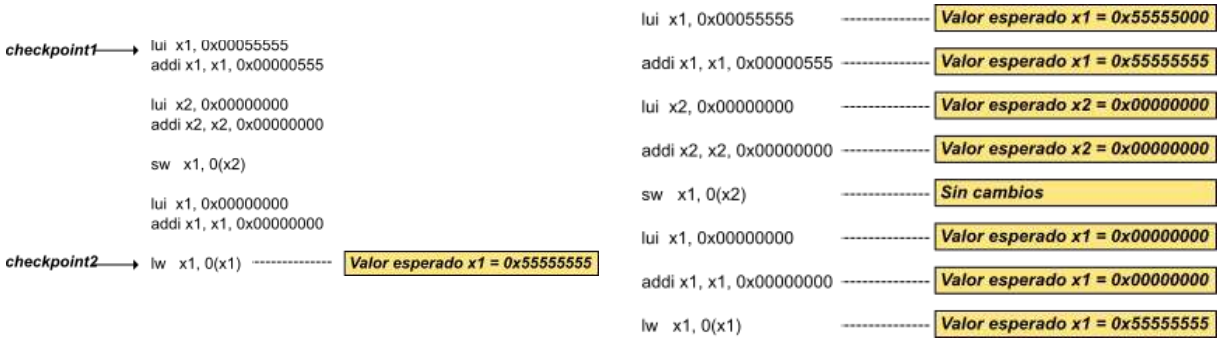


Figura 2. Alternativas para analizar la verificación de los resultados de la simulación. Verificación de puntos de control (izquierda). Verificación por instrucción (derecha).

Implementación del core-rv32i

Además de estar destinado a su uso en investigación, se espera que el proesador diseñado también tenga un uso académico por lo que se tomó especial cuidado en que su desarrollo sea incremental, incorporando gradualmente las diferentes funcionalidades (en el caso del set de instrucciones, se han ido implementando primero las aritméticas, luego saltos, y así sucesivamente) hasta lograr la versión completa. Por tal motivo se siguieron dos criterios que dieron lugar a seis versiones diferentes. El primero fue brindar versiones equivalentes de ejecución en un único ciclo de reloj (*Single Cycle execution)* y con *pipeline*. Se las distingue mediante el acrónimo **RISCV** seguido de alguno de los sufijos: **SC**, o **PL**. Un segundo sufijo destaca las funcionalidades incorporadas. En la primera etapa de desarrollo solo contó con la instrucción de carga de operandos inmediatos, y las instrucciones aritméticas y lógicas. En esta versión no se agregó sufijo. La segunda etapa incorporó todas las instrucciones de salto, razón por la cual se la distingue por el sufijo **J**. Mientras que la última etapa incorporó la memoria de datos junto con las instrucciones para accederla, y lleva el sufijo **D**.

Continuando con el mismo criterio de uso académico, para cada versión con pipeline se desarrollaron a su vez 2 sub-versiones: una sin manejo de hazards, y la otra con un manejo básico de éstos. El objetivo es que pueda verse donde se producen y cómo se eliminan los riesgos en el camino de datos.

La Tabla 2 muestra las diferentes alternativas expuestas anteriormente y permite apreciar cómo se han ido incorporando las diferentes versiones al modelo inicial.

Tabla 2. Roadmap del desarrollo del core-rv32i.

Segundo sufijo/Primer sufijo	SC	PL
Ninguno	Ejecución en ciclo único Instrucciones aritméticas	Ejecución con pipeline Instrucciones aritméticas
J	Ejecución en ciclo único Saltos y subrutinas	Ejecución con pipeline Saltos y subrutinas
D	Ejecución en ciclo único Acceso a memoria de datos	Ejecución con pipeline Acceso a memoria de datos

El presente trabajo se realizó sobre la versión ***RISC-V_PL_JD***, que es la más completa. Es evidente que las conclusiones son extensibles al resto de las versiones ya que están contenidas en la versión final utilizada en la parte experimental.

Ciclo de desarrollo

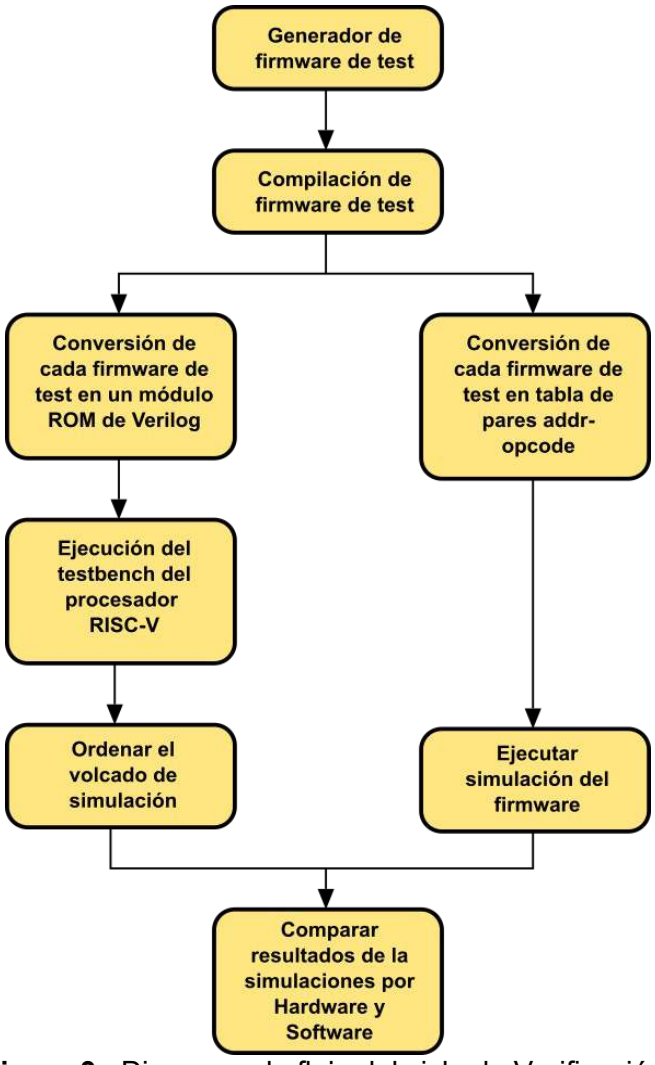


Figura 3. Diagrama de flujo del ciclo de Verificación.

La Figura 3 resume el diagrama de flujo del ciclo de verificación cuya primera etapa consiste en generar un conjunto de **Firmware de prueba**, de los que depende que se exploren la mayor cantidad posible de casos de operación con los que se encontrará el procesador. Cada uno de estos programas es empleado en 2 ramas del flujo del toolchain. La primera es una simulación del core-rv32i bajo ensayo. La otra es una simulación por software destinada a obtener los patrones de referencia.

En lo tocante a la simulación del core-rv32i por una decisión de diseño el programa a ejecutar debe suministrarse como un tabla ROM en Verilog mientras que el firmware generado en el primer paso del flujo es un código fuente en ensamblador. Su compilación produce un ejecutable en formato elf. Para llevarlo a una tabla Verilog primero se lo desensambla mediante el útil riscv64-unkwonk-elf-obj-dump y luego es convertido a Verilog mediante un útil (llamado asm2hdl) que se desarrolló especialmente para este toolchain. A partir de aquí es posible invocar al simulador Modelsim el cual toma un archivo de banco de pruebas que contiene las directivas para producir un volcado de simulación que informa de los registros que cambian de contenido por cada ciclo de reloj del sistema. El archivo de volcado generado puede ser más compacto por lo que se es post-procesador por otro útil (llamado collapse) desarrollado específicamente para este toolchain.

El volcado de simulación anterior debe contrastarse contra una referencia patrón que también debe generarse a partir del programa en ensamblador. Como se mencionó anteriormente se buscaron volcados con la máxima granularidad, esto es, informes de cambios en cada ciclo de reloj. Para ello desarrolló un simulador especial para este el toolchain (riscvsim). El mismo requiere que el programa a simular este codificado como una tabla dirección-código de operación. Para este fin se utilizó el útil asm2hdl al cual se le suministra la directiva para generar en su salida este último formato. En un apartado posterior se brindan más detalles sobre el simulador.

Por último, obtenido el volcado de simulación para el core-rv32i y generados los volcados de referencia solo resta compararlos y buscar diferencias.

Merece una explicación detallada los criterios adoptados para generar los programas de prueba. Aquí según el formato de instrucción, los operandos origen y destino ya sean registros y/o constantes inmediatas cobran una importancia preponderante. A continuación se describen diferentes esquemas generadores de firmware, dependiendo del tipo de instrucción.

Instrucciones tipo R: todos los operandos son registros, por ejemplo ***add x1, x2, x3***. El mejor caso de verificación consiste en evaluar todas las combinaciones entre registros, pero nos lleva a 32.768 casos por cada código de instrucción. Esta situación hará que el programa se extienda demasiado y por consecuencia, los volcados a archivo. Por este motivo se optó por un esquema menos exhaustivo donde se genera código de modo tal que los operandos registros cambien de una instrucción a la siguiente con numeración consecutiva. El Listado 1 ilustra el programa de prueba para la instrucción add usando como destino el registro **x0**.

```
add x0, x0, x1
add x0, x1, x2
add x0, x2, x3
…
add x0,r30,r31
add x0,r31,r31
```

Listado 1. Generación de instrucciones de prueba con registros de numeración consecutivos.

Este bloque de código se repite 32 veces en el mismo firmware empleando en cada caso un registro destino diferente (es decir, se repite el mismo código pero con **x1** como operando destino, luego con **x2**, y así sucesivamente hasta **x31**). Las restantes **instrucciones tipo R** incluidas en el firmware de test además de *add*, son las instrucciones *and*, *or*, *sub*, y *xor*.

Instrucciones tipo I: en estas instrucciones uno de los dos operandos origen es inmediato. Por ejemplo: ***addi x1, x2, 0x000aaaaa***. Para este grupo se siguió un esquema de combinación de operando origen y destino similar a la ***instrucciones tipo R***. Este conjunto de instrucciones son lógicas por lo que el firmware de prueba las ejecuta con 3 tipos de máscaras diferentes. Solo una instrucción de esta clase es aritmética, **addi**, para ella se generó un firmware igual a **add** excepto por el reemplazo del operando registro por el inmediato.

Instrucciones tipo B: en estas instrucciones los operandos principales son registros. Por ejemplo: ***beq x1, x2, label***. Se siguió un esquema de combinación de operando origen y destino igual a la ***ins trucciones tipo R***. Cada combinación de registros es verificada 2 veces, una en la que la condición evaluada a partir de los operandos es verdadera, (*ejecuta el salto*) y la otra en la que no lo es (*no ejecuta el salto*).

Instrucciones tipo U: en este grupo solo el operando destino es un registro. Por ejemplo: ***auipc x1, 0x00055555***. El único registro es el operando destino. No hay combinaciones de registros por lo que la prueba es una de las más simples. Se evalúa la instrucción con los 32 registros del core-rv32i y con 4 operandos inmediatos diferentes para cada uno.

Instrucciones tipo J: son dos instrucciones ***jal***, y ***jalr***. La instrucción ***jal*** utiliza un registro para almacenar la dirección de retorno (típicamente x1), que se comporta como operando destino. Por ejemplo: ***jal x1, subrt1***. Por su parte, la instrucción ***jalr*** agrega un segundo registro como operando origen, para ampliar el rango de salto. Por ejemplo: ***jalr x1, 0x00001000(x2)***. En ambos casos se utiliza un operando origen inmediato.

En la Figura 5 se presentan los algoritmos de test para ambas instrucciones. El firmware de verificación de la instrucción **jal** utiliza un encadenamiento de direcciones de retorno que permite evaluar la instrucción con cada uno de los registros de datos. El firmware de prueba de **jalr** precarga previamente las direcciones de retorno en los registros de datos y luego ejecuta **jalr** con cada uno de los valores ya cargados en esos registros.

Instrucciones LOAD y STORE: como se señaló previamente, las validaciones de las instrucciones de acceso a memoria de datos se realizan de manera indirecta, mediante el monitoreo de registros. El método consiste en escribir un valor conocido en una posición de memoria, para luego leerlo.

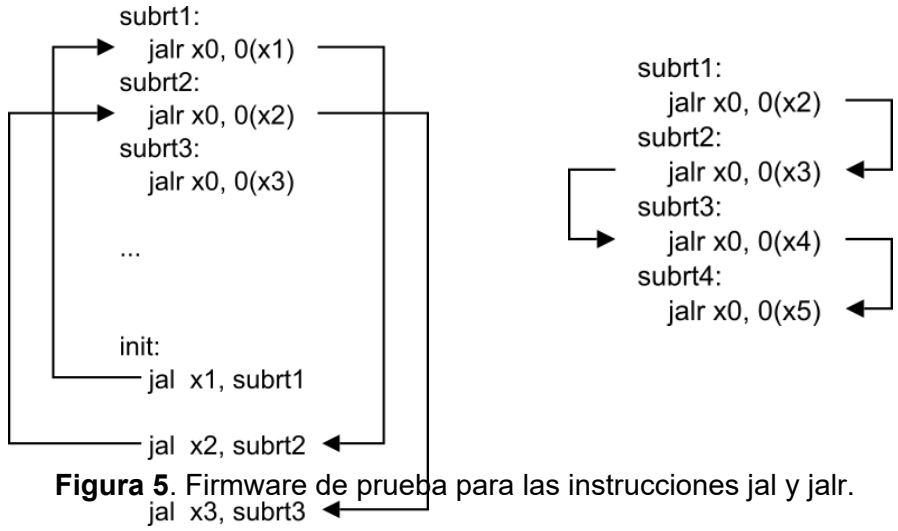


Figura 5. Firmware de prueba para las instrucciones jal y jalr.

Los bloques de firmware de prueba para las instrucciones **lw**, **lb**, **lbu, lh**, **lhu**, **sw**, **sb**, **sh,** siguen el mismo patrón de funcionamiento: primero se descarga a la memoria el set de datos de valores específicos, y luego se lee empleando a un registro como puntero que a su vez recibe el valor leído. El esquema se aplica a cada uno de los 32 registros de datos.

Instrucciones de desplazamiento: la cantidad de bits a desplazar viene dada por un registro por ejemplo: ***sll x1, x2, x3***. o por un inmediato, como por ejemplo:***slli x1, x2, 0x00005***. En uno u otro caso el firmware de prueba cargará una máscara sobre un registro (0xffffffff ó 0xa5bcb202) y procederá a desplazar diferentes cantidades de bits. Afortunadamente solo se puede desplazar desde 1 a 31 posiciones por lo que puede realizarse una prueba exhaustiva. El empleo de dos máscaras diferentes garantiza que la verificación sea útil también para el desplazamiento aritmético.

Simulación con un banco de pruebas

Por cada firmware de prueba se realiza una simulación a nivel RTL. Para ello el firmware debe integrarse al diseño del procesador como un módulo ROM en Verilog. La transformación de ensamblador a Verilog se implementa mediante un programa escrito en C++ pensado específicamente para este tipo de experimentos, que puede ser invocado desde una terminal, o desde un *script de bash*.

La simulación se realizó mediante el programa *ModelSim Intel FPGA Starter Edition 2020.1* ejecutado en modo consola y con un banco de pruebas que produce un archivo de volcado. Cada vez que se detecta un cambio en el contenido de un registro se agrega al archivo un *timestamp* y el nuevo valor del mismo. Para facilitar las comparaciones contra la referencia patrón, el archivo de

volcado es depurado mediante otro programa escrito en C++ pensado específicamente para este tipo de experimentos. El archivo de volcado depurado es contrastado contra la referencia patrón.

Generación de las referencia patrón

Una de las dificultades que encontramos durante el desarrollo del trabajo experimental fue disponer de un simulador de programas para la arquitectura RISC-V, que se pudiera controlar desde un programa externo de modo que genere volcados de simulación que puedan luego ser referencias válidas para contrastar con nuestros resultados. Es conocido el simulador *spike* [6] dentro de la comunidad RISC-V pero no se ajustaba a nuestros requerimientos experimentales, como simulador de las pruebas de validación, ya que su operación es de naturaleza interactiva y requiere ser gobernado por otro programa tal como si lo hiciera un usuario en forma manual. Existen técnicas para emplearlo desde un script de python pero el tiempo de ejecución se vuelve excesivo. Por tal motivo se decidió invertir solo una sola vez el tiempo de simulación de spike para validar un simulador más veloz y adecuado al objetivo de nuestro trabajo. Por tal motivo se desarrolló un simulador en C++ solo con los fines de producir un volcado de simulación que haga las veces de referencia patrón, pero que a diferencia de spike no cuenta con facilidades como breakpoints, ejecución paso a paso o una terminal interactiva, sino que se concentra únicamente en la validación del firmware bajo ensayo. Para convertirlo en referencia patrón, lo hemos sometido a las 47 pruebas, una por cada instrucción contemplada en la cadena de módulos de firmware de validación, que permitieron simular cada instrucción en este simulador y contrastadas contra spike, simulador de referencia del estándar RISC-V. Los resultados se han comparado y se han efectuado los ajustes necesarios en nuestro simulador de referencia hasta asegurar que los resultados coinciden.

El diagrama de flujo de validación comienza por generar programas de prueba en lenguaje ensamblador para el core-rv32i, uno por cada instrucción del procesador. Todos esos programas de prueba son copiados a un directorio especial donde son compilados y se obtienen los ejecutables correspondientes.

Resultados y Discusión

Para asegurar que el ciclo de verificación cumple su propósito se seleccionaron 102 diseños de core-rv32i con algún tipo de error. Todos ellos son copias del core-rv32i original (sin errores) al cual se le introdujo algún tipo de defecto. La Tabla 3 agrupa los diseños con los que se probó el ciclo de verificación, por cada unidad funcional significativa del core bajo ensayo.

Tabla 3. Resumen de los resultados de utilización del toolchain de validación con diseños fallidos.

Módulo fallido	*Cantidad de diseños*	*Tiempos*			*Firmware detector*
		MIN	*Promedio*	*MAX*	
ALU	*10*	*5,341s*	*118,636s*	*168,377s*	*add.s/reg10_no_hzrd.s*
Barrel-Shifter	*7*	*165,75s*	*220,96s*	*310,22s*	*reg_10_no_hzrd.s/srl.s*
Comparator	*10*	*15,97s*	*21,69s*	*30,81s*	*beq.s/bne.s*
Control-Unit	*12*	*2,73s*	*10,64s*	*35,29s*	*add.s/hazard_ex_wb_op2.s*
Instr-Deco	*1*	*2,78s*	*15,45s*	*49,49s*	*add.s/lb.s*
Load-Unit	*30*	*47,91s*	*74,2s*	*125,26s*	*lb.s/lh.s*
Mem-Deco	*4*	*51,22s*	*173,70s*	*226,43s*	*lb.s/sh.s*
Program-Counter	*4*	*2,85s*	*9,40s*	*15,95s*	*add.s/beq.s*
RAM	*1*	*210,83s*	*210,83s*	*210,83s*	*sb.s*
Reg-File	*5*	*2,98s*	*6,83s*	*15,81s*	*add.s/beq.s*
Stage-IF	*5*	*3,16s*	*29,14s*	*69,12s*	*add.s/lb_no_hzrd.s*
Stage-EX	*6*	*2,63s*	*8,93s*	*16,10s*	*add.s/beq.s*
Stage-ME	*4*	*2,55s*	*24,74s*	*45,11s*	*add.s/lb.s*
Store-Unit	*3*	*206,07s*	*214,02s*	*226,04s*	*sb.s/sh.s*

Para cada core-rv32i ensayado, nuestro toolchain de validación ejecutó las simulaciones con los firmware en ensamblador hasta encontrar el primer fallo, punto en el que detiene la ejecución. En

todos los casos se detectó que el diseño tenía una falla, lo que prueba la eficacia del toolchain de validación. La Tabla 3 presenta además los resultados de las diferentes versiones de core-rv32i ensayados, mostrando por cada módulo fallido, la cantidad de versiones con el fallo detectado por cada módulo, y los tiempos mínimos, máximo y promedio que tardó en hallarse el error. Además se indica el firmware en que ese error fue detectado (se mencionan dos firmware por agrupación que corresponden al tiempo más breve y más largo).

La Tabla 4 presenta una clasificación de los módulos de firmware que más frecuentemente detectaron errores en los 102 casos evaluados

Tabla 4. Cantidad de detecciones que realizaron los firmware de prueba.

Firmware	**Cantidad de aciertos**
add.s	32
beq.s	16
reg10_no_hzrd.s	10
lb.s	8
jal.s	6
auipc.s	5
sb.s	5
bge.s	3
addi.s/bgeu.s/hazard_ex_wb_op1.s/lh.s/sh.s/srl.s	2
add_no_hzrd.s/addi_no_hzrd.s/and.s/blt.s/bltu.s/bne.s/hazard_ex_wb_op2.s/ lb_no_hzrd.s/or.s/sll.s	1

El elevado número de fallos detectados por el firmware **add.s** llevó a experimentar con un sistema de validación modificado que solo emplea ese firmware para la verificación, lo que reduce considerablemente el tiempo de evaluación. El mayor tiempo de verificación siempre ocurre si el diseño no presenta fallos.

En los experimentos se promedió los **353s**. Corriendo la cadena de tests solo con el firmware **add.s** y probando los 102 core-rv32i fallidos, el peor tiempo fue de **2,187s**, según muestra la Tabla 5. Debe observarse que al no emplear el repertorio completo de firmware, el conjunto reducido de pruebas produce falsos negativos dando por válidos core-rv32i que se sabe que tienen errores (y que el repertorio original detectó). En la tabla 5 se indica el porcentaje de detección que se redujo a cerca del 30%. A los efectos de contrarrestar la baja tasa de detección se reincorporaron firmwares de prueba progresivamente siguiendo el criterio de poner los que mostraron mayor tasa de acierto según indica la Tabla 2. De esta manera se consiguió una tasa de detección de **88%** con tiempos no mayores a **20s**.

Tabla 5. Resultados de la evaluación de versiones reducidas del toolchain.

Firmwares	**Diseños fallidos detectados**	**Porcentaje de detección**	**Tiempo máximo de detección**
add.s	32	31,37%	2,187s
add.s hasta beq.s	52	50,98%	3,708s
add.s hasta reg10_no_hzrd.s	71	69,61%	4,755s
add.s hasta lb.s	75	73,53%	15,534s
add.s hasta jal.s	82	80,39%	15,689s
add.s hasta auipc.s	85	83,33%	17,204s
add.s hasta sb.s	87	85,29%	18,597s
add.s hasta bge.s	90	88,24%	20,412s

Conclusiones

Se ha conseguido desarrollar exitosamente una herramienta de validación para un core-rv32i, dada la extensa cantidad de diseños en que fue probada. Además, a partir del análisis de estos casos se consiguió obtener un refinamiento de la herramienta que permite acortar considerablemente el

tiempo de detección de fallos, característica deseable en las primeras fases de desarrollo de un diseño digital, donde se busca rápidamente enmendar los errores triviales, dejando las pruebas más exhaustivas y demandantes de tiempo para cuando el diseño está consolidado.

En línea con lo anterior, el refinamiento de la herramienta no es materia cerrada y admite variantes que permitan al desarrollador experto personalizar los firmware a utilizar de acuerdo al submódulo del core-rv32i que quiera verificar.

Un trabajo futuro debería completar la implementación del repertorio de instrucciones del core-rv32i y actualizar el toolchain en consecuencia. También será de mucha utilidad implementar la arquitectura de modo privilegiado [4], que permite el manejo de interrupciones y correr en un entorno multitarea.

Asimismo podrá dotarse a este toolchain de la flexibilidad para que se adapte a implementaciones de core-rv32i que difieran a nivel microarquitectura:

diferentes pipelines con tiempos de ejecución también diferentes
diferente ocupación del espacio de memoria (de datos y programa)
dispositivos de entrada/salida simples mapeados en memoria
personalización de los simuladores de software y hardware

La evolución natural de este toolchain es validar core-rv32i que estén corriendo en hardware. Ya se cuenta con conocimientos sobre este tipo de trabajos en la verificación de un hasher [5] operando en una FPGA y en un chip diseñado y fabricado en una foundry a través de convenios académicos. La incorporación de estos avances al toolchain es muy necesario ya que se cuenta con un core-rv32i corriendo en un kit de entrenamiento de FPGA [7] y es adecuado establecer métricas de validación sobre hardware equivalentes a las obtenidas por simulación.

Referencias

[1] Chu, Pong. 2006. "RTL Hardware Design using VHDL" pag. 125. a 128. Editorial Wiley 2006

[2] Patterson David, Andrew Waterman. 2018. “Guía práctica de RISC-V” pag. 16 a 18. Strawberry Canyon LLC 2018.

[3] RISC-V. RISC-V Architecture Test SIG https://github.com/RISC-V-non-isa/RISC-V-arch-test

[4] RISC-V. Especificación de la Arquitectura Privilegiada de RISC-V

https://RISC-V.org/wp-content/uploads/2017/05/RISC-V-privileged-v1.10.pdf

[5] Simone R. et al. (6 autores) "*Diseño, síntesis, fabricación y prueba de un hasher SHA256 en tecnología CMOS de 180nm,*" Revista Proyecciones de la UTN.BA, Vol. 13 Nº2, Octubre 2015, pp. 65-76. ISSN 1667-8400

[6] Spike. Simulador Spike RISC-V ISA https://github.com/RISC-V-software-src/RISC-V-isa-sim

[7] Terasic Kit de entrenamiento de Fpga DE0 Nano.
https://www.terasic.com.tw/cgi-bin/page/archive.pl?No=593

ANÁLISIS DE LA EXERGÍA EN SALA DE CALDERA

Diego M. Balducci[1], Alejandro R. Gorosito[1], Hernán M. Solier[1], Darío M. Godino[1], Leandro J. Marcipar[1], Leandro A. Gieco[1], Lucas D. Vicentin[1], Jonathan J. Dorella[1], Alicia E. Carbonell[1].

[1] Departamento Ingeniería Electromecánica, Facultad Regional Paraná, Universidad Tecnológica Nacional, Almafuerte N°1033.
ramongorosito@frp.utn.edu.ar

Resumen

El análisis de exergía utiliza los principios de conservación de masa y energía, junto con la segunda ley de la termodinámica. Presenta el análisis, diseño y mejora del uso de la energía de los elementos del sistema. En una planta industrial de la ciudad de Paraná, Entre Ríos, en sala de calderas se estudian los recursos energéticos y exergéticos, identificando la eficiencia y las pérdidas en cada uno de los componentes. Se presenta el análisis realizado y la propuesta de mejora. El sistema se divide en volúmenes de control claramente establecidos. Se calculan los flujos de masa, energía, exergía y destrucción de exergía. Se definen y calculan las aproximaciones de los parámetros de cada componente. Se elabora un diagrama de flujo con los sumideros de exergía. En la planta elegida el agua es el fluido de trabajo que se vaporiza en la caldera para diferentes usos. A lo largo del proceso se miden los estados del sistema a través del valor de sus propiedades. Para el cálculo de las irreversibilidades, que corresponde a la energía no aprovechada y la entropía generada, se usa la información sobre eficiencias de equipos y procesos, así como de la experiencia y el buen juicio profesional. El objetivo es difundir el análisis de exergía que se utiliza muy poco o casi nada en el sector industrial, con el consiguiente aumento del uso del método de la exergía en la industria y su aceptación gradual. El fin primordial es el ahorro de la energía desperdiciada y la minimización de su impacto ambiental. Se hacen diferentes propuestas para disminuir la energía desperdiciada y se presenta de manera simplificada el análisis exergético para que los destinatarios industriales valoren la bondad del método.

Palabras Clave: Exergía, Costo de energía perdida, Propuesta de eficiencia energética.

Introducción

La energía eléctrica y la de los combustibles que usan las calderas son económicamente más costosas que la energía térmica de los efluentes que está a sólo unos pocos grados de diferencia con la temperatura ambiente; prácticamente no tiene valor comercial, por lo que tiene gran importancia reducir el consumo de energía de las calderas en general (Barma, 2017). Pero, según los conceptos de la economía circular se pueden aplicar en el contexto de las calderas industriales y marcar una gran diferencia tanto en la sostenibilidad como en la eficiencia energética. Se puede aprovechar residuos como cenizas, lodo, biomasa o biogás para generar energía u otras aplicaciones, pueden diseñarse o adaptarse para maximizar la eficiencia en el uso de combustibles y reducir las emisiones; su enfoque va más allá del reciclaje, ya que considera los impactos ambientales a lo largo del ciclo de vida de un producto y los integra a un ciclo biológico natural en el diseño, fabricación y adaptación, considerando la valorización energética para aquellos desechos que no es posible reciclar (Espinosa, 2023).

Las calderas industriales son usadas en procesos de producción que necesitan gran cantidad de energía calórica. Queman distintos combustibles, para producir agua caliente y vapor de agua, como la forma útil de vehículos de calor. Existen distintos tipos de calderas, acuotubulares y humotubulares, de muy variados tamaños según las necesidades, que habitualmente usan como combustible gas natural, diésel u otros elementos. La salida de gases por chimenea de las calderas producen la contaminación del aire y el efecto invernadero. Por el gran consumo habitual de las calderas industriales, hay que asegurar una gestión eficiente de la energía, minimizando los recursos usados y el impacto hacia el medio ambiente; requieren un sistema de alimentación seguro y fiable que inyecte combustible y agua, a la velocidad y presión adecuadas para el funcionamiento

óptimo. En línea con el Pacto Mundial de la ONU España 2024, se propone hacer frente al cambio climático, calcular, reducir, compensar la huella de carbono y acordar un plan de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero; se hace imperativo mitigar los efectos negativos sobre la sociedad y el medioambiente, y tener un comportamiento responsable, ético y transparente de todos los involucrados (Fernández, 2023). El recorte del gasto en petróleo y gas es una de las medidas hacia el escenario de emisiones netas cero, pero se hace necesario el desarrollo de proyectos para minimizar las emisiones ineficientes y contaminantes para generar una producción industrial sustentable (García San Eugenio, 2023).

La caldera seleccionada para los cálculos de este estudio particular es humotubular y produce vapor de agua para ser usada en distintos procesos en una papelera del Parque Industrial de la ciudad de Paraná. Los gases calientes de la combustión pasan dentro de los tubos dispuestos dentro de la caldera; el agua está dispuesta alrededor de los tubos y absorbe el calor generado por los gases.

Las medidas de mantenimiento para la gestión de la energía se llevan a cabo de forma periódica, normalmente una vez al año, e incluyen: sellado de fugas en válvulas y juntas, reparación del aislamiento dañado, mejora del diseño del aislamiento existente, mantenimiento de los medidores de temperatura y presión, mantenimiento de las trampas de vapor para que puedan eliminar el condensado y limpieza de las superficies de transferencia de calor; un buen mantenimiento asegura que la calidad del vapor sea la adecuada, que la presión del vapor y los rangos de temperatura estén dentro de las tolerancias especificadas para el equipo. La gestión de la energía para bajar los costos suelen involucrar acciones puntuales como las siguientes: apagar el equipo cuando no sea necesario, tener cubiertas con cerradura para el equipo de control para evitar la manipulación no autorizada, operar el equipo a su capacidad específica siempre que sea posible, agregar instrumentos de medición y monitoreo en la mejor ubicación posible para optimizar el control del funcionamiento del sistema, revisar la ubicación de la caldera para minimizar los desperdicios de energía, estudiar los procesos para estabilizar o reducir la demanda de vapor o agua y evaluar los flujos de calor residuales para tener oportunidad de recuperación de calor (Valavanidis, 2023).

En este trabajo, el análisis exergético es presentado como una herramienta para minimizar el impacto en el medio ambiente del uso de la energía y hacer un rediseño de las ineficiencias en los sistemas, identificando las pérdidas en el proceso de generación de vapor.

La energía que es convertible en otras formas de energía en un entorno dado se denomina energía útil o exergía. La exergía produce la potencia máxima que puede tener el sistema cuando se lleva a un estado de equilibrio termodinámico frente a un estado de referencia. La entropía es una medida de la cantidad de desorden molecular dentro de un sistema. Los valores de la entropía específica se encuentran en tablas termodinámicas. La entropía de un sistema puede ser aumentada o disminuida por el transporte de energía a través de los límites del sistema. El calor y el trabajo son mecanismos de transferencia de energía. La dirección natural del cambio del estado de un sistema es del orden al desorden. En cualquier transferencia de energía dentro de un sistema cerrado, la entropía del sistema aumenta. La dirección natural de la transferencia de energía es hacia el aumento de la entropía, de lo más caliente a lo más frío, o todas las transferencias o conversiones de energía son irreversibles. La entalpía mide la cantidad de calor que un sistema libera o absorbe del entorno a presión constante. Cuando un sistema está aislado, la entropía de un sistema aumenta continuamente debido a procesos irreversibles y toma el valor máximo posible cuando el sistema alcanza un estado de equilibrio termodinámico. Para una alta eficiencia termodinámica, las transferencias o conversiones de energía deben organizarse, en igualdad de condiciones, de modo que el cambio en la entropía sea mínimo. Un intercambio de entropía está asociado con el intercambio de calor y materia. Cuando no se produce ninguna acumulación de entropía dentro de un sistema, la entropía que fluye fuera del sistema es siempre mayor que la entropía que fluye hacia adentro, la diferencia surge debido a la entropía producida por procesos irreversibles dentro del sistema. El calor y el trabajo son mecanismos de transferencia de energía y producen cambios en la entropía de un sistema. El trabajo se lleva a cabo por una fuerza que actúa a través de un espacio. El calor requiere una diferencia de temperatura para su transferencia. La energía cinética y potencial

dependen del entorno en el que existe el sistema. En particular, la energía potencial de un sistema depende de la elección de un nivel cero. La energía interna de un sistema depende de las propiedades de los materiales del sistema, como la composición, forma física, y las variables temperatura, presión, campo eléctrico, campo magnético, área de superficie, masa, entre otras. La energía interna puede tener muchas formas, incluyendo mecánica, química, eléctrica, magnética, superficial o térmica. El cambio de energía interna de un sistema está determinado por los parámetros de sus estados final e inicial. La energía térmica de un sistema aumenta a medida que aumenta la temperatura; el calor es la energía que se transfiere entre los sistemas. La primera ley de la termodinámica establece que la energía se conserva, por lo que no se puede obtener más energía de un sistema de la que se le da. La segunda ley afirma que la entropía total después de un proceso es igual o mayor que la anterior. La formulación de Kelvin-Planck de la segunda ley dice que es imposible que un sistema reciba una cantidad determinada de calor de un solo depósito de alta temperatura y proporcione una cantidad igual de rendimiento de trabajo; permite determinar el trabajo máximo que se puede producir. Eso es, que un motor térmico o una caldera no pueden tener una eficiencia del 100%. La metodología exergética combina los principios de la primera y segunda ley de la termodinámica (Kappatos, 2021), (Dincer, 2015).

Desarrollo

El estudio analítico (Ohijeagbon, 2013), presenta un marco para evaluar las propiedades termodinámicas y las variables de rendimiento asociadas con los flujos de materia en calderas, el caudal másico, temperatura, entalpía, entropía, transferencia de energía y exergía con interacciones químicas, térmicas y materiales, las eficiencias y pérdidas exergéticas en las calderas de vapor.

Existen variables operativas paramétricas directas, cuyos valores son factibles de aproximar mediante la medición del estadístico respectivo. Estas se monitorean y registran directamente desde los equipos de medición de la caldera durante un período de tiempo específico. Otras variables son indirectas, se pueden calcular aproximadamente a partir de las mediciones anteriores, como la conservación de la masa y energía, ecuaciones de equilibrio de exergía, la eficiencia de la caldera de vapor en relación con los recursos de entrada y salida, las magnitudes y tipos de irreversibilidad o pérdidas de exergía y las ubicaciones de estas pérdidas. Las cantidades medibles son temperatura, presión, caudal másico de agua y vapor con distintos consumos. Entre las variables indirectas se pueden citar, la entropía, la entalpía, caudales, flujos de calor y energía.

El flujo de exergía, ε, es la suma del flujo de exergía química, ε^q, y termomecánica o física, ε^f, como se expresa en (1). La exergía química en una caldera ser refiere a la cantidad de energía útil que se puede obtener del combustible en el proceso de combustión.

$$\varepsilon = \varepsilon^f + \varepsilon^q. \quad (1)$$

El flujo de exergía termodinámica específica es:

$$\varepsilon^f = h - h_0 - T_0(s - s_0), \quad (2)$$

donde $h_0\ y\ s_0$ son la entalpía y la entropía en los estados de temperatura y presión de referencia, $T_0\ y\ P_0$, respectivamente.

El entorno de referencia considerado para la caldera se supone en equilibrio estable, actúa como un sistema infinito y sólo experimenta procesos internos reversibles en los que sus propiedades intensivas de temperatura, presión y composición química se mantienen constantes. $T_0 = 25°C$, $P_0 = 100000\ Pa$.

Las especificaciones de los combustibles para calderas son conocidas y sirven para determinar los parámetros de combustión, como la eficiencia de la combustión, los requisitos mínimos de aire, la concentración de CO_2 y los factores de emisión.

El gas como combustible de la caldera se quema en presencia de oxígeno. Esta reacción química libera energía térmica que calienta el agua en la caldera que se convierte en vapor. La exergía química indica cuánta energía puedes aprovechar en las reacciones químicas; es la parte de la energía liberada durante la combustión que realmente se puede utilizar; requiere optimizar la mezcla de combustible y oxígeno con las temperaturas adecuadas para obtener la mayor energía útil.

La caldera puede ser considerada como una cámara de combustión y un intercambiador de calor, Fig. 1. La eficiencia energética y exergética en estos dos procesos es la expresada en las ecuaciones (3) y (4), (Saidur, 2010).

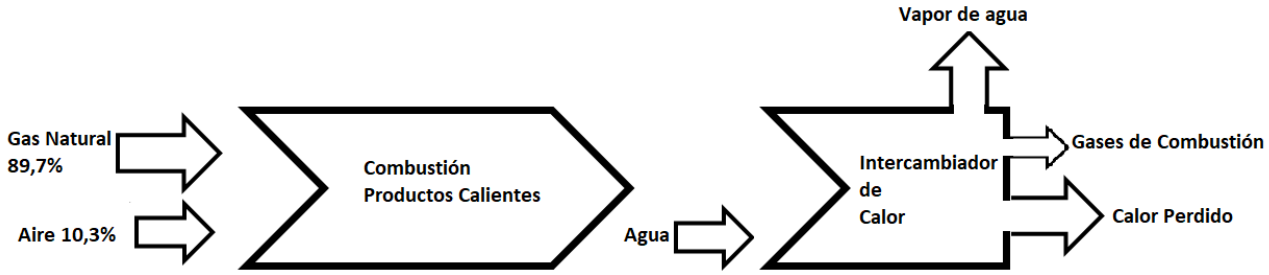


Fig. 1. Representación de los volúmenes de control de la caldera

$$\eta = \frac{energía\ útil}{energía\ total\ ingresada}, \tag{3}$$

$$\psi = \frac{exergía\ útil}{exergía\ total\ ingresada}. \tag{4}$$

La combustión del gas natural en una caldera es un proceso químico en el que el metano (CH_4), el principal componente del gas natural reacciona con el oxígeno (O_2) del aire. La combustión del gas natural no requiere nitrógeno como reactivo. El proceso principal involucra CH_4 y O_2 del aire, produciendo CO_2 y H_2. Sin embargo, el aire utilizado en la combustión contiene aproximadamente un 75% de nitrógeno (N_2), que no participa directamente en la reacción química, pero puede influir en la formación de óxidos de nitrógeno a altas temperaturas. La ecuación química estequeométrica de esta reacción está expresada en la fórmula (5).

$$CH_4 + 2(O_2 + 3.76\ N_2) \rightarrow CO_2 + 2H_2O + 7.52\ N_2. \tag{5}$$

Análisis de la primera ley de la termodinámica en la cámara de combustión: la cámara de combustión de una caldera está aislada por lo que la disipación de calor al entorno es casi nula. Tampoco hay trabajo realizado y la energía cinética y potencial del gas y del aire se desprecian. La suma de los caudales másicos entrantes será igual a los caudales másicos de la mezcla saliente.

En un estado estacionario el balance energético se expresa en (6) y (7).

$$\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out} = \dot{E}_{sistema} = 0, \tag{6}$$

$$\dot{m}_{gn} h_{gn} + \dot{m}_a h_a = \dot{m}_p h_p, \tag{7}$$

donde el subíndice *gn*, representa al gas natural, *a* al aire y la *p* a la mezcla saliente de productos calientes.

La eficiencia energética de la cámara de combustión puede escribirse según (8), por (3), (6) y (7).

$$\eta = \frac{\dot{m}_p h_p}{\dot{m}_{gn} h_{gn}}. \tag{8}$$

Para el gas (Cengel, 2019), la entalpía especifica y la eficiencia de la cámara de combustión adiabática es aproximadamente el 100%. La Fig. 2 muestra la distribución del calor aportado por el combustible en una caldera, cuando el calor de los gases de salida por chimenea está entre el 10% y 30%; el rendimiento térmico de la caldera, según la primera ley de la Termodinámica, está entre el 65% y el 80%; el calor restante se pierde por purga y radiación.

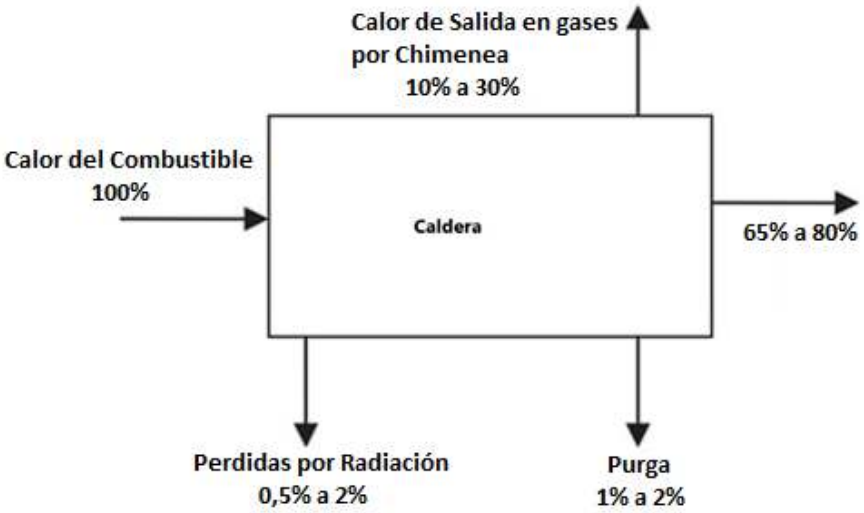


Fig. 2. Distribución de calor en la caldera.

Segunda ley de la Termodinámica en la cámara de combustión: la potencia máxima de salida o potencia reversible se determina a partir del balance de exergía aplicado a la caldera, considerando una temperatura ambiente de 25°C y suponiendo que la tasa de cambio de exergía en el sistema de la caldera es cero. Las formulaciones del balance exergético se han establecido utilizando la metodología desarrollada (Cengel, 2019), expresada en (9) y (10), donde es considerado en estado estacionario.

$$\dot{X}_{in} - \dot{X}_{out} - \dot{I}_C = \dot{X}_{sistema} = 0, \tag{9}$$

$$\left(\dot{m}_{gn}\varepsilon_{gn} + \dot{m}_a\varepsilon_a\right) - \dot{m}_p\varepsilon_p - \dot{I}_c = 0. \tag{10}$$

En la ecuación (10), ε es el flujo de exergía para gas, aire y producto caliente e $\dot{I}_c$ es la exergía destruida.

De (4), la eficiencia exergética de la cámara de combustión se expresa en (11).

$$\psi_C = \frac{\dot{m}_p\varepsilon_p}{\dot{m}_{gn}\varepsilon_{gn}}. \tag{11}$$

Resultados

Primera ley en la cámara de combustión: considerando $h_{gn} = 45000\,\frac{kJ}{kg}$, $h_a = 400,98\,\frac{kJ}{kg}$, $\dot{m}_{gn} = 0{,}115\,\frac{\text{kg}}{s}$ y $\dot{m}_a = 2\,\frac{\text{kg}}{s}$ se tiene que $\dot{E}_{in} = \dot{m}_{gn}h_{gn} + \dot{m}_a\,h_a$ y se obtiene $\dot{E}_{in} = 5976{,}96\,\frac{kJ}{kg}$. Las entalpias se obtuvieron de la Tabla 27, (Cengel, 2019) y los flujos másicos se calcularon. Las entropía del aire y del gas natural son $s_a = 1{,}9919\,\frac{kJ}{kgK}$, $s_{gn} = 2{,}0\,\frac{kJ}{kgK}$ (Saidur, 2010).
Segunda ley de la Termodinámica en la cámara de combustión: se deben determinar las irreversibilidades en la cámara de combustión $\dot{I}_c = \dot{m}_{gn}\varepsilon_{gn} + \dot{m}_a\varepsilon_a - \dot{m}_p\varepsilon_p$ siendo $\varepsilon = h - T_0 s$ aplicado el flujo de exergía al fluido en estudio en cada caso, resulta $\dot{I}_c = 1767{,}32\,\frac{kJ}{kg}$. La exergía

de entrada a la cámara de combustión es $\dot{m}_{gn}\varepsilon_{gn} + \dot{m}_a\varepsilon_a = 4721{,}24\,\frac{kJ}{kg}$. La exergía de salida por lo productos calientes es $\dot{m}_p\varepsilon_p = 1522{,}68\,\frac{kJ}{kg}$. El rendimiento exergético de la cámara de combustión se obtiene aplicando (11), $\psi_c = 57{,}8\ \%$.

Primera ley para el intercambiador: este es un dispositivo en el que el calor se transfiere del fluido caliente al frío a través de la pared que los separa. Un intercambiador de calor generalmente no implica ningún trabajo y la energía cinética y potencial tiene cambios insignificantes para cada flujo de fluido. El intercambiador de calor suele estar bien aislado para evitar cualquier pérdida de calor en el medio ambiente. Pero, hay una pequeña cantidad de calor que se disipará. El balance de energía para el intercambiador de calor se muestra en (12), donde el caudal másico para los productos térmicos de combustión $\dot{m}_p$, el caudal másico para los gases de combustión a la salida del intercambiador que sale por chimenea es $\dot{m}_{gc}$, el caudal másico para el agua es $\dot{m}_l$ y el caudal másico para el vapor de agua es $\dot{m}_v$. Como en el intercambiador de calor, no hay mezcla de fluidos se puede suponer que $\dot{m}_p = \dot{m}_{gc} = \dot{m}_H$ y que $\dot{m}_l = \dot{m}_v = \dot{m}_C$.

$$\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out} = \dot{E}_{sistema} = \dot{Q}. \tag{12}$$

La ecuación (12) puede reescribirse en función de las entalpías como (13).

$$\dot{m}_H\left(h_p - h_{gc}\right) + \dot{m}_c(h_l - h_v) = \dot{Q}, \tag{13}$$

y la eficiencia energética del intercambiador de calor es:

$$\eta_H = \frac{\dot{m}_C(h_v - h_l)}{\dot{m}_{gc}h_{gc}}. \tag{14}$$

Se ha considerado el catálogo del fabricante y las especificaciones de la caldera marca Tanzi, perteneciente a una empresa de procesos ubicada en el Parque Industrial de la ciudad de Paraná, con una producción de vapor horaria de $6700\ kg\ vapor/h$. Los gases, producto de la combustión, circulan a la salida de la cámara de combustión en dos pasos por los tubos calefactores. La caldera tiene $160\ m^2$ de superficie de calefacción, compuesta por las superficies externas de la cámara de combustión y de todos los tubos calefactores; de fondo seco con 173 tubos calefactores de 63 mm de diámetro interior. Se consideran los siguientes caudales másicos en $\frac{kg}{s}$: $\dot{m}_p = 2{,}115$, $\dot{m}_l = 1{,}86$ y las entalpías en $\frac{kJ}{kg}$: $h_v = 2782{,}73\ h_l = 419{,}15,\ h_p = 3504,\ h_{gc} = 361{,}44$.

Resulta según (13) que $\dot{Q} = 814{,}17\ \frac{kJ}{kg}$, una eficiencia energética de intercambiador según (14) $\eta_H = 0{,}843$.

La segunda Ley en el intercambiador se puede expresar con (15) y (16) en estado estacionario.

$$\dot{X}_{in} - \dot{X}_{out} - \dot{I}_H = \dot{X}_{sistema} = 0, \tag{15}$$

$$\dot{m}_p\left(\varepsilon_p - \varepsilon_{gc}\right) + \dot{m}_l(\varepsilon_l - \varepsilon_v) - \dot{I}_H = 0. \tag{16}$$

De (2) y (15), considerando una temperatura de referencia de $25°C = 298{,}15\ K$ y las entropías en $\frac{kJ}{kgK}$ del producto de la cámara de combustión $s_p = 7{,}0716$, de salida del intercambiador $s_l = 1{,}3071$, del agua del vapor de agua $s_v = 6{,}546$, y de los gases de la combustión $s_{gc} = 1{,}9$, (Barma, 2017) y (Saidur, 2010), con lo que resulta $\dot{I}_H = 1565{,}94\frac{kJ}{s}$.

El balance de exergía en la caldera completa se obtiene sumando la variación de exergía de la cámara de combustión y el intercambiador de calor:

$$\dot{I}_B = \dot{I}_c + \dot{I}_H \tag{17}$$

La eficiencia exergética del intercambiador y de la caldera completa se expresan en (18).

$$\psi_H = \frac{\dot{m}_l(\varepsilon_v - \varepsilon_l)}{\dot{m}_p(\varepsilon_p - \varepsilon_{gc})} \quad ; \quad \psi_B = \frac{\dot{m}_l(\varepsilon_v - \varepsilon_l)}{\dot{m}_{gn}\varepsilon_{gn}} \tag{18}$$

Para el caso seleccionado, según (17) y (18), $\psi_H = 0{,}442$, $\dot{I}_B = 4764{,}50\frac{kJ}{s}$ e $\psi_B = 0{,}291$.

Y la eficiencia energética de la caldera completa, con los datos del problema es

$$\eta_B = \frac{\dot{m}_l(h_v - h_l)}{\dot{m}_{gn}h_{gn}} = 0{,}849. \tag{19}$$

Las siguientes Tablas, N°1 y N°2, exponen los resultados:

Tabla 1. Resumen de datos y resultados

	Energía consumida kJ/s	Irreversibilidad kJ/s
Cámara de combustión	5976	1767,32
Intercambiador de Calor	814,17	1565,94
Caldera	6790,17	3333,26

Tabla 2. Resumen de eficiencias

Eficiencias		
	Eficiencia Energética %	Eficiencia Exergética %
Cámara de combustión	100	57,8
Intercambiador de Calor	84,3	44,2
Caldera	84,9	29,1

A modo resumen, se visualiza el flujo de lo mencionado en las Figs. 3 y 4; se estudiaron dos volúmenes de referencia para el análisis de exergía; la Fig. 3 corresponde a la cámara de combustión en donde el 37,4% de la exergía se pierde por las irreversibilidades del proceso y el 62,6% son los productos calientes que entran al intercambiador de calor; y en la Fig. 4 ingresan los productos calientes más el agua de alimentación de caldera al intercambiador de calor; allí se pierden por irreversibilidades el 47 % del total de la exergía perdida en la caldera.

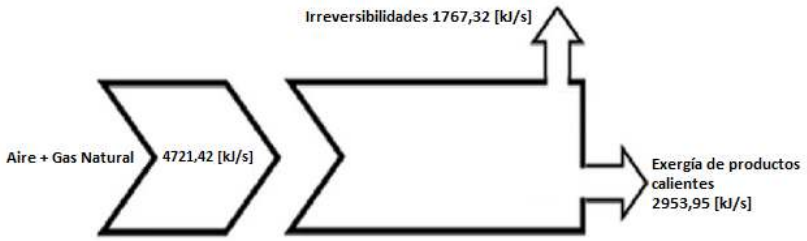


Fig. 3. Flujo de exergía en la cámara de combustión

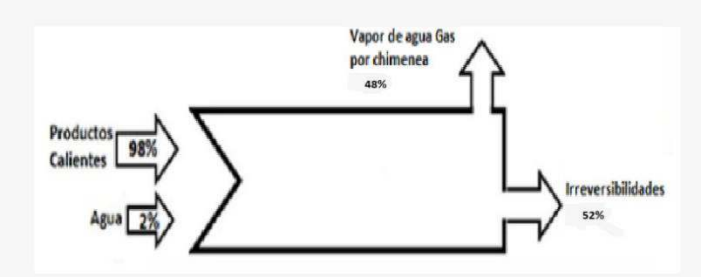


Fig. 4. Flujo de exergía en el intercambiador de calor

La potencia máxima de salida o potencia reversible se determina a partir del balance de exergía aplicado a la caldera considerando el límite con una temperatura ambiente de 25°C y suponiendo que la tasa de cambio de exergía en el sistema de la caldera es cero. Las formulaciones del balance exergético se han establecido utilizando la metodología desarrollada, (Aljundi, 2009) y (Dincer, 2015).

Conclusiones

De este estudio se pueden extraer las siguientes consideraciones:

- ✓ El consumo total de energía de la caldera es de 6790,17 kJ/s donde casi el 85% es energía útil.
- ✓ Se ha encontrado que la eficiencia exergética es mucho menor que la eficiencia energética en la caldera. La eficiencia energética de la caldera es casi 85% mientras que la eficiencia exergética es solamente un 29%. Esto significa que más del 50 % de la energía se degrada.
- ✓ Se ha encontrado que la cámara de combustión es el principal contribuyente a la destrucción de exergía total en la caldera. A pesar de eso la eficiencia exergética de la cámara de combustión es mayor que la del intercambiador y que la de la caldera completa. Se propone estudiar el régimen de funcionamiento del ventilador y del quemador para ajustarlo convenientemente a las necesidades de caudal de aire y de flujo de combustible que necesita la cámara de combustión en función de la producción de vapor. Ello se puede lograr por medio de sensores y dispositivos de control para ajustar la mezcla de ingreso.
- ✓ Se propone continuar líneas de trabajo de investigación en recuperar calor de los gases de combustión como una de las formas efectivas de ahorrar energía en una caldera.
- ✓ Se hace necesario controlar el estado de la superficie exterior de los tubos calefactores del intercambiador de calor a fin de determinar el grado de incrustación que tienen y operar con el tratamiento químico del agua para disminuir la cantidad de sales disueltas en el agua de alimentación de la caldera. Se hace necesario usar nuevos aislantes y empaquetaduras que maximicen la eficiencia exergética.

Bibliografía

Aljundi, I. H. (2009). Energy and exergy analysis of a steam power plant in Jordan. *Applied thermal engineering*, *29*(2-3), 324-328.

Barma, M. C., Saidur, R., Rahman, S. M. A., Allouhi, A., Akash, B. A., & Sait, S. M. (2017). A review on boilers energy use, energy savings, and emissions reductions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *79*, 970-983.

Cengel, Y. (2019). Termodinámica. Mexico, Mexico. McGraw-Hill.
Dincer, I., & Rosen, M. A. (2015). *Exergy analysis of heating, refrigerating and air conditioning: methods and applications*. Academic Press.

Dincer, I., & Rosen, M. A. (2015). *Exergy analysis of heating, refrigerating and air conditioning: methods and applications*. Academic Press.

Espinoza, A. (2023). Economía circular: una aproximación a su origen, evolución e importancia como modelo de desarrollo sostenible. *Revista de economía institucional*, *25*(49), 109-134.

Fernández, J. B., & Predassi, S. (2023). Implementación de economía circular en la industria: el diseño circular como herramienta estratégica. *Innovación y Desarrollo Tecnológico y Social*, *5*.

Garcia San Eugenio, H. (2023). La transparencia y la sostenibilidad como puntos de partida en la comunicación corporativa de las empresas españolas.

Kappatos, V. (2021). Maintenance: A key factor for energy efficiency. *Aspects of the Energy Union: Application and Effects of European Energy Policies in SE Europe and Eastern Mediterranean*, 321-336.

Saidur, R., Ahamed, J. U., & Masjuki, H. H. (2010). Energy, exergy and economic analysis of industrial boilers. *Energy policy*, *38*(5), 2188-2197.

Ohijeagbon, I. O., Waheed, M. A., & Jekayinfa, S. O. (2013). Methodology for the physical and chemical exergetic analysis of steam boilers. *Energy*, *53*, 153-164.

Valavanidis, A. (2023). Global Electricity Generation from Renewable Sources.?language=es, Licence: CC BY 4.0 (report); CC BY NC SA 4.0 (Annex A).

ROBOT SEGUIDOR DE LÍNEA PID (PROPORCIONAL_INTEGRAL_DERIVATIVO)

Bruno Julián Chiabrando[1], Ángel Augusto Aguilar[1], Rodolfo Podadera[1]

[1]Grupo de Investigación en Robótica y Control (GIROC), Departamento de Ingeniería Electrónica, Facultad Regional San Francisco, Universidad Tecnológica Nacional, Avenida de la Universidad 501 cp:2400, San Francisco (Córdoba).
rpodadera@facultad.sanfrancisco.utn.edu.ar

Resumen

Se desarrolla un Robot Seguidor de Línea, el cual es capaz de seguir un camino trazado por una línea central continua, que puede ser de un color que contrasta con el del piso, por lo general la línea es blanca y el resto del suelo es negro. Una de las virtudes de esta configuración es que se puede realizar de múltiples maneras y pueden ser tan complejos como la persona que lo realice quiera realizarlo.
El robot realizado es controlado por un sistema proporcional integral derivativo conocido como PID, los parámetros de este sistema se pueden configurar en cualquier momento a través de una sencilla interfaz de usuario (UI), además se traza en tiempo real el error obtenido por el TCRT5000 matriz de sensores. El microcontrolador ESP32 con FreeRTOS se utiliza para poder realizar las múltiples tareas simultáneamente, controla sensores, actuadores y la comunicación con el servidor web a través de HTTP. El dispositivo final tiene un correcto funcionamiento y una alta fidelidad a la hora de estabilizar en los cambios del circuito a seguir, de esta forma cumple con los objetivos principales, alcanzando una mayor eficiencia que los robots de velocidad convencionales.

Palabras Clave: PID, robot, seguidor de línea, FreeRTOS.

Introducción

El presente trabajo busca realizar un robot que sea capaz de recorrer cualquier circuito que posea una línea central continua de manera autónoma. El dispositivo cuenta con un microcontrolador, encargado de controlar a través de un sistema proporcional – derivativo – integral PID) la velocidad de los motores lo cual nos permite alcanzar una mayor eficiencia y velocidad a la hora de seguir la línea. Los parámetros de dicho controlador PID pueden ser monitoreados y modificados desde una interfaz de usuario (UI) la cual se puede acceder de manera local a través de un servidor web creado por el microcontrolador ESP32. Para alcanzar una mayor eficiencia tanto en el funcionamiento como en la comunicación con el usuario se hace uso de FreeRTOS que nos permite ejecutar las distintas tareas necesarias en simultaneo, optimizando los recursos brindados por el microcontrolador seleccionado.

Materiales y métodos

Robots seguidores de línea

Las tecnologías utilizadas para desarrollarlos evolucionan y uno de los motivos principales son las distintas competencias que se realizan. El robot desarrollado cumple con las reglas explícitas por la Liga Nacional de Robótica de Argentina por lo que se encuentra apto para competir en las próximas ediciones.

Chasis

Se fabricó de manera aditiva (impresora 3D) respetando las dimensiones máximas de los robots velocistas que deben ser de 20 cm de largo x 14 cm de ancho, con un límite en altura de 10cm. En la figura 1 se puede apreciar un render 3D del diseño.

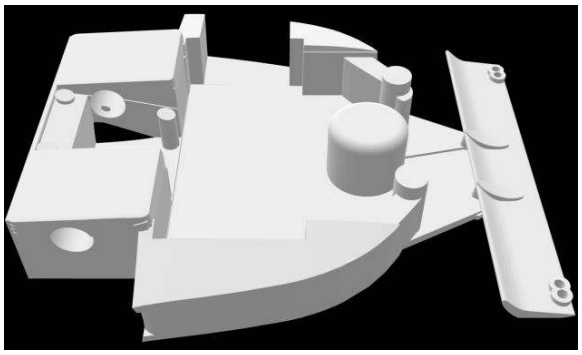


Fig. 1. Render de Chasis 3D.

Actuadores

Los mismos son los elementos principales del robot velocista, y de ellos depende el desempeño que se pueda alcanzar, aquí se utiliza un moto_reductor pololu HP, 6V de corriente continua. El término reducción refiere a cuantas vueltas dará el motor para que los engranajes produzcan una vuelta a la salida del eje, de esta manera se incrementará el torque a costas de una reducción de velocidad.

Fig. 2. Motoreductor

Sensores

Para la detección de la línea y ubicación del robot se utilizaron ocho sensores ópticos infrarrojos TCRT5000 dispuestos en un circuito impreso y fueron trabajados de manera digital conectando cada uno de los sensores a una entrada digital y se los alimentó con 3.3 V.

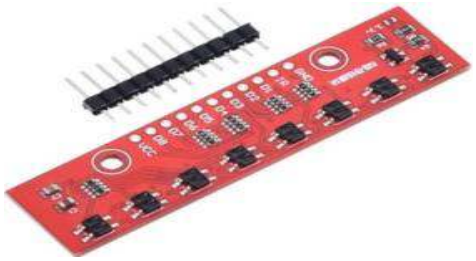


Fig. 3. Arreglo de ocho sensores TCRT5000.

Circuito impreso de potencia

Para el control de los actuadores se diseñó un circuito encargado de recibir una señal de control PWM y alimentar a los motores en mayor o menor medida.

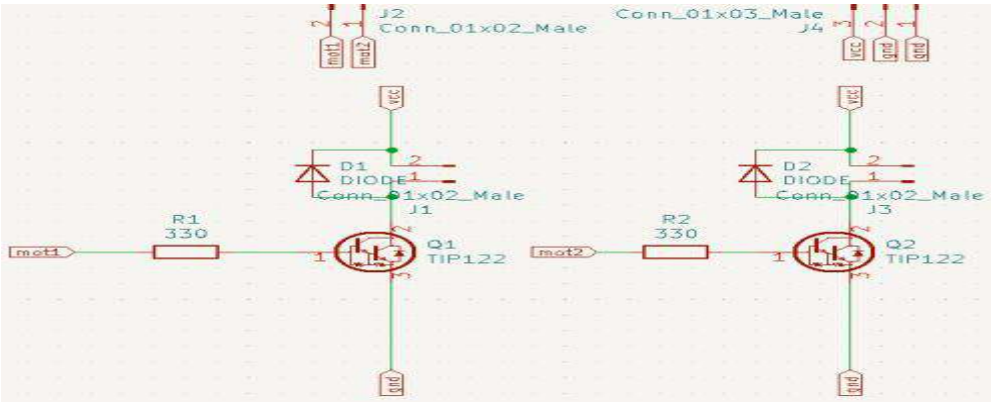


Fig. 4. Esquemático para controlar actuadores.

El TIP122 está formado por un par de transistores NPN en conexión Darlington, su funcionamiento es igual al de un NPN. Excitando la base del mismo a través de una señal PWM podemos establecer un flujo de corriente entre emisor y colector y así alimentar a los motores.
En esta placa podemos encontrar el conexionado de los dos motores como la alimentación y la señal de PWM proveniente de la placa de control.

Microcontrolador

Para el control del dispositivo se utiliza el microcontrolador de Espresif ESP32 en formato dev module. El mismo integra Wifi, Bluetooth, los GPIOS necesarios y también brinda la posibilidad de uso de sistema operativo FreeRTOS, que permite administrar un sistema multitareas robusto para obtener aprovechar de la manera más óptima el algoritmo.

Fig. 5. Microcontrolador.

Circuito impreso de control

Para controlar el robot se diseñó una segunda placa en donde va ubicado el módulo ESP32 junto con sus periféricos, los distintos pines para conexionado de sensores, motores, y alimentación de la placa de potencia.

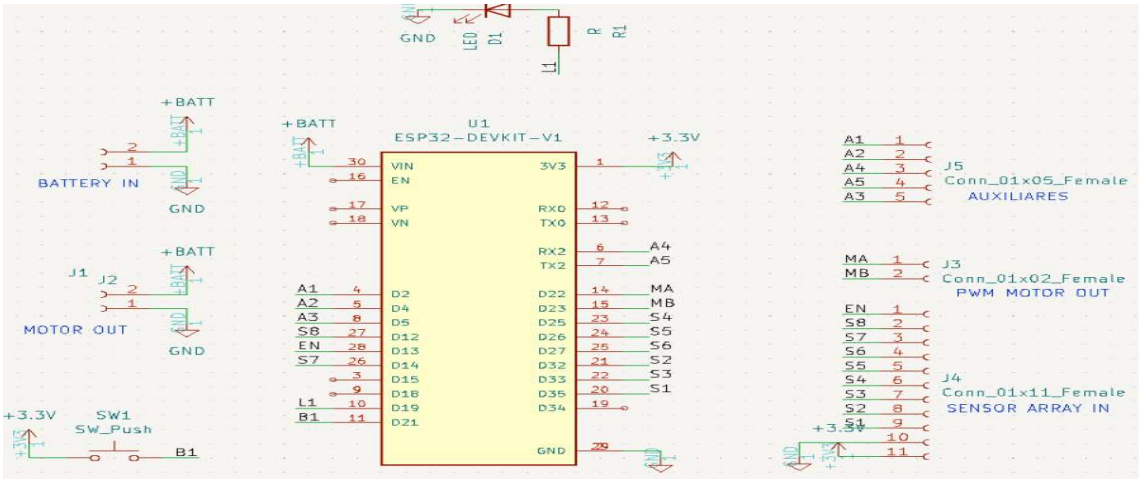


Fig. 6. Esquemático Circuito de Potencia.

Controlador PID

El control PID (control proporcional, integral y derivativo) es un control por realimentación que calcula la desviación o error entre un valor medido y el valor que se quiere obtener (set point), para aplicar una acción que corrija el proceso. En el caso del robot seguidor de línea, el controlador PID (rutina basada matemáticamente), procesa los datos del sensor y los utiliza para controlar el ángulo de giro a través de la velocidad enviada a cada motor, para de esta forma mantenerlo en curso.

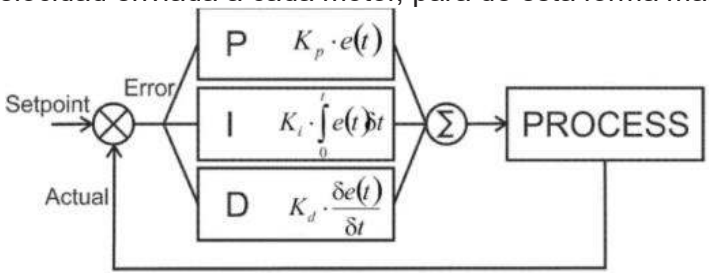


Fig. 7. Esquema controlador PID (Aprendiendo facilelectrónica-2014).

Para el análisis de nuestro robot seguidor de línea se toma de base la estructura básica de un sistema de control de lazo cerrado. Lo cual en una representación en bloques queda como se observa.

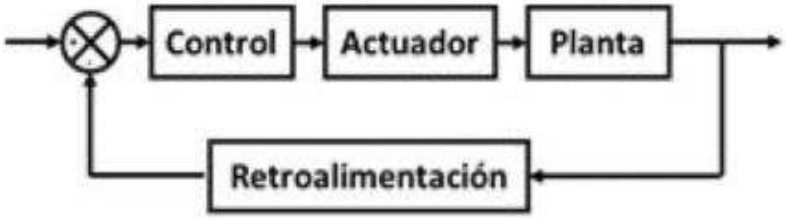


Fig. 8. Diagrama de Sistema de control a lazo cerrado.

Cada una de las etapas presentes se modela de manera virtual a través de MATLAB para poder realizar una simulación del robot en su totalidad.

Modelado de cinemática directa del robot

Comenzamos con el modelado del movimiento del robot, para esto se asumieron una serie de consideraciones para simplificar el análisis: el desplazamiento es causado únicamente por la rotación de las ruedas y la superficie en donde se desplaza es totalmente lisa. En este caso se toman en cuenta condiciones ideales para simplificar el modelo al considerar las pequeñas dimensiones del móvil. En una configuración diferencial se consideran tres grados de libertad: las distancias x e y de posición y el ángulo φ de orientación. Para poder lograr un movimiento controlado, se deben tener dominio sobre “Vr” la velocidad de la rueda derecha y “Vl” la velocidad de la rueda **i**zquierda. El objetivo de modelar el robot es buscar una relación directa de cómo afectan las entradas “Vr y Vi”, a los estados del sistema “x, y, φ”. Podemos observar los distintos grados de libertad, y se resalta su dependencia de la velocidad de cada motor.

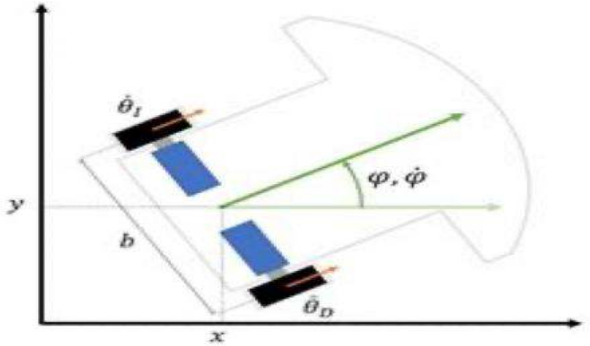


Fig. 9. Movimiento de robot tipo tracción diferencial.

Una vez definidas las entradas y salidas de nuestro sistema, notamos que nuestro robot puede trasladarse con una velocidad lineal “v” y rotar con una velocidad angular “**ω**”.

$$v = r\,(Vr + Vl)/\,2 \qquad (1)$$
$$\boldsymbol{\omega} = r\,(Vr - Vl)/\,b \qquad (2)$$

Siendo r = Radio de la rueda. b = distancia entre las ruedas Vr = Velocidad motor derecha. Vl = Velocidad motor izquierda. Teniendo las velocidades definidas planteamos las distintas ecuaciones que describen el movimiento del robot.

$$x = v * \cos\varphi \qquad (3)$$
$$y = v * \text{sen}\,\varphi \qquad (4)$$
$$\varphi = \boldsymbol{\omega} \qquad (5)$$

Trabajando algebraicamente con las ecuaciones alcanzadas llegamos a las ecuaciones 6, 7 y 8 que determinan el movimiento a partir de la tracción diferencial.

$$x = [(Vr + Vl)\ r \cos\varphi]\ /2 \qquad (6)$$
$$y = [(Vr + Vl)\ r \,\text{sen}\,\varphi]\ /2 \qquad (7)$$
$$\varphi = [(Vr - Vl)\ r\ /b \qquad (8)$$

Al integrar las ecuaciones (6), (7) y (8) se consigue la posición y orientación en un sistema de referencia absoluto. Utilizando programación a bloques en Simulink MATLAB modelamos la planta y nos queda como se observa en la figura 10.

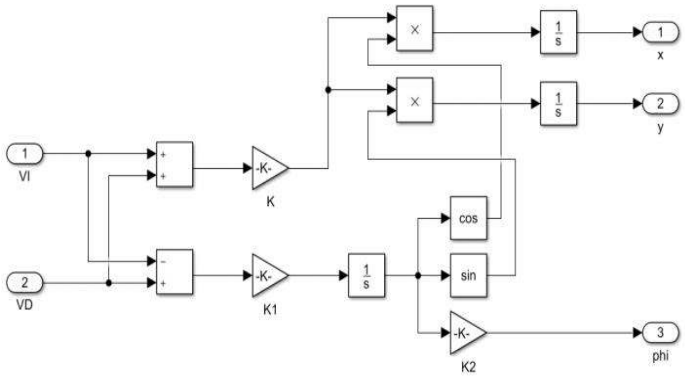


Fig. 10. Subsistema, cinemática de la planta.

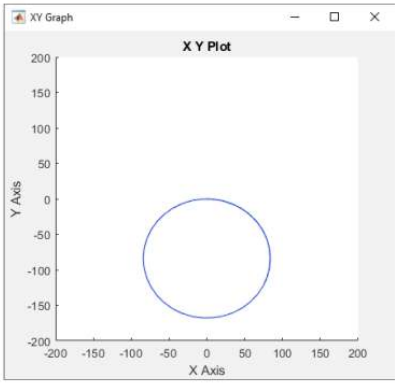


Fig. 11. Desplazamiento en el plano.

Una de las primeras pruebas realizadas fue ingresar dos velocidades diferentes y graficar su posición en x e y a través de un gráfico XY y obtuvimos que el robot describe un movimiento circular tal como se observa en la figura 11 de esta manera verificamos que el modelado descripto responde correctamente con lo esperado.

Modelado de motores de corriente contínua

El movimiento del robot, se realiza con los moto reductores de 6V de corriente continua, cuyas características extraídas de hoja de datos se pueden apreciar en tabla 1:

Parámetro	Símbolo	Valor
Relación	η	30:1
Voltaje nominal	$V_{nominal}$	6V
RPM sin carga	Θ_{free}	104.72 rad/s
Corriente máxima	i_{max}	1.6 A
Corriente nominal	i_{free}	100 mA
Torque máximo	T_{max}	0.0557 Nm

Tabla 1. Tabla de valores extraídas de datasheet motor DC

Para obtener el modelo se analiza la velocidad angular de cada rueda a partir del circuito equivalente para un motor de corriente directa, tal como se muestra en la figura 12.

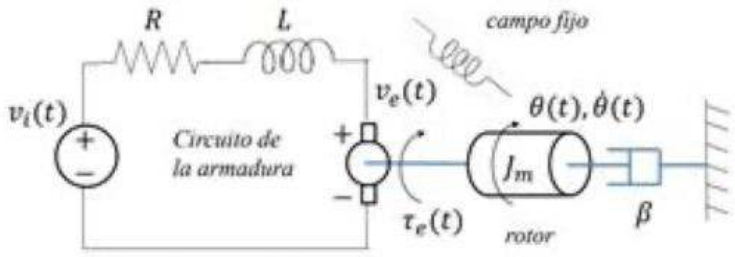


Fig. 12. Circuito electromagnético de motor DC

Debido a que los parámetros proporcionados por el fabricante pertenecen a la salida del tren de engranes, se reducirá el estudio al considerar solamente un momento de inercia. A continuación, se obtienen las ecuaciones diferenciales de la parte eléctrica por la ley de voltajes de Kirchoff y de la parte mecánica por la ley de Newton.

$$Ri(t) + L\, di(t)/dt + v_e(t) = v_i(t) \qquad (9)$$

Las ecuaciones del subsistema magnético son:

$$T(t) = P(t) / \omega_m(t) = k_t\, I(t) \qquad (10)$$

$$e(t) = k_e\, \omega_m(t) = k_e\, d\Theta(t)/dt \qquad (11)$$

Reemplazando (11) aplicando Laplace a la ecuación (9), obtenemos la ecuación para la parte eléctrica.

$$R\, I(s) + L\, s\, I(s) + ke\, s\, \theta(s) = Vi\,(s) \qquad (12)$$

Por otro lado, para la parte mecánica del motor aplicamos las leyes de Newton para movimientos mecánicos rotacionales y obtenemos la ecuación 13.

$$T(t) = J\text{m}\, d^2\Theta(t)/dt + b\, d\Theta(t)/dt \qquad (13)$$

$$\mathcal{L}\,[T(t)] = T(s) = J\text{m}\, s^2\, \Theta(s) + b\, s\, \theta(s) \qquad (14)$$

Reemplazando 10 en 14 se obtiene:

$$k\, I(s) = J\text{m}\, s^2\Theta(s) + bs\, \theta(s) \therefore\ k_t\, I(s)/(J_m\, s + b)s = \Theta(s) \qquad (15)$$

Reemplazando 15 en 12 llegamos a:

$$R\, I(s) + L\, s\, I(s) + k_e\, [k_t\, I(s) / (J_m\, s + b)] = V_i\,(s) \qquad (16)$$

Finalmente, para obtener la relación buscada entre la salida del motor y la entrada de voltaje tal como se observa en la ecuación 17.

$$\Theta(s)/V_i\,(s) = k_t / [(R + Ls)\,(J_m\, s + b) + k_e\, k_t\,] = k_t / [\,J\text{m}\, L\, s^2 + (\,J_m\, R + b\, L)\, s + R\, b + k_e + k_t\,] \qquad (17)$$

Las características eléctricas de Resistencia e Inductancia de armadura se obtienen a través de la medición del dispositivo físico, mientras que el voltaje de entrada será el valor nominal que especifica el fabricante. R = 31,3 Ω L = 5,1 mH vi(t) = 6V. Los valores de las constantes eléctricas y magnéticas los calculamos con los datos presentados en la tabla 1 correspondientes a los actuadores utilizados.

$$k_e = v_{nominal} / \Theta_{free} = 0.0573 \quad v / (rad/seg) \qquad (18)$$

$$k_t = T_{max} / I_{max} = 0.034\ N\ m\ /A \qquad (19)$$

Los parámetros mecánicos de momento de inercia y la constante de fricción al ser más difíciles de cuantificar, se hicieron de uso de unos valores pequeños obtenidos por un motor similar al utilizado para este trabajo, los valores son los siguientes: $J_m = 1x10^{-5}\ kgm^2$ $\beta = 1x10^{-7} Nml(rad/s)$
Una vez obtenidos los modelados de estos bloques que son de vital importancia para nuestro sistema, unimos cada uno de ellos y finalmente obtenemos un diagrama de nuestra función de transferencia final. Como vemos en la figura 13.
En nuestro diagrama se presenta un voltaje inicial base con el cual ambos motores se ven afectado en un inicio, nuestra retroalimentación va a afectar negativamente al voltaje de entrada del motor izquierdo y positivamente al voltaje de entrada del motor derecho y de esa manera logrará el giro deseado.

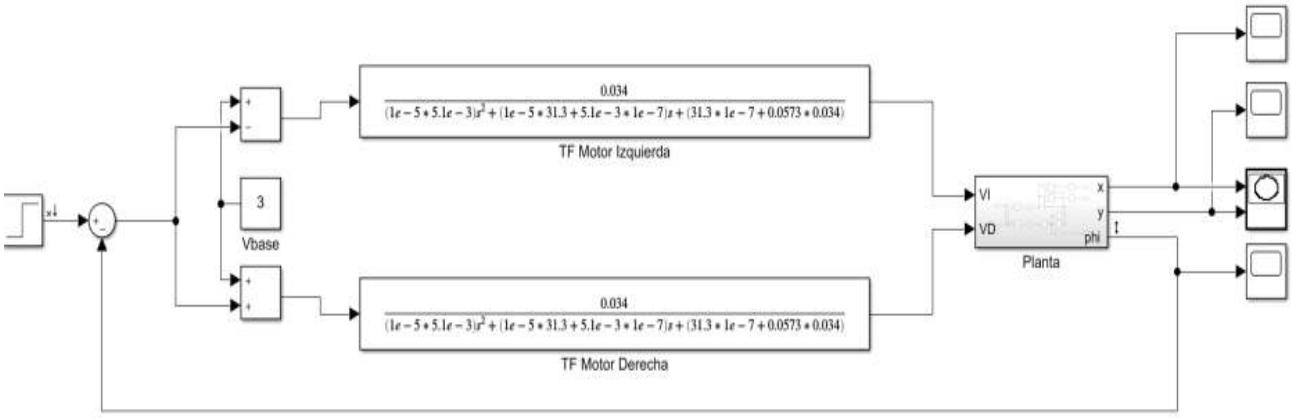


Fig. 13. Simulación del sistema en Simulink

Al iniciar la simulación con un escalón unitario en su entrada obtenemos la respuesta que se puede observar en la figura 14, en la misma se presenta una oscilación elevada previa a su estabilización, esta es la que se corregirá cuando se aplique el controlador PID.

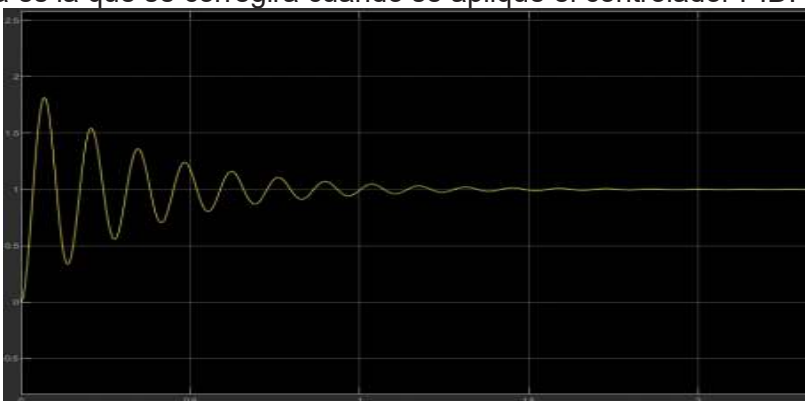


Fig. 14. Respuesta al escalón de lazo cerrado (Simulink)

Para obtener una única función de transferencia de nuestro sistema se pueden aplicar técnicas de simplificación o algún software que facilite cálculos, dicha ecuación ya resuelta es la 20.

$$\frac{1.27\text{e}07\text{s}^2 + 7.814\text{e}10\ \text{s} + 4.872\ \text{e}\ 11}{\text{s}^5 + 1.227\ \text{e}04\ \text{s}^4 + 3.774\ \text{e}07\ \text{s}^3 + 4.696\text{e}08\ \text{s}^2 + 1.464\text{e}9\text{s}} \qquad (20)$$

Como vemos en la figura 15 la respuesta al escalón calculada con Matlab es la misma a la obtenida anteriormente, por lo que podemos verificar que la función de transferencia obtenida es verdaderamente la que describe a nuestro sistema. Además, se observa la respuesta en lazo abierto en donde se ve como no converge en un punto.

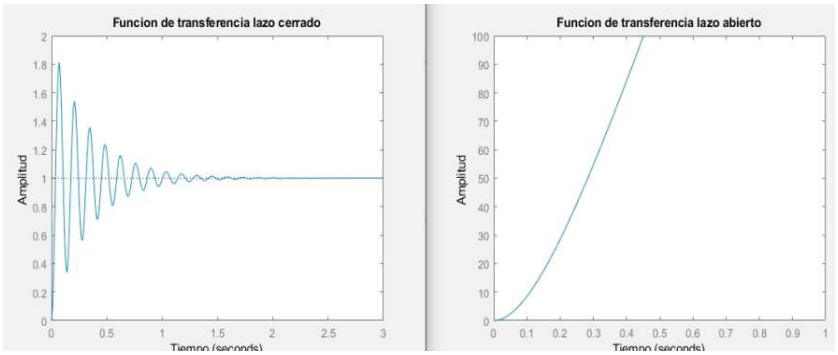


Fig. 15. Respuesta a escalón (Matlab)

Una vez obtenida esta respuesta hacemos uso de nuestro controlador PID para mejorar la estabilización de nuestro sistema, a través de Matlab llegamos a la respuesta que se observa en la figura 16, esta respuesta fue obtenida sin hacer uso del término integrador del controlador ya que no existe error estacionario y con las constantes Kp = 0.01 y Kd = 0.001.

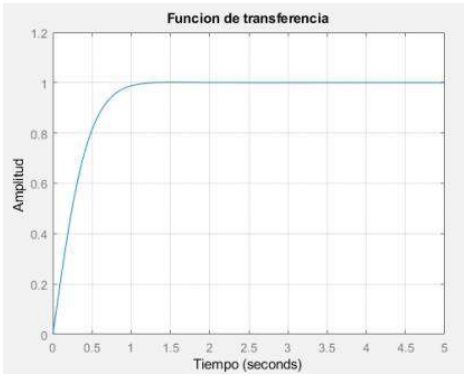


Fig. 16. Respuesta con controlador PID (Matlab)

Junto con la respuesta obtenida se calculó el lugar geométrico de las raíces además del mapa de polos y ceros, estos gráficos se pueden observar en la figura 17, la cual nos va a ser útil para realizar algunos análisis.

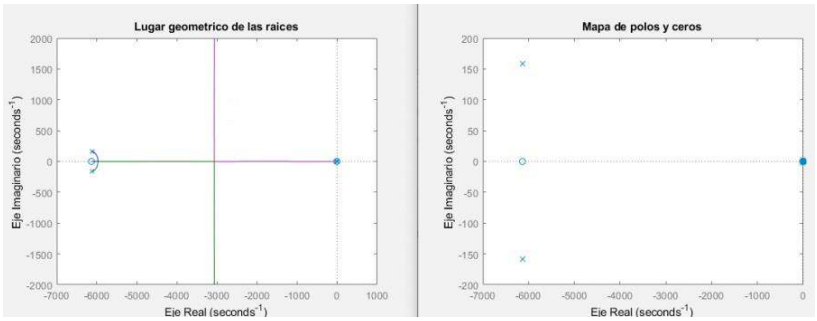


Fig. 17. Gráficos de polos y ceros (Matlab)

En estos gráficos podemos observar tanto la posición de los polos y las raíces de nuestro sistema como los posibles valores que pueden tomar al modificar alguno de los parámetros. Al ser una función de transferencia de grado 5 el análisis puede llegar a ser más complejo de lo habitual, pero podemos notar que nuestro sistema no puede caer en la inestabilidad ya que los posibles valores que pueden tomar son negativos. Las respuestas que se pueden alcanzar son “Sub-amortiguado”, “críticamente amortiguado” o “sobre amortiguado”. Si analizamos, además, el origen vemos que existe la presencia de un polo en él, esto es así ya que en la función de transferencia (ecuación 20) no tenemos un término independiente en el denominador. En términos matemáticos esto significa que la función de transferencia ya posee un término integrador 1/s, lo que ocasiona que no sea necesario utilizarlo en el controlador PID. Por otro lado, también se obtuvo el diagrama de bode correspondiente a nuestro Sistema como se aprecia en la figura 18, con el efecto de sus polos y

ceros y donde se puede analizar la frecuencia de cambio de set point a la que se ve afectada la fase y la amplitud.

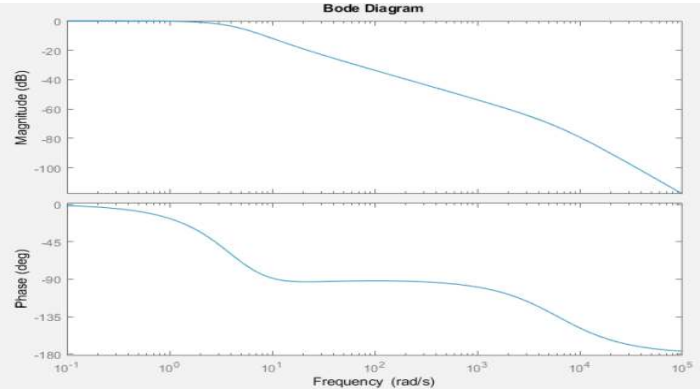


Fig. 18. Diagrama de bode del sistema (Matlab)

Tal como se realizaron los cálculos y simulaciones para un tiempo continuo se hicieron también, para un tiempo discreto obteniendo respuestas similares (figura 19).

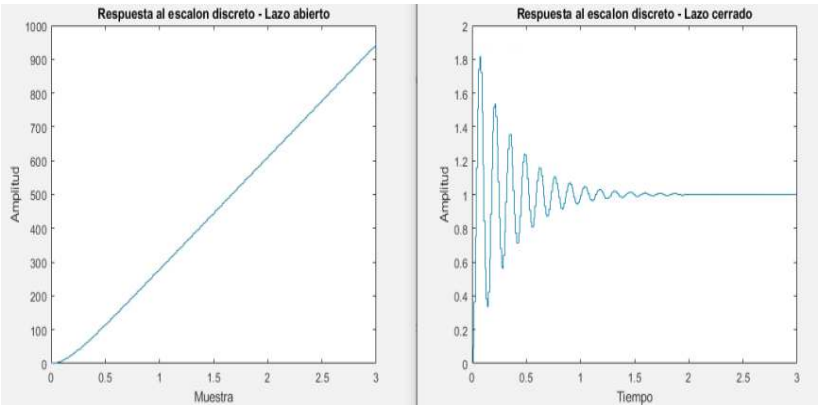


Figura 19. Respuesta al escalon discreta (Matlab)

De la misma manera que en la simulación continua, en la discreta le aplicamos un controlador PID lo calibramos y obtenemos una salida como la que se muestra en la figura 20. Las constantes de calibración alcanzadas son Kp=130, Kd=1 y nuevamente no se hizo uso del término integrador.

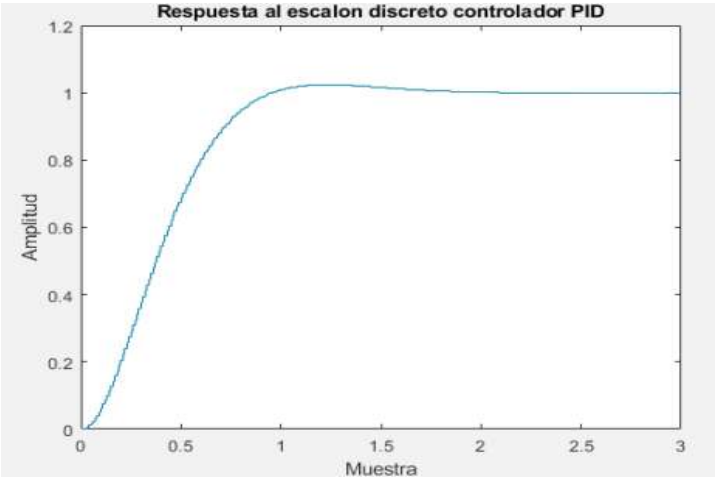


Figura 20. Respuesta discreta con controlador PID

Con todos los valores calculados, podemos finalizar la construcción de la simulación en Simulink, uniendo los bloques modelados junto al controlador PID como indica la figura 21. Se puede observar el ángulo de giro y el desplazamiento en el plano de nuestro robot simulado a través de XY ploter.

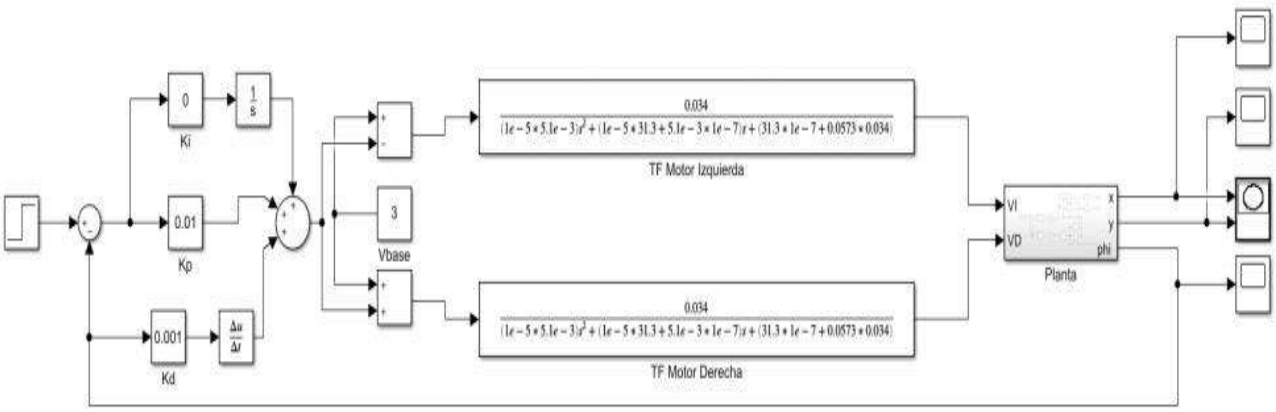


Fig. 21. Robot seguidor de Línea modelado

Firmware

El código se hizo de manera modular, separando las funcionalidades en librerías para un mejor manejo y simpleza a la hora de realizar modificaciones.

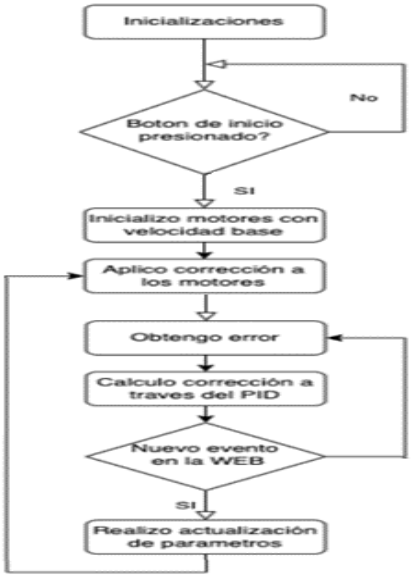


Fig. 22. Diagrama de flujo del código

En la figura 22 podemos observar de una manera resumida las distintas tareas que tiene que ejecutar el micro. Para dar inicio al programa, por reglamentación de la Liga Nacional de Robótica, se debe presionar un pulsador y al liberarlo recién pueden inicializarse los motores. Para realizar este proceso se utilizó una máquina de estado encargada de eliminar los posibles rebotes al pulsar y de inicializar los motores en el momento que se libera el botón. Para el caso de la lectura de los sensores se hizo una librería utilizando programación orientada a objetos para facilitar la utilización de las distintas funciones a lo largo del código.

Fig. 23. Interfaz de usuario

La interfaz de usuario mostrada en la figura 23 se realizó con HTML, estilizándolo con CSS, dándole funcionalidad con JS. Estos tres archivos se encuentran guardados en la memoria flash de la ESP32 a través de SPIFFS que es un sistema de archivos ligero creado para microcontroladores.

En la misma interfaz se graficará el error sensado por el robot en tiempo real, para así poder ver cómo responde la corrección de nuestro controlador PID. Una vez calculado el ajuste haremos uso de nuestra librería para el manejo de los motores, la misma le brinda a cada uno de ellos la misma velocidad de partida a través de dos canales de PWM con una frecuencia de 5Khz y 10 bit de resolución dando la posibilidad de un PWM de 0 a 1023.

Fig. 24. Esquema de detección de línea – Extraída de Martínez Ortiz, David (2015-2016)

```
Int PIDUpdate(int error){
    currentTime = millis();
    elapsedTime = (double)(currentTime - previousTime);
    cumError += error * elapsedTime;//La integral es el error acumulativo en el tiempo
    rateError = (error - lastError)/elapsedTime;//La derivada es tasa de cambio de error
    int out = Kp*error + Ki*cumError + Kd*rateError;
    lastError = error;
    previousTime = currentTime;
    return out;
}
```

Código 1. Algoritmo de controlador PID

En simultáneo una tarea se ejecuta en el núcleo 2, para que permita obtener el error a través de los sensores, el cual será enviado al controlador PID para que realice los cálculos correspondientes y se obtenga la corrección de velocidad que será aplicada a los motores para alcanzar nuevamente el set point.

Resultados y discusiones

El prototipo final se puede ver en la figura 25. En el chasis se encuentran montados todos los periféricos que se nombraron anteriormente, los motores, el array de sensores, los circuitos impresos y las baterías interconectadas. En el primer encendido se debió obtener a prueba y error la velocidad de partida necesaria para que el robot se traslade sobre una línea recta y que dicho valor no sea demasiado alto como para que salga de pista. Una vez configurado el valor de velocidad de partida se calibraron los parámetros del controlador PID, primeramente, la constante del término proporcional Kp, la misma presentó un correcto funcionamiento al valor de 50, en el caso de Ki al no existir error estacionario se dejó en 0, y Kd dio buenos resultados en un valor de 4. Esto se pudo calibrar de una manera sencilla desde la interfaz de usuario.

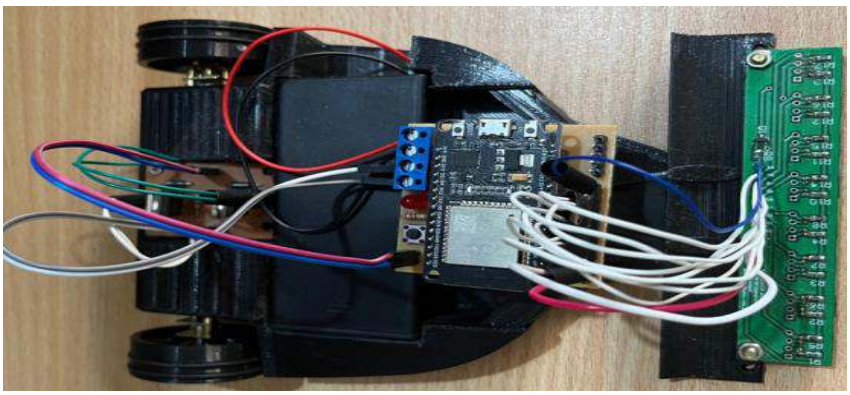


Fig. 25. Prototipo Final

La interfaz de usuario permite una configuración inalámbrica y facilita la rapidez y facilidad de la calibración. La posibilidad de monitorear gráficamente el error actual en todo momento brinda facilidad para deducciones y nuevas calibraciones. Tanto el algoritmo del controlador PID como el de FreeRTOS permite una rápida acción de los motoreductores, ya que con cada lectura de los sensores en pista puede predecir los errores y usar los anteriores para mejorar su funcionamiento y, por tanto, la autonomía del movimiento de cada motor sea independiente según lo requiera.
Gracias al análisis de los polos y ceros se detectó que el termino integrador ya estaba en la función de transferencia que describía al sistema, ya que no existía término independiente en el denominador lo que generaba un polo en el origen. Esto describe un integrador mecánico, que en nuestro sistema se presenta ya que al realizar una corrección tras un error sensado no vuelve al origen si no que se mantiene en esa corrección. Al usar nuestro prototipo por un tiempo prolongado notamos que la respuesta de nuestro sistema varía, exigiendo una nueva calibración para volver a su comportamiento ideal. Esto es así ya que el sistema con el cual estamos trabajando no es invariante en el tiempo, luego de un determinado período su fuente de alimentación varía, ocasionado por la descarga de las baterías lo que lleva a una des calibración del sistema.
El control general de las distintas etapas del robot es realizado por una máquina de estados que se diseñó para monitorear y comandar al robot, la cual es una delas tareas principales (corre en el primer núcleo del microcontrolador).

Conclusiones

Se puede concluir en que el sistema es operativamente eficiente para corregir diferencias en los giros, las cuales son calculadas por el controlador PID y el ajuste calculado se aplica de manera positiva en el canal PWM correspondiente al motor de la derecha y negativamente al motor de la izquierda, debido a la manera en que se planteó el error, para comenzar a construirlo.
El robot al detectar que está fuera de línea, a través de la corrección calculada por el PID, genera una diferencia de velocidad entre los dos motores logrando así un giro en un sentido determinado volviendo a la línea y el algoritmo para realizar dicha corrección se ejecuta de manera continua, utilizando el tiempo transcurrido para calcular tanto el término derivativo como el integral y el proporcional es obtenido con el error sensado.

Referencias

Parikh, P., Shah, H., & Sheth, S. (2014, June). A Mechatronics design of a line tracker robot using Ziegler Nichols control technique for P, PI and PID controllers. In International Mechanical Engineering Congress (IMEC-2014) (pp. 13-15).

Martinez Ortiz, David (2015-2016). Robótica para seguimiento de líneas (robotics for line tracking). Escola Tecnica Superior d'Enginyeria de Telecomunicació de Barcelona (pp. 1-106).

López Alarcón, Luis David (2021). Implementación de un algoritmo de control para un robot line follower usando red neuronal. Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil. (pp. 1-107).

L. E. Solaque Guzmán, M. A. Molina Villa y E. L. Rodríguez Vásquez, «Seguimiento de Trayectorias con un Robot Móvil de Configuración Diferencial,» Ing. USBMed, vol. 5, nº 1, 2014.

J. I. Collazo Cuevas, E. Gorrostieta Hurtado, J. C. Pedraza Ortega, U. G. Villaseñor Carrillo, R. A. Romero Torres y M. A. González Aguirre, «Modelación de un Robot Móvil de Dos Ruedas con Tracción Diferencial,» 2009.

Aucatoma Tiban Jairo Patricio (Febrero 2022). Diseño E Implementación De Un Robot Velocista Controlado Mediante Wifi Utilizando Una Tarjeta De Desarrollo Esp32- Wroom. Instituto Superior Tecnológico Vida Nueva (pp. 27-40).

Aprendiendofacilelectronica. (2014). «Robot Velocista de compentencia Algoritmo PID,» Diciembre 2014. [En línea]. Available: http://aprendiendofacilelectronica.blogspot.com/2014/1 2/robot-velocista-decompetencia_4.htm

APLICACIÓN DE LA COMPUTACIÓN MULTI-PARTE EN LA GESTIÓN SEGURA DE SECRETOS

Fernando Boiero, Maximiliano C. Nivoli, Norberto G. Cena

Sistemas , Facultad Regional Villa María, Universidad Tecnológica Nacional, Av. Universidad 450, Villa María, Córdoba, Argentina

fboiero@frvm.utn.edu.ar

Resumen

En los últimos años, la seguridad de las transacciones digitales y la gestión de datos confidenciales han cobrado una importancia capital en el ámbito de las tecnologías de la información. Este estudio explora la aplicación de la Computación Multi-Parte (MPC) en la gestión segura de claves y secretos, destacando su potencial para mejorar significativamente la seguridad en diversos contextos tecnológicos.

La Computación Multi-Parte permite el procesamiento conjunto de datos entre múltiples partes sin necesidad de revelar esos datos a ninguno de los participantes. Esta técnica criptográfica avanzada se aplica en la gestión de claves, proporcionando una metodología robusta y segura para la protección de datos confidenciales. En este estudio, se demuestra cómo MPC permite la generación y gestión de claves utilizando un esquema de quórum m de n, donde la clave privada se divide en múltiples fragmentos, y sólo una mayoría de ellos es necesaria para su recuperación.

La implementación realizada destaca la viabilidad y eficacia de MPC en escenarios de alta seguridad. La capacidad de recuperar las claves con solo una mayoría de las partes secretas proporciona una red de seguridad adicional en caso de pérdida o compromiso de alguna de las partes.

Esta metodología incrementa la seguridad al reducir el riesgo de comprometer la totalidad de la clave y mejora la resiliencia del sistema. Utilizando MPC, las operaciones críticas pueden ejecutarse sin depender completamente de ninguna de las partes involucradas, disminuyendo los riesgos de la gestión centralizada de claves. Además, la implementación de MPC permite integrar técnicas criptográficas avanzadas en sistemas existentes sin requerir modificaciones significativas, haciendo estas soluciones accesibles y prácticas para diversas aplicaciones, desde transacciones financieras hasta la protección de datos personales.

Es importante adoptar enfoques innovadores como MPC para enfrentar desafíos de seguridad y privacidad. La utilización de MPC no solo es viable, sino también efectiva para mejorar la seguridad y resiliencia en la gestión de claves y secretos. Esto contribuye a la protección de activos digitales y a la confianza en las transacciones electrónicas, destacando la relevancia de MPC en la protección de datos y en la mejora de la infraestructura de seguridad digital.

Palabras Clave: Criptografía, Computación Multi-Parte (MPC), Gestión de Claves, Gestión de Secretos.

Introducción

En la era digital actual, la seguridad de las transacciones electrónicas y la protección de datos confidenciales han adquirido una relevancia crucial en múltiples sectores, incluyendo el financiero, gubernamental y empresarial. Con el crecimiento exponencial de las amenazas cibernéticas y la creciente dependencia de la tecnología en la vida cotidiana, garantizar la integridad, confidencialidad y disponibilidad de la información se ha convertido en un desafío prioritario. Este desafío es aún más pronunciado en el ámbito de las criptomonedas y la tecnología blockchain,

donde la gestión segura de claves privadas es fundamental para prevenir el acceso no autorizado y la pérdida de activos digitales.

La criptografía ha sido una herramienta fundamental en la lucha por proteger los datos en entornos digitales. Sin embargo, las soluciones tradicionales de gestión de claves y secretos a menudo dependen de un enfoque centralizado. Este enfoque centralizado, aunque eficaz en muchos contextos, puede convertirse en un punto único de falla y una vulnerabilidad crítica en sistemas de alta seguridad. La dependencia de una única entidad o punto central para la gestión de claves implica que, si dicho punto es comprometido, toda la infraestructura de seguridad podría verse comprometida, exponiendo los datos confidenciales a riesgos significativos. Esta vulnerabilidad se agrava aún más en sistemas distribuidos y descentralizados, como las redes blockchain, donde la descentralización es un principio clave.

Ante esta problemática, la Computación Multi-Parte (MPC, por sus siglas en inglés) ha emergido como una solución innovadora y efectiva para mitigar estos riesgos. La MPC es una técnica criptográfica avanzada que permite a múltiples partes colaborar en el procesamiento de datos sin necesidad de compartir la información subyacente entre ellas. Esto asegura que ningún participante individual tenga acceso completo a los datos, reduciendo significativamente las posibilidades de exposición y compromiso de la información. En lugar de depender de un único punto de control, MPC distribuye la responsabilidad de la gestión de claves entre múltiples entidades, mejorando así la resiliencia y la seguridad del sistema.

El objetivo principal de este estudio es explorar la aplicación de la Computación Multi-Parte en la gestión segura de claves y secretos, destacando su potencial para mejorar la seguridad en diversos contextos tecnológicos. A través de la implementación de un esquema de quórum m de n, donde una clave privada se divide en múltiples fragmentos y sólo una mayoría de ellos es necesaria para su recuperación, este trabajo busca demostrar la viabilidad y eficacia de MPC como una solución robusta para la protección de datos confidenciales.

La adopción de MPC no solo incrementa la seguridad, sino que también mejora la resiliencia del sistema frente a posibles pérdidas o compromisos de algunas partes. En un esquema de quórum m de n, la clave privada se divide en n fragmentos, de los cuales solo se necesita una mayoría m para reconstruir la clave original. Esto permite que el sistema siga siendo funcional incluso si algunos fragmentos se pierden o son comprometidos, lo que ofrece una mayor flexibilidad y seguridad en comparación con los sistemas centralizados tradicionales. Además, MPC permite la integración de técnicas criptográficas avanzadas en sistemas existentes sin requerir modificaciones significativas, haciendo que estas soluciones sean accesibles y prácticas para diversas aplicaciones, desde transacciones financieras hasta la protección de datos personales.

En el contexto de las criptomonedas, donde la seguridad de las claves privadas es crítica, la aplicación de MPC ofrece una forma efectiva de mitigar los riesgos asociados con la gestión centralizada de claves. Al dividir la clave privada entre múltiples partes, se reduce el riesgo de que un solo punto de fallo pueda comprometer la seguridad del sistema. Este enfoque es especialmente relevante dado el creciente interés en las criptomonedas y la adopción de la tecnología blockchain, donde la protección de activos digitales es una preocupación constante.

En este trabajo, se presentará una Prueba de Concepto (PoC) que implementa MPC en la gestión de claves para carteras de Ethereum, utilizando la librería criptográfica de Node.js entre otras. A través de esta PoC, se evaluará la viabilidad técnica de MPC, así como su capacidad para mejorar la seguridad y resiliencia en entornos críticos. Los resultados obtenidos subrayan la importancia de adoptar enfoques innovadores como MPC para enfrentar los desafíos de seguridad y privacidad en la era digital.

Marco Teórico

Computación Multi-Parte (MPC)

La Computación Multi-Parte (MPC) es una subdisciplina de la criptografía que permite a múltiples partes colaborar en un cálculo o procesamiento de datos sin revelar sus entradas privadas. Este concepto fue propuesto por primera vez en los años 80 por Andrew Yao, quien introdujo el "problema de los millones de secretos", demostrando que es posible computar funciones sobre entradas privadas de manera que cada parte conozca solo su propia entrada y el resultado fina**l.**

MPC ha evolucionado significativamente desde sus inicios, desarrollándose en torno a diferentes paradigmas y protocolos que aseguran la privacidad de los datos en diversas aplicaciones, como el intercambio de información financiera, la votación electrónica, y la gestión de claves criptográficas en blockchain. Los protocolos más comunes incluyen el esquema de compartición de secretos de Shamir, que se utiliza para dividir una clave en múltiples fragmentos, y el protocolo SPDZ, que permite la ejecución segura de circuitos aritméticos complejos entre varias partes.

En MPC, la seguridad se basa en el supuesto de que no todas las partes involucradas coludirán para comprometer el secreto compartido. Este modelo permite implementar sistemas que son resilientes ante fallas y compromisos, lo cual es fundamental en aplicaciones que requieren un alto nivel de seguridad, como la gestión de claves en criptomonedas. En un esquema de quórum m de n, por ejemplo, la clave privada se divide en n fragmentos, y se requiere un quórum mínimo de m fragmentos para recuperar la clave original, lo que asegura que la clave se mantenga segura incluso si algunos fragmentos son comprometidos**.**

Criptografía de Clave Pública

La criptografía de clave pública es un pilar fundamental en la seguridad de sistemas distribuidos y blockchain. Este tipo de criptografía utiliza un par de claves: una pública, que puede ser compartida abiertamente, y una privada, que debe mantenerse en secreto. La seguridad de las transacciones y la integridad de los activos digitales dependen de la confidencialidad de la clave privada, la cual se utiliza para firmar transacciones, verificar la autenticidad de datos, y asegurar la identidad del propietario de un activo.

En el contexto de blockchain, como en la red de Ethereum, la criptografía de clave pública se implementa utilizando algoritmos de curva elíptica, específicamente el algoritmo secp256k1, que permite generar claves de alta seguridad con un tamaño relativamente pequeño. La curva elíptica se elige debido a su eficiencia en términos de velocidad de operación y su resistencia a ataques criptográficos, como los ataques de fuerza bruta.

El manejo seguro de la clave privada es crucial en blockchain, ya que su compromiso podría llevar a la pérdida de activos digitales de manera irreversible. Por ello, la Computación Multi-Parte (MPC) ofrece una solución para aumentar la seguridad en la gestión de estas claves, permitiendo su división en fragmentos que se pueden distribuir entre varias entidades sin que ninguna tenga acceso completo a la clave. Esto asegura que incluso en caso de compromiso de una de las partes, la seguridad general del sistema no se vea afectada.

Aplicaciones de MPC en Blockchain

La implementación de MPC en blockchain ha ganado atención debido a su potencial para mejorar la seguridad de las claves criptográficas y las transacciones sin sacrificar la descentralización, un principio fundamental en estas redes. Una de las aplicaciones más significativas de MPC en este ámbito es la gestión segura de claves para carteras de criptomonedas.

En una cartera de Ethereum, por ejemplo, la clave privada es esencial para autorizar transacciones y acceder a los fondos. Utilizar MPC para dividir la clave privada en múltiples fragmentos distribuidos permite que la autorización de transacciones requiera la colaboración de varias partes, lo que reduce drásticamente el riesgo de robo o pérdida de la clave. Además, si una parte que almacena un fragmento de la clave es comprometida, el atacante no podrá reconstruir la clave completa sin los otros fragmentos necesarios para formar un quórum.

Seguridad y Resiliencia en Sistemas Distribuidos

La descentralización y la seguridad son dos de los principales desafíos en los sistemas distribuidos, especialmente en blockchain. La descentralización implica que no hay una autoridad central que controle la red, lo que mejora la resistencia a censura y ataques, pero también plantea problemas de coordinación y seguridad. La aplicación de MPC en estos sistemas distribuidos aborda estos desafíos al permitir que múltiples partes colaboren en la toma de decisiones o en la validación de transacciones sin necesidad de confiar en un único punto central de control.

El enfoque de MPC mejora la resiliencia del sistema al introducir redundancia en la gestión de claves. Por ejemplo, si se distribuyen fragmentos de una clave privada entre varios nodos, y uno de esos nodos es atacado o falla, los otros nodos aún pueden colaborar para recuperar la clave y continuar con las operaciones sin interrupciones significativas. Este modelo también protege contra ataques internos, ya que ninguna entidad tiene acceso completo a la clave, lo que minimiza el riesgo de que un insider pueda comprometer la seguridad del sistema.

Además, MPC es compatible con una variedad de protocolos y tecnologías emergentes, lo que facilita su integración en sistemas existentes sin necesidad de realizar modificaciones significativas. Esto hace que MPC sea una opción atractiva para organizaciones que buscan mejorar la seguridad y la resiliencia de sus sistemas distribuidos sin comprometer la descentralización ni la flexibilidad operativa.

Comparativa con Otros Métodos Criptográficos

En comparación con otros métodos de seguridad, como los Módulos de Seguridad de Hardware (HSM) o las técnicas de custodia múltiple, MPC ofrece un enfoque más flexible y menos costoso, especialmente para implementaciones basadas en software. Los HSMs proporcionan un alto nivel de seguridad física, pero su implementación y mantenimiento pueden ser complejos y costosos. En contraste, MPC puede implementarse íntegramente en software, lo que lo hace más accesible para una gama más amplia de aplicaciones, desde pequeñas empresas hasta grandes corporaciones.

Mientras que la criptografía de curva elíptica es eficaz y segura, sigue siendo vulnerable si la clave privada es comprometida. MPC añade una capa adicional de seguridad al dividir la clave en fragmentos, lo que protege contra ataques directos y mejora la seguridad en entornos donde la clave privada debe estar altamente protegida.

Metodología

La metodología empleada en este estudio se centra en la implementación y evaluación de una Prueba de Concepto (PoC) de la Computación Multi-Parte (MPC) aplicada a la gestión segura de claves criptográficas en carteras de Ethereum. El objetivo principal es demostrar la viabilidad y efectividad de MPC en la división, y recuperación de claves privadas en un entorno simulado, utilizando herramientas y librerías criptográficas basadas en Node.js.

El entorno de desarrollo se configuró utilizando Node.js como plataforma base, debido a su compatibilidad e inclusión de librerías criptográficas modernas y su facilidad de integración con tecnologías basadas en blockchain. La librería EtherJS se seleccionó específicamente para manejar las operaciones criptográficas relacionadas con Ethereum, como la generación y recuperación de

claves. Además, se integraron técnicas de MPC para dividir las claves privadas en fragmentos que pudieran ser distribuidos entre varios nodos en un entorno simulado.

Generación y División de Claves

El proceso de generación y división de claves se realizó en varios pasos clave:

1. Generación de Pares de Claves: La generación de pares de claves criptográficas es el primer paso en la configuración de una cartera de Ethereum. Utilizando EtherJS, se generaron un par de claves (privada y pública) siguiendo el estándar de la curva elíptica secp256k1, que es comúnmente utilizado en la red Ethereum debido a su eficiencia y seguridad. La clave privada generada es un valor hexadecimal de 256 bits, que sirve como la base de seguridad para todas las transacciones que se realicen desde la cartera.
2. División de la Clave Privada: Una vez generada la clave privada, se procedió a su división en múltiples fragmentos mediante el uso de un esquema de compartición de secretos, como el esquema de Shamir. Este proceso permite dividir la clave en n fragmentos, de los cuales solo se requiere un subconjunto mínimo m (quórum) para poder reconstruir la clave original. Esta técnica garantiza que ningún fragmento individual contenga suficiente información para comprometer la clave privada por sí solo, lo que mejora significativamente la seguridad.

Recuperación de la Clave

La recuperación de la clave privada es un proceso crítico que debe ser seguro y eficiente. Este proceso se diseñó para permitir la reconstrucción de la clave privada utilizando únicamente un quórum de los fragmentos distribuidos, garantizando así la resiliencia del sistema en caso de que uno o más fragmentos se pierdan o comprometan.

Solicitud de Recuperación: El proceso de recuperación se inicia cuando una transacción requiere la firma de la clave privada. En este escenario, se realizó una simulación donde un usuario solicita firmar una transacción en la blockchain de Ethereum, lo que desencadena la recuperación de la clave desde los fragmentos almacenados en los diferentes nodos.

Combinación de Fragmentos: Los fragmentos necesarios para formar un quórum m fueron combinados utilizando el algoritmo de recuperación correspondiente al esquema de compartición de secretos utilizado. En este caso, los nodos participantes colaboran para enviar sus fragmentos a un nodo de consolidación, donde se reconstruye la clave privada. Es importante destacar que durante este proceso, la clave privada completa nunca es expuesta en ningún nodo individual, manteniendo así la seguridad de la operación.

Firma de la Transacción: Una vez reconstruida, la clave privada se utilizó para firmar la transacción de Ethereum. Esta firma criptográfica garantiza que la transacción es autorizada por el propietario legítimo de la clave privada, validando así la autenticidad de la operación en la red blockchain. Después de la firma, la clave privada reconstruida se descarta de manera segura para prevenir cualquier uso indebido.

Evaluación de Rendimiento

Para evaluar la efectividad de la implementación de MPC en la gestión de claves, se llevaron a cabo varias pruebas que medían el rendimiento, seguridad y resiliencia del sistema:

Tiempo de Procesamiento: Se midió el tiempo requerido para llevar a cabo las operaciones críticas, incluyendo la generación de claves, la división de la clave privada y la recuperación de la clave para la firma de transacciones. Estos tiempos fueron comparados con métodos tradicionales de gestión de claves para evaluar la eficiencia de MPC. Aunque se observó un ligero incremento en el tiempo de procesamiento debido a la complejidad añadida por MPC, los resultados mostraron que el sistema es lo suficientemente rápido para aplicaciones prácticas en tiempo real.

Consumo de Recursos: Se monitoreó el consumo de recursos computacionales, incluyendo el uso de CPU y memoria, durante las operaciones de MPC. El sistema fue diseñado para ser escalable, permitiendo su implementación en entornos con recursos limitados, como dispositivos IoT o sistemas distribuidos con hardware de bajo costo. Los resultados indicaron que el incremento en el consumo de recursos es manejable y no representa una barrera significativa para la implementación de MPC en aplicaciones de producción.

Resistencia a Fallos: Se realizaron pruebas de resistencia para simular escenarios en los que uno o más fragmentos de la clave privada fueran comprometidos o perdidos. La implementación de MPC demostró ser robusta, permitiendo la recuperación exitosa de la clave siempre que se alcanzara el quórum necesario. Esta capacidad para manejar fallos y compromisos sin comprometer la integridad de la clave privada es una ventaja clave de MPC sobre otros métodos tradicionales de gestión de claves.

Implementación Técnica

La implementación técnica se llevó a cabo en un entorno de desarrollo seguro, utilizando herramientas y librerías que facilitaron la integración de MPC con las operaciones criptográficas necesarias para manejar claves de Ethereum. Las principales tecnologías utilizadas fueron:

Node.js: Proporcionó un entorno de ejecución escalable y eficiente para las operaciones criptográficas y de MPC. Su amplio ecosistema de módulos permitió una rápida integración y desarrollo de la PoC.

EtherJS: Se utilizó como la librería principal para la generación y manejo de claves de Ethereum, así como para la interacción con la blockchain de Ethereum. EtherJS es altamente compatible con la Ethereum Virtual Machine (EVM), lo que lo convierte en una herramienta ideal para proyectos que requieren una alta fiabilidad en transacciones blockchain.

Librerías de MPC: No se utilizó ninguna librería específica de MPC para la implementación.

El desarrollo de la PoC fue documentado meticulosamente, incluyendo la configuración del entorno, la instalación de dependencias y la implementación de los scripts necesarios para ejecutar la PoC. Se realizaron múltiples iteraciones de pruebas de seguridad y rendimiento para asegurar que la implementación cumpliera con los requisitos de un entorno de producción seguro y eficiente.

Resultados

Viabilidad de la Implementación

El primer conjunto de resultados se centra en la viabilidad técnica y operativa de la implementación de la Computación Multi-Parte (MPC) en la gestión segura de claves criptográficas para carteras de Ethereum. La Prueba de Concepto (PoC) realizada confirmó que es posible dividir, distribuir y recuperar de manera segura las claves privadas utilizando técnicas de MPC, sin comprometer la integridad ni la confidencialidad de las claves.

El proceso de generación y división de claves se ejecutó con éxito en el entorno de desarrollo Node.js utilizando EtherJS. La clave privada se dividió en tres fragmentos. La implementación demostró que los fragmentos, cuando se combinaron, permitieron la recuperación completa de la clave privada original sin ningún tipo de degradación o pérdida de datos. Este resultado valida la viabilidad de MPC como una técnica segura y práctica para la gestión de claves en entornos distribuidos.

Además, la implementación fue capaz de integrarse eficazmente con las operaciones criptográficas necesarias para manejar transacciones en la blockchain de Ethereum. La recuperación de la clave

privada y la firma de transacciones se realizaron sin problemas, demostrando que MPC puede utilizarse en aplicaciones prácticas y reales dentro del ecosistema blockchain.

El código y la documentación relacionados con esta Prueba de Concepto están disponibles en el siguiente repositorio:https://gitlab.com/xcapit-foss/low-tech-wallet/proofs-of-concept/mpc. Este repositorio incluye todos los scripts necesarios para replicar la PoC, así como instrucciones detalladas para configurar el entorno de desarrollo y realizar las pruebas. La accesibilidad de este código permite a otros investigadores y desarrolladores explorar y adaptar esta solución a sus propios contextos, promoviendo la adopción de MPC en la comunidad de blockchain.

Evaluación de Rendimiento

La evaluación de rendimiento de la implementación de MPC arrojó resultados positivos, aunque se observaron ciertos aspectos que deben considerarse para su aplicación en entornos de producción:

Tiempo de Procesamiento: Los tiempos de procesamiento para las operaciones críticas, como la generación de claves, la división de la clave privada y la recuperación de la clave, fueron medidos y comparados con métodos tradicionales de gestión de claves. Si bien MPC introduce una ligera sobrecarga en el procesamiento debido a la complejidad adicional de la división y recuperación de fragmentos, los tiempos fueron aceptables para aplicaciones que no requieren transacciones en tiempo real ultrarrápidas. En particular, la operación de recuperación de la clave, que es la más intensiva, mostró un tiempo de procesamiento superior al de las operaciones tradicionales, pero dentro de los márgenes operativos aceptables para muchas aplicaciones en blockchain.

Consumo de Recursos: Se evaluó el consumo de recursos en términos de uso de CPU y memoria durante las operaciones de MPC. Los resultados indicaron un aumento moderado en el consumo de recursos en comparación con métodos tradicionales. Esto es atribuible a la complejidad añadida por el proceso de compartición de secretos y la necesidad de comunicación segura entre nodos. Sin embargo, el incremento en el consumo de recursos se mantuvo dentro de los límites razonables, lo que sugiere que la implementación es viable incluso en sistemas con recursos limitados, como dispositivos IoT o redes distribuidas de bajo costo.

Resistencia a fallos: La capacidad del sistema para manejar fallos fue probada simulando la pérdida de uno de los fragmentos de la clave privada. El sistema demostró ser capaz de recuperar la clave original utilizando los fragmentos restantes siempre que se alcanzara el quórum necesario. Este resultado subraya la resiliencia de MPC en escenarios donde la pérdida o compromiso de uno o más fragmentos es una posibilidad real. Además, se demostró que el sistema puede continuar operando de manera segura y efectiva incluso en condiciones adversas.

Mejoras en Seguridad y Resiliencia

Uno de los resultados más destacados de la PoC es la mejora en la seguridad y resiliencia del sistema en comparación con métodos tradicionales de gestión de claves. La implementación de MPC elimina el riesgo asociado con un punto único de falla, ya que la clave privada no se almacena en su totalidad en ningún nodo individual. Esto significa que, incluso si un nodo es comprometido, el atacante no podrá acceder a la clave privada completa, lo que reduce significativamente el riesgo de comprometer los activos protegidos.

Además, la capacidad del sistema para recuperar la clave privada utilizando solo un subconjunto de los fragmentos distribuidos proporciona una red de seguridad adicional en caso de fallos o pérdidas. Esta característica es especialmente valiosa en entornos donde la disponibilidad y la resiliencia son cruciales, como en redes blockchain, donde la continuidad operativa es fundamental para la confianza y la seguridad de las transacciones.

Otro aspecto relevante es la flexibilidad que ofrece MPC en términos de configuración del quórum (m de n), lo que permite ajustar el nivel de seguridad y resiliencia según las necesidades específicas

del entorno o la aplicación. Esto contrasta con los métodos tradicionales, donde la seguridad a menudo depende de la robustez de una única clave privada, lo que puede ser insuficiente en escenarios de alta seguridad.

Comparativa con Métodos Tradicionales

Al comparar la implementación de MPC con métodos tradicionales de gestión de claves, se observó que MPC ofrece varias ventajas clave en términos de seguridad, resiliencia y flexibilidad operativa. Mientras que los métodos tradicionales dependen en gran medida de la seguridad física y lógica de la clave privada, MPC distribuye el riesgo entre múltiples entidades, reduciendo la probabilidad de un compromiso exitoso.

Aunque la sobrecarga en términos de tiempo de procesamiento y consumo de recursos es un factor a considerar, los beneficios de seguridad proporcionados por MPC justifican su uso en aplicaciones donde la protección de datos y la resiliencia del sistema son prioridades. Además, la capacidad de MPC para integrarse sin problemas con las operaciones de blockchain demuestra su aplicabilidad en el mundo real, donde la protección de activos digitales es crítica.

En conclusión, los resultados de la PoC indican que MPC no solo es viable desde un punto de vista técnico, sino que también proporciona mejoras significativas en seguridad y resiliencia, lo que la convierte en una herramienta valiosa para la gestión de claves en entornos distribuidos y descentralizados.

Conclusiones

La implementación de la Computación Multi-Parte (MPC) en la gestión segura de claves criptográficas ha demostrado ser una solución efectiva y robusta para mejorar la seguridad en entornos distribuidos y descentralizados, como los que se encuentran en el ecosistema de blockchain. A través de la Prueba de Concepto (PoC) desarrollada y evaluada, se ha validado la viabilidad técnica de MPC para dividir, distribuir y recuperar claves privadas de manera segura, minimizando el riesgo de comprometer los activos digitales protegidos.

Uno de los principales beneficios observados es la capacidad de MPC para eliminar el riesgo asociado con un punto único de falla. Al dividir la clave privada en múltiples fragmentos distribuidos entre varios nodos, el sistema reduce significativamente la probabilidad de que un atacante pueda acceder a la clave completa, incluso si uno de los nodos está comprometido. Esta característica es particularmente relevante en el contexto de carteras de criptomonedas, donde la seguridad de las claves privadas es crítica para la protección de los fondos.

La flexibilidad de MPC, que permite configurar un quórum m de n para la recuperación de claves, proporciona una ventaja adicional en términos de resiliencia. Este enfoque asegura que el sistema puede continuar operando de manera segura incluso en situaciones donde algunos fragmentos se pierden o comprometen, lo que es esencial para mantener la continuidad operativa en redes distribuidas.

En cuanto al rendimiento, aunque la implementación de MPC introduce una ligera sobrecarga en el tiempo de procesamiento y el consumo de recursos, estos impactos son manejables y se consideran aceptables en comparación con los beneficios de seguridad obtenidos. El sistema demostró ser eficiente y capaz de integrarse sin problemas con las operaciones criptográficas necesarias para manejar transacciones en la blockchain de Ethereum, lo que confirma su aplicabilidad en el mundo real.

El éxito de esta PoC sugiere que MPC es una herramienta viable y valiosa para mejorar la seguridad y resiliencia en la gestión de claves en entornos distribuidos. Su capacidad para ofrecer una solución de seguridad avanzada sin la necesidad de un costoso hardware especializado, como los módulos

de seguridad de hardware (HSM), hace que MPC sea accesible para una amplia gama de aplicaciones, desde pequeñas empresas hasta grandes organizaciones.

A futuro, se recomienda la continuación de la investigación y desarrollo en torno a MPC, explorando su integración con otras tecnologías emergentes en blockchain, como los contratos inteligentes y las soluciones de privacidad de datos. Asimismo, es esencial realizar más pruebas en entornos de producción para evaluar el rendimiento y la seguridad de MPC bajo condiciones reales de uso y en escenarios de ataque más complejos. Un aspecto importante, y que queda fuera del alcance de este trabajo, es la evaluación de la tecnología a utilizar para el almacenamiento y comunicación de los fragmentos generados, como también así la autorización al acceso de dichos fragmentos.

En resumen, la Computación Multi-Parte representa un avance significativo en la seguridad criptográfica, ofreciendo una solución flexible y robusta que mejora tanto la seguridad como la resiliencia en la gestión de claves privadas. Su adopción en aplicaciones críticas es no solo viable, sino también muy recomendable para enfrentar los crecientes desafíos de seguridad en la era digital.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias al apoyo y colaboración de diversas instituciones y personas. Los autores desean expresar su agradecimiento a Xcapit INC por su compromiso con el desarrollo de bienes públicos a través del open-source. Asimismo, agradecen al laboratorio blockchain de la UTN Facultad Regional Villa María por proporcionar el espacio y los recursos necesarios para llevar a cabo el presente trabajo.

Referencias

1. Boneh, D., & Shoup, V. (2020). A Graduate Course in Applied Cryptography. Available online at https://toc.cryptobook.us/.
2. Cramer, R., Damgård, I. B., & Nielsen, J. B. (2015). Secure Multiparty Computation and Secret Sharing. Cambridge University Press.
3. Ethereum Foundation. (2023). Ethereum Whitepaper. Retrieved from https://ethereum.org/en/whitepaper/.
4. Goldreich, O., Micali, S., & Wigderson, A. (1987). How to Play any Mental Game or A Completeness Theorem for Protocols with Honest Majority. In Proceedings of the Nineteenth Annual ACM Symposium on Theory of Computing (pp. 218–229).
5. Katz, J., & Lindell, Y. (2014). Introduction to Modern Cryptography: Principles and Protocols. CRC Press.
6. "MPC PoC Implementation with Core Node Cryptographic Libraries." (2024). GitLab Repository. Retrieved from https://gitlab.com/xcapit-foss/low-tech-wallet/proofs-of-concept/mpc.
7. Pólya, G. (2024). Introduction to Cryptography. Cambridge University Press.
8. Shamir, A. (1979). How to Share a Secret. Communications of the ACM, 22(11), 612-613.
9. Vanstone, S. A., & Menezes, A. J. (1996). Handbook of Applied Cryptography. CRC Press.

DIDÁCTICAS VIRTUALES BAJO TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN (TIC) PARA EL APRENDIZAJE EN LABORATORIOS DE QUÍMICA

José M. Schiappa Pietra[1], Carlos A. Córdoba[1], Tomás Assenza[1], Santiago López Delzar[1], Mariela S. Castiglioni[1] y Jimena D. Flecha Alfaro[1].

[1]Cátedra de Química, Facultad Regional Santa Fe, Universidad Tecnológica Nacional. 3000
mpietra@frsf.utn.edu.ar

Resumen

Con el retorno a la presencialidad en las aulas universitarias, especialmente en los laboratorios prácticos de Química General de la Facultad Regional Santa Fe (FRSF), de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN), se identificó la necesidad de mejorar las técnicas didácticas para asegurar un aprendizaje adecuado en los estudiantes, quienes regresaban después de dos años de educación virtual justificada.

Para ello, se diseñó un plan de refuerzo conceptual en los laboratorios previos a cada Trabajo Práctico (TP) programado por la asignatura. Este plan incluía una lectura explicativa de la guía de trabajos prácticos, seguida de una simulación a la que los estudiantes debían acceder, en el aula virtual del Campus, la semana anterior a los trabajos en el laboratorio. En el aula virtual, se proporcionaron contenidos adicionales y técnicas operativas mediante material audiovisual, los cuales eran evaluados a través de un breve cuestionario que los estudiantes debían completar para acceder a las siguientes actividades asincrónicas previas al trabajo en el laboratorio.
Gracias a esta implementación didáctica, se observó una excelente participación de los estudiantes de las distintas carreras (Ingenierías Mecánica y Eléctrica). Todas estas actividades previas, especialmente la simulación, ayudaron a reforzar los conceptos teóricos y prácticos antes de la realización del laboratorio presencial.

En este trabajo se analizan las experiencias de los alumnos, frente al primer trabajo práctico "Densidad de Sólidos", durante los periodos 2022 al 2024, utilizando el recurso de simulación del TP y una autoevaluación de esta simulación.

Palabras Clave: Química, Simulaciones Virtuales, Laboratorio.

Introducción

El regreso a la presencialidad en la educación universitaria después de la pandemia de 2020-2021 reveló las estrategias implementadas por los docentes para adaptarse a un nuevo tipo de enseñanza utilizando diversas técnicas emergentes. Para los profesores y jefes de trabajos prácticos de la FRSF de la UTN, el mayor desafío fue incorporar las clases de laboratorio en un entorno virtual, un reto superado en las clases teóricas y coloquios, ya que los objetivos de las prácticas de laboratorio se centran en el manejo y conocimiento de materiales y reactivos, específicos a cada temática (Cataldi, Chiarenza, Dominighini, Lage, 2011).

Desde 2017, la FRSF ha implementado aulas digitales a través del Campus Virtual, permitiendo a los estudiantes recibir información, utilizar foros, encuestas, mensajería, videos y otras aplicaciones para la comunicación directa con los docentes y el aprendizaje en sus materias. Con varios proyectos previos en el área de las TICs, los docentes de Química General han contribuido continuamente al uso de estas tecnologías como herramientas esenciales en la construcción del conocimiento y la alfabetización científica. En 2019, se implementó la evaluación previa de conocimientos antes de los trabajos prácticos (TP) a través de la aplicación de cuestionarios en el Campus Virtual (Moodle) de la facultad, observándose una mejora del 20% al 50% en los resultados comparado con la evaluación escrita, gracias a una mejor interpretación de las preguntas por el

formato y el entorno virtual familiar para los estudiantes actuales (Schiappa Pietra, Avalis, Córdoba, Fuentes, Mazzieri, 2019).

Durante la pandemia, trabajos anteriores basados en dos proyectos de investigación (PID "Análisis y evaluación taxonómica del desarrollo de competencias básicas en Ingeniería: Una experiencia global de aprendizaje en Química" y "Nuevas herramientas para la evaluación formativa en Química") utilizaron metodologías asincrónicas (videos para trabajos integradores y prácticos), también se implementó la utilización de laboratorios virtuales, desarrollados con el software CONSTRUCT 2, para ensayo y práctica previa a los TP de Química General en las distintas carreras de Ingeniería de la facultad (Marín Sánchez, Marín Ortiz, Ospina Álvarez, 2017). A pesar de la disponibilidad de simulaciones gratuitas o de bajo costo (como Phet Colorado, Cloudlabs, QuimiLab, VLabQ, QGenerator, Virtual Chemistry Lab, IrYdium Chemistry Lab y Crocodile Chemistry), estas no cumplían con los objetivos específicos de nuestra guía de TP, lo que llevó a la creación de simulaciones propias.

Los laboratorios virtuales, como simulaciones pedagógicas, permiten desarrollar prácticas a distancia o apoyar las prácticas presenciales, ofreciendo a los estudiantes la oportunidad de adquirir destrezas y habilidades en el manejo de materiales y equipos sin restricciones de tiempo o espacio (asincronicidad) (Castellanos, Martínez Palmera, 2010). Se observó una gran motivación entre los estudiantes, debido a su actitud positiva hacia la tecnología y su habilidad en el uso de herramientas informáticas, lo que facilitó su adaptación a esta propuesta de enseñanza.

Siguiendo el cronograma académico, la semana previa a la realización de cada TP, el docente explicó el desarrollo de la actividad utilizando la guía de TP (archivo PDF), disponible en el aula virtual del Campus, en el módulo identificativo del TP, cuyo contenido, a la semana siguiente, le permitió observar videos introductorios al tema y lograr una pequeña ejercitación para que pueda acceder a la simulación de dicho TP. Posteriormente, se fijó un rango de tiempo donde cada alumno puede ingresar a un cuestionario, y responder 5 preguntas en 30 minutos, donde se evalúa, la explicación previa del docente, la guía de TP, los videos introductorios, cálculos similares a los que pueda realizar el alumno con los datos obtenidos de la simulación. En dicha evaluación el alumno debe demostrar los conocimientos mínimos para poder asistir el día de la realización del TP.

Se tomó como referencia el primer TP "Densidad de Sólidos" durante los periodos 2022 al 2024. Se analizaron las cantidades de alumnos y las veces que ingresaron al recurso de la simulación, también las veces que realizaron la autoevaluación de la simulación y se comparó con las notas obtenidas de la evaluación de la explicación del TP. Para analizar las experiencias de los alumnos, se utilizó, encuestas anónimas con preguntas actitudinales y aptitudinales. El cuerpo docente de Química General se mostró satisfecho con las expectativas y resultados obtenidos, lo que ha llevado al desarrollo de más simulaciones para futuros trabajos prácticos, confiando en que esta didáctica cumple con los objetivos de una enseñanza y aprendizaje más integral, formativo, actualizado y atractivo.

Desarrollo

En la búsqueda de herramientas que fomenten un proceso integral de aprendizaje para los estudiantes en los trabajos prácticos de laboratorio de química, en las carreras de ingeniería mecánica y eléctrica de nuestra facultad, se emplearon diversas técnicas audiovisuales, simulaciones y evaluaciones virtuales asincrónicas. El objetivo fue articular los conocimientos impartidos en las clases teóricas y en los coloquios de la materia.

Metodología de trabajo

La semana anterior a la realización de cada trabajo práctico, el docente explicaba en una clase oral el desarrollo del TP, utilizando los materiales, reactivos e instrumentos disponibles, y se revisaba y comprendía la guía del trabajo práctico. Después de esta clase, se habilitaba en el aula virtual del

Campus de la FRSF un apartado llamado "Trabajos Prácticos", donde los estudiantes encontraban diversas herramientas y tareas que debían completar obligatoriamente antes de la sesión presencial (Fig. 1). Cada tarea completada permitía avanzar a la siguiente.

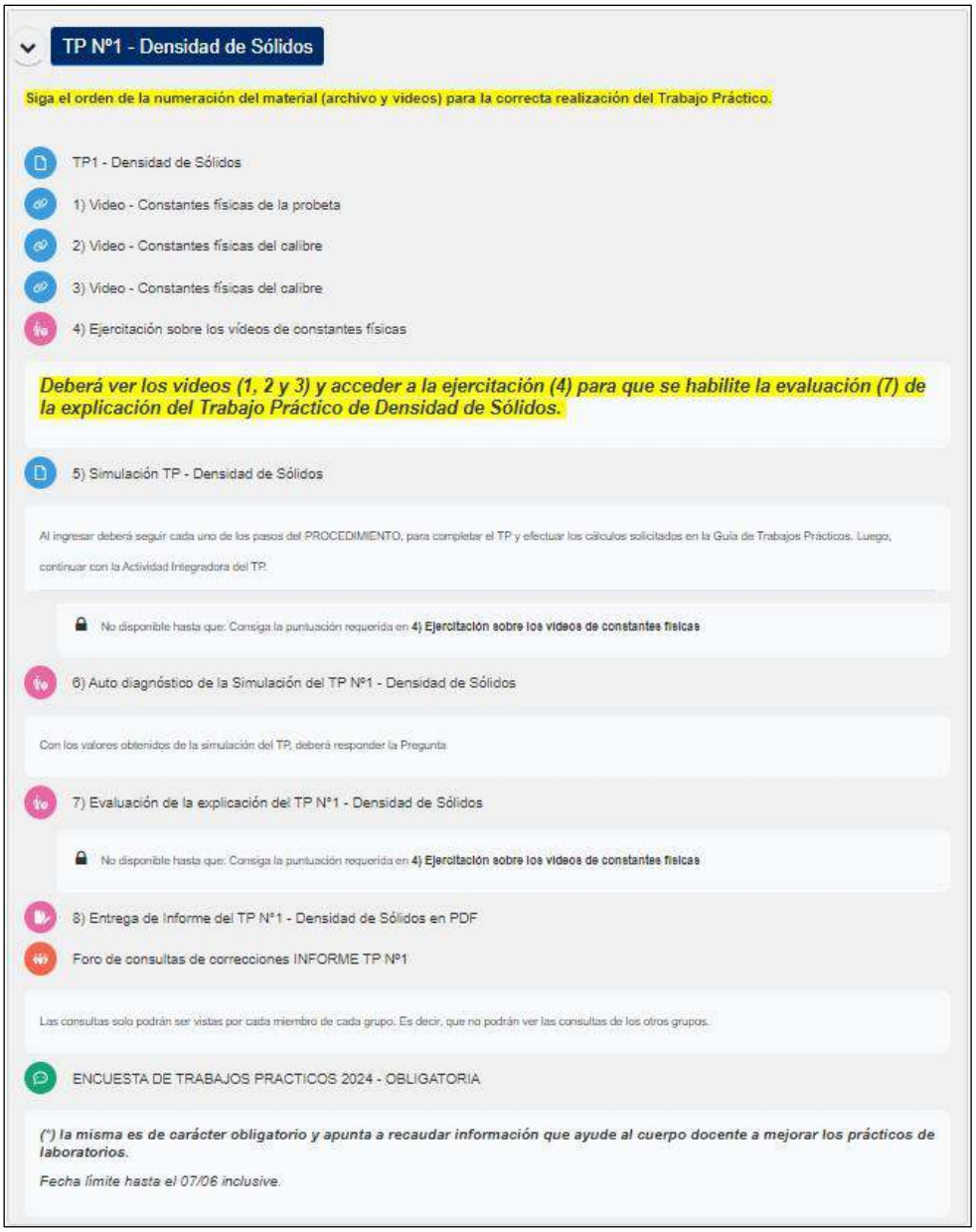


Fig. 1. Módulo del aula virtual de Química General - TP Nº1 - Densidad de Sólidos.

El alumno encontrará la guía de TP en formato PDF, luego en las secciones 1, 2 y 3, podrá ver 3 videos sobre las constantes físicas de los instrumentos de medición que utilizará. Para asegurarse que el alumno mire dichos videos e incorpore los conocimientos que en ellos se detallan. En la sección 4 podrá acceder a un cuestionario con preguntas sobre los videos (Fig. 2), con intentos ilimitados, lo que le permitirá habilitar las demás secciones. La sección 5 es la simulación del TP (Fig. 3), donde el alumno podrá sacar los datos necesarios para realizar los cálculos solicitados y cumplir con los objetivos del TP. En la sección 6 se encuentra un cuestionario a modo de autoevaluación de la simulación (Fig. 4). Cuando el alumno envía su respuesta, recibe de retroalimentación las respuestas. En la búsqueda de cuantificar y cualificar el aprendizaje de nuestros estudiantes, implementando la metodología descripta, se propuso una evaluación asincrónica, en la sección 7, con un solo intento y con un plazo de 30 minutos una vez iniciada. La misma consta de 5 preguntas tomadas al azar de una base de datos generada por los docentes y diagramada con anterioridad. Dicha evaluación bajo formato virtual presenta la didáctica de

identificación de imágenes, verdadero y falso, arrastre de palabras en oraciones, selección de palabras faltantes, opciones múltiples, etc. (Fig. 5).

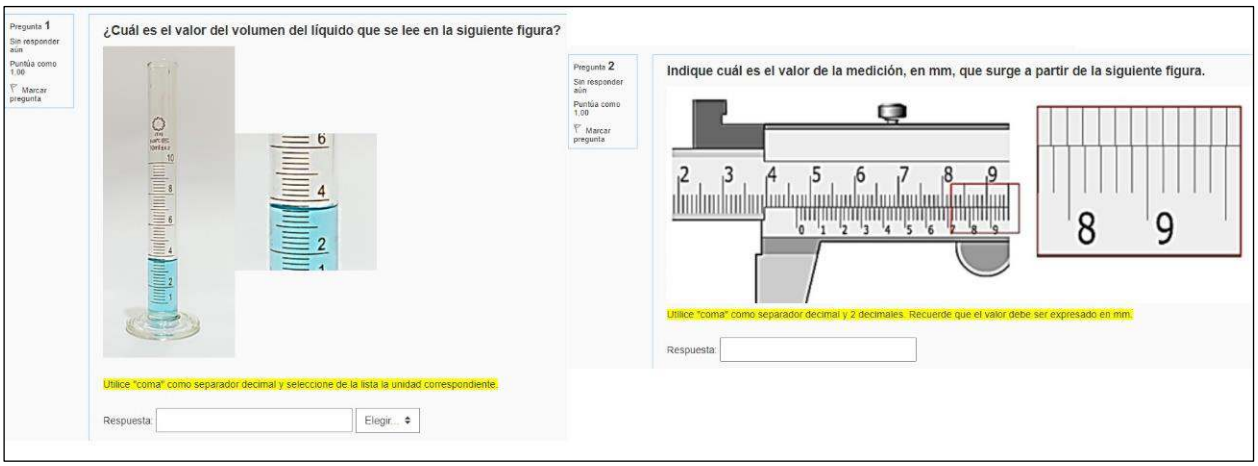


Fig. 2. Preguntas sobre los videos de constantes físicas.

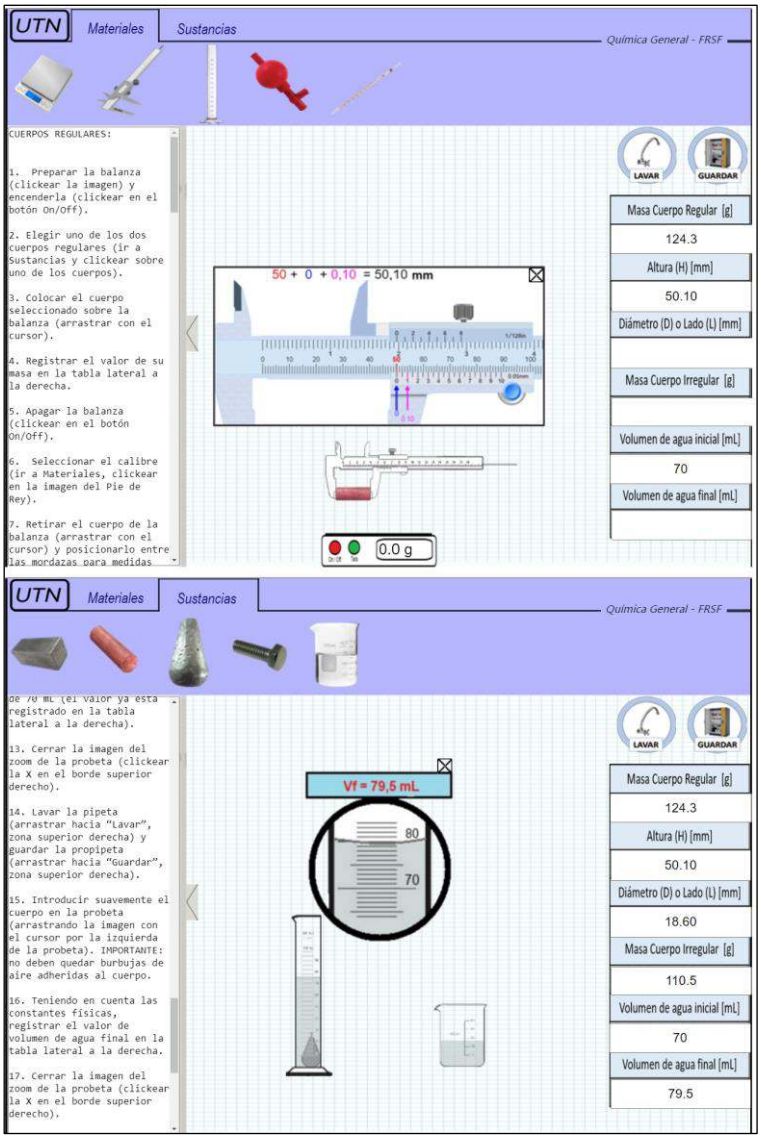
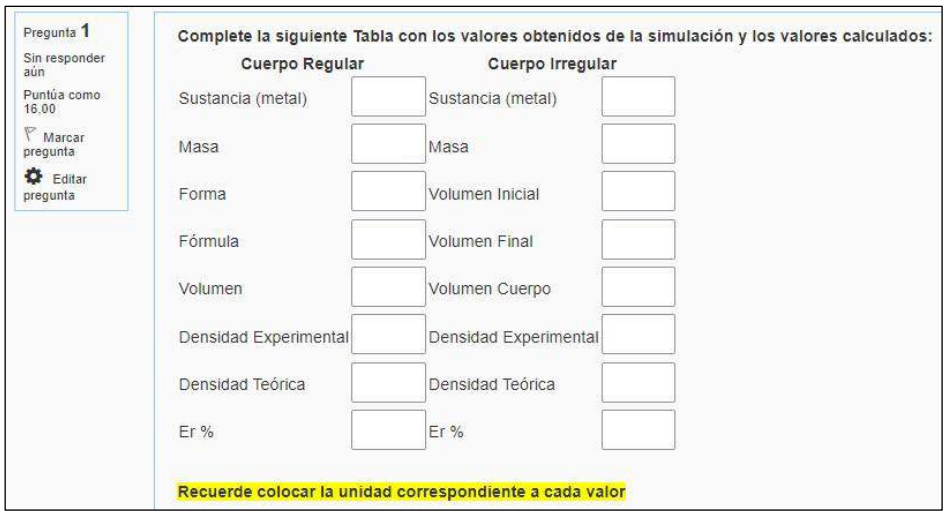


Fig. 3. Capturas de la simulación TP "Densidad de Sólidos. Determinación del volumen de cuerpo regular por forma geométrica (arriba) y por desplazamiento de líquido, del cuerpo irregular (abajo).



Pregunta 1

Sin responder aún

Puntúa como 16,00

Marcar pregunta

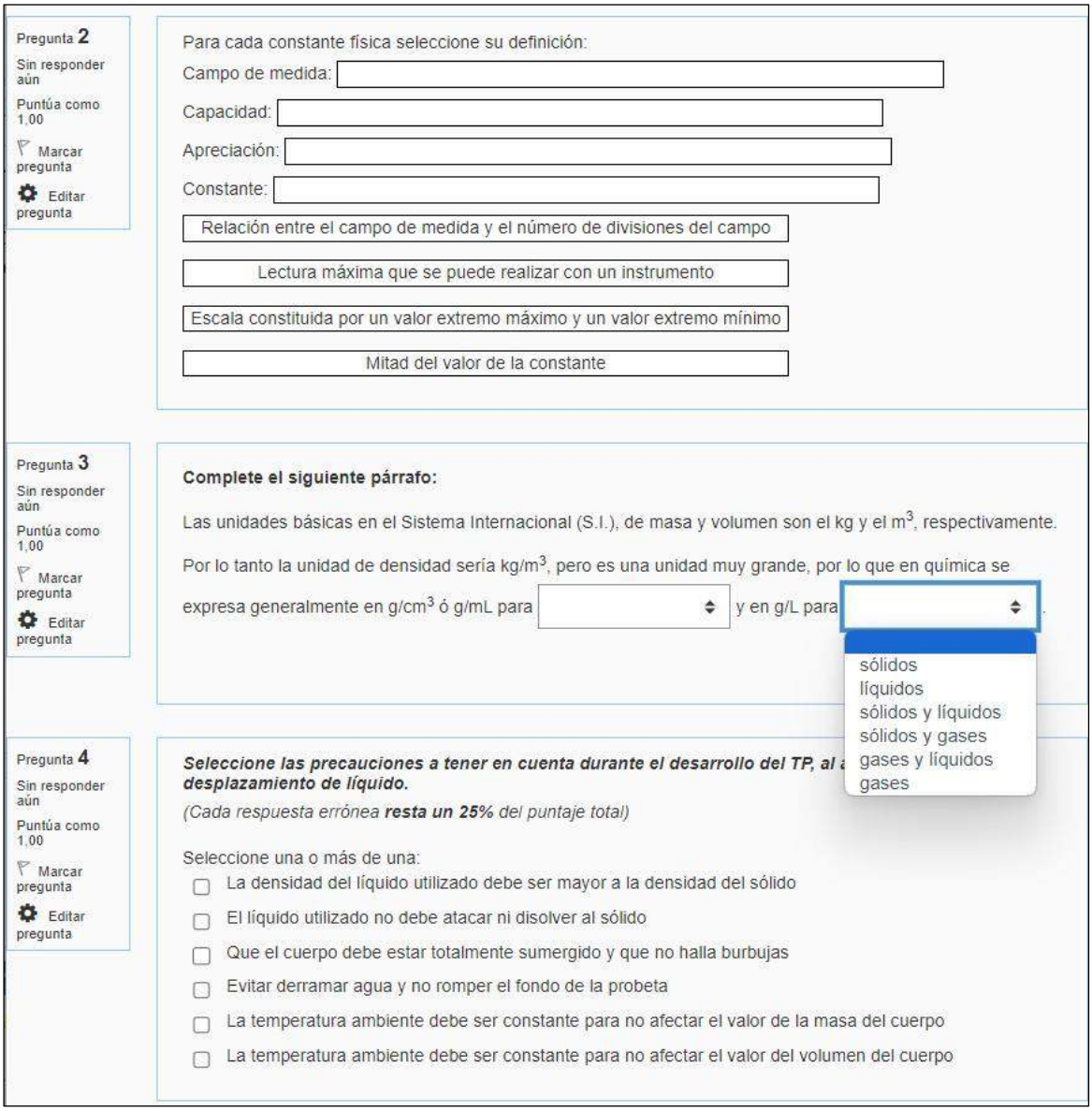
Editar pregunta

Complete la siguiente Tabla con los valores obtenidos de la simulación y los valores calculados:

Cuerpo Regular		Cuerpo Irregular	
Sustancia (metal)		Sustancia (metal)	
Masa		Masa	
Forma		Volumen Inicial	
Fórmula		Volumen Final	
Volumen		Volumen Cuerpo	
Densidad Experimental		Densidad Experimental	
Densidad Teórica		Densidad Teórica	
Er %		Er %	

Recuerde colocar la unidad correspondiente a cada valor

Fig. 4. Pregunta de autoevaluación de la simulación del TP "Densidad de Sólidos"



Pregunta 2

Sin responder aún

Puntúa como 1,00

Marcar pregunta

Editar pregunta

Para cada constante física seleccione su definición:

Campo de medida:

Capacidad:

Apreciación:

Constante:

Relación entre el campo de medida y el número de divisiones del campo

Lectura máxima que se puede realizar con un instrumento

Escala constituida por un valor extremo máximo y un valor extremo mínimo

Mitad del valor de la constante

Pregunta 3

Sin responder aún

Puntúa como 1,00

Marcar pregunta

Editar pregunta

Complete el siguiente párrafo:

Las unidades básicas en el Sistema Internacional (S.I.), de masa y volumen son el kg y el m^3, respectivamente.

Por lo tanto la unidad de densidad sería kg/m^3, pero es una unidad muy grande, por lo que en química se expresa generalmente en g/cm^3 ó g/mL para [ ] y en g/L para [ ].

sólidos
líquidos
sólidos y líquidos
sólidos y gases
gases y líquidos
gases

Pregunta 4

Sin responder aún

Puntúa como 1,00

Marcar pregunta

Editar pregunta

Seleccione las precauciones a tener en cuenta durante el desarrollo del TP, al a desplazamiento de líquido.

*(Cada respuesta errónea **resta un 25%** del puntaje total)*

Seleccione una o más de una:

- La densidad del líquido utilizado debe ser mayor a la densidad del sólido
- El líquido utilizado no debe atacar ni disolver al sólido
- Que el cuerpo debe estar totalmente sumergido y que no halla burbujas
- Evitar derramar agua y no romper el fondo de la probeta
- La temperatura ambiente debe ser constante para no afectar el valor de la masa del cuerpo
- La temperatura ambiente debe ser constante para no afectar el valor del volumen del cuerpo

Fig. 5. Preguntas aleatorias de la evaluación de la explicación del TP "Densidad de Sólidos"

Asimismo, se informó a los alumnos, para instar a una correcta y consciente realización de la evaluación, que deberían cumplimentarla con un mínimo del 30% del valor total del examen para poder acceder presencialmente al TP. Concluye el módulo del TP la sección 8 con una tarea para la entrega del correspondiente informe grupal, un foro para consultas y una encuesta obligatoria que comprende preguntas tanto actitudinales como aptitudinales, de modo anónima.

Recopilación de resultados y su análisis

En las siguientes tablas se recopila la información sobre los puntajes obtenidos por los alumnos en la Evaluación Previa al TP, los cuales se dividen en 3 rangos, según las consideraciones del equipo docente: i) de 100 a 60 puntos, se considera que los alumnos cuentan con conocimientos aceptables para la realización del TP, ii) de 59 a 30 puntos, los alumnos cuentan con los conocimientos mínimos para asistir al TP, asumiendo que durante el desarrollo del TP adquirirán y reforzaran esos conocimientos, y iii) de 29 a 0 puntos, estos alumnos no alcanzaron los conocimientos mínimos para la realización del TP. Dentro de estos rangos se enumeran la cantidad de alumnos que lo alcanzaron, el promedio ($\bar{x}$) del rango y la moda (el valor que aparece con mayor frecuencia). Dentro de cada rango se analizan los resultados, dividiéndolos en tres grupos según los cuartiles. El primer grupo comprende 25% de alumnos que alcanzaron y superaron el puntaje del cuartil superior (Q3), el segundo grupo incluye a los que se encuentran entre el cuartil superior y el inferior (Q1), incluyendo a este último, y el tercero formado por el resto de alumnos que no alcanzaron al puntaje del cuartil inferior. Seguidamente para cada uno de estos grupos se informa: $\bar{x}$, valor mínimo (Min.) y máximo (Max.), y moda, de las veces que los alumnos ingresaron al recurso de la simulación del TP y de las veces que ingresaron y participaron en la autoevaluación de la simulación. Cuando fue necesario se agregaron las observaciones (Obs.) pertinentes a cada rango.
En las Tablas 1, 2 y 3 se presentan los resultados del ciclo lectivo 2022. En Ingeniería Eléctrica, 1 solo alumno de un total de 41 que hicieron la evaluación previa no alcanzo 30 puntos o más y en las comisiones A y B de Ingeniería Mecánica (51 y 48 alumnos respectivamente) todos lograron superar ese puntaje.

Tabla 1. Puntajes obtenidos en la evaluación de la explicación del TP, y cantidad de ingresos a la simulación y a la autoevaluación, de la comisión A de Ing. Mecánica 2022

Ingeniería Mecánica Comisión A - 2022														
Puntajes de la Evaluación Previa							Ingresos a la Simulación				Ingreso y Participación de la Autoevaluación de la Simulación			
Rango	Alums.	$\bar{x}$	Moda	Cuartiles*		Alums.	$\bar{x}$	Min.	Max.	Moda	$\bar{x}$	Min.	Max.	Moda
100 – 60	47	87,9	100	Q3 = 100	≥ Q3	15	2,3	1	5	1 y 2	1,1	1	2	1
				Q2 = 90,0	Q3 -Q1	25	6,0	1	18	5	1,2	1	2	1
				Q1 = 80,0	< Q1	7	14,0	1	46	-	1,4	1	3	1
				Obs.	Nueve realizaron la simulación, ingresaron a la autoevaluación, pero no cargaron datos.									
59 - 30	4	53,7	58,3	Q3 = 58,3	≥ Q3	3	4,7	2	7	-	1	-	-	-
				Q2 = 58,3	Q3 -Q1	0	-	-	-	-	-	-	-	-
				Q1 = 49,2	< Q1	1	2	-	-	2	1	-	-	1
				Obs.	Un alumno ingresó a la autoevaluación, pero no cargo datos.									
29 - 0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				Obs.	Todos los alumnos que realizaron la simulación, también realizaron la evaluación de la explicación.									

* Primer cuartil (Q1): 25% de los datos por debajo de este valor; Tercer cuartil (Q3): 75% de los datos por debajo de este valor y El rango intercuartílico (RIC = Q3 -Q1) la diferencia entre el tercer cuartil (Q3) y el primer cuartil (Q1). Es decir, es el rango dentro del cual se encuentra el 50% central de los datos.

Tabla 2. Puntajes obtenidos en la evaluación de la explicación del TP, y cantidad de ingresos a la simulación y a la autoevaluación, de la comisión B de Ing. Mecánica 2022

Ingeniería Mecánica Comisión B - 2022														
Puntajes de la Evaluación Previa							Ingresos a la Simulación				Ingreso y Participación de la Autoevaluación de la Simulación			
Rango	Alums.	x̄	Moda	Cuartiles		Alums.	x̄	Min.	Max.	Moda	x̄	Min.	Max.	Moda
100 – 60	47	87,9	100	Q3 = 100	≥ Q3	22	4,6	1	19	3	1,3	0	4	1
				Q2 = 95,0	Q3 -Q1	15	4,0	1	10	2 y 4	1,1	1	2	1
				Q1 = 80,0	< Q1	8	6,5	2	21	2	1,3	1	2	1
				Obs.	Un alumno realizo la simulación, pero ninguna la autoevaluación y otro realizo la simulación, ingreso una vez a la autoevaluación, pero no cargo datos.									
59 - 30	3	41,7	-	Q3 = 46,7	≥ Q3	1	5	-	-	5	1	-	-	1
				Q2 = 45,0	Q3 -Q1	1	5	-	-	5	1	-	-	1
				Q1 = 33,3	< Q1	1	21	-	-	21	2	-	-	2
29 - 0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				Obs.	Dos alumnos realizaron la simulación, pero no realizaron la evaluación de la explicación.									

Tabla 3. Puntajes obtenidos en la evaluación de la explicación del TP, y cantidad de ingresos a la simulación y a la autoevaluación, de Ing. Eléctrica 2022

Ingeniería Eléctrica - 2022														
Puntajes de la Evaluación Previa							Ingresos a la Simulación				Ingreso y Participación de la Autoevaluación de la Simulación			
Rango	Alums.	x̄	Moda	Cuartiles		Alums.	x̄	Min.	Max.	Moda	x̄	Min.	Max.	Moda
100 – 60	35	85,8	100	Q3 = 100	≥ Q3	9	3,7	1	12	1	1,4	0	5	1
				Q2 = 93,3	Q3 -Q1	18	4,5	1	15	6	1,2	0	2	1
				Q1 = 75,0	< Q1	8	3,6	2	9	3	1,1	0	2	1
				Obs.	Cuatro alumnos realizaron la simulación, pero no la autoevaluación y seis ingresaron una vez a la autoevaluación, pero no cargaron datos.									
59 - 30	5	50,5	-	Q3 = 55,0	≥ Q3	2	2,5	2	3	-	1	-	-	1
				Q2 = 51,7	Q3 -Q1	2	4	-	-	4	1	-	-	1
				Q1 = 50,0	< Q1	1	3	-	-	3	2	-	-	2
				Obs.	Un alumno ingreso a la autoevaluación, pero no cargo datos.									
29 - 0	1	0	0	-	-	1	2	-	-	2	1	-	-	1
				Obs.	Este alumno realizo la simulación he ingreso a la autoevaluación, pero no cargó los datos y no completo la evaluación. Tres alumnos realizaron la simulación, pero no realizaron la evaluación de la explicación.									

En las Tablas 4, 5 y 6 se presentan los resultados del ciclo lectivo 2023. En Ingeniería Mecánica comisión A, 3 alumnos de un total de 43 que hicieron la evaluación previa no alcanzaron 30 puntos o más y en la comisión B de Ingeniería Mecánica y en Eléctrica (32 y 48 alumnos respectivamente) todos lograron superar ese puntaje.

Tabla 4. Puntajes obtenidos en la evaluación de la explicación del TP, y cantidad de ingresos a la simulación y a la autoevaluación, de la comisión A de Ing. Mec. 2023

Ingeniería Mecánica Comisión A - 2023														
Puntajes de la Evaluación Previa						Ingresos a la Simulación					Ingreso y Participación de la Autoevaluación de la Simulación			
Rango	Alums.	x̄	Moda	Cuartiles		Alums.	x̄	Min.	Max.	Moda	x̄	Min.	Max.	Moda
100 – 60	40	90,6	100	Q3 = 100	≥ Q3	17	3,4	0	10	3	0,9	0	2	1
				Q2 = 94,2	Q3 -Q1	18	5,6	0	22	4	1,1	1	2	1
				Q1 = 80,0	< Q1	5	6,6	4	12	6	1,2	1	2	1
				Obs.	Dos alumnos no realizaron la simulación ni la autoevaluación; dos realizaron la simulación, pero no hicieron la autoevaluación y tres ingresaron la autoevaluación, pero no cargaron datos.									
59 - 30	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29 - 0	3	9,7	-	Q3 = 24,0	≥ Q3	1	8	-	-	8	1	-	-	1
				Q2 = 5,0	Q3 -Q1	1	1	-	-	1	0	-	-	0
				Q1 = 0,0	< Q1	1	5	-	-	5	1	-	-	1
				Obs.	Ocho alumnos realizaron la simulación, pero no realizaron la evaluación de la explicación.									

Tabla 5. Puntajes obtenidos en la evaluación de la explicación del TP, y cantidad de ingresos a la simulación y a la autoevaluación, de la comisión B de Ing. Mec. 2023

Ingeniería Mecánica Comisión B - 2023														
Puntajes de la Evaluación Previa						Ingresos a la Simulación					Ingreso y Participación de la Autoevaluación de la Simulación			
Rango	Alums.	x̄	Moda	Cuartiles		Alums.	x̄	Min.	Max.	Moda	x̄	Min.	Max.	Moda
100 – 60	30	89,4	100	Q3 = 100	≥ Q3	10	3,8	0	21	0	0,7	0	2	1
				Q2 = 93,3	Q3 -Q1	14	2,8	0	7	2	0,8	0	2	1
				Q1 = 80,0	< Q1	6	4,8	2	13	2 y 3	1,0	0	2	1
				Obs.	Siete alumnos no realizaron la simulación ni la autoevaluación; dos realizaron, la simulación, pero no hicieron la autoevaluación y siete ingresaron una vez a la autoevaluación, pero no cargaron datos.									
59 - 30	2	44,2	-	Q3 = 53,3	> Q3	1	5	-	-	5	2	-	-	2
				Q2 = 44,2	Q3 -Q1	0	-	-	-	-	-	-	-	-
				Q1 = 35,0	< Q1	1	3	-	-	3	0	-	-	0
29 - 0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				Obs.	Cinco alumnos realizaron la simulación, pero no realizaron la evaluación de la explicación.									

En las Tablas 7, 8 y 9 se presentan los resultados del ciclo lectivo 2024. En las Ingenierías de Mecánica comisión A y B, y en Eléctrica (62, 48 y 27 alumnos respectivamente) todos lograron superar los 30 puntos.

Tabla 6. Puntajes obtenidos en la evaluación de la explicación del TP, y cantidad de ingresos a la simulación y a la autoevaluación, de Ing. Eléctrica 2023

Ingeniería Eléctrica - 2023														
Puntajes de la Evaluación Previa						Ingresos a la Simulación					Ingreso y Participación de la Autoevaluación de la Simulación			
Rango	Alums.	x̄	Moda	Cuartiles		Alums.	x̄	Min.	Max.	Moda	x̄	Min.	Max.	Moda
100 – 60	43	89,2	100	Q3 = 100	≥ Q3	15	4,7	1	16	2 y 3	1,1	1	2	1
				Q2 = 90,0	Q3 -Q1	23	5,9	1	18	3	1,2	0	2	1
				Q1 = 80,0	< Q1	5	6,2	3	13	-	1,2	1	2	1
				Obs.	Dos alumnos realizaron la simulación, pero no hicieron la autoevaluación y diez ingresaron a la autoevaluación, pero no cargaron datos.									
59 - 30	5	49,0	-	Q3 = 53,3	≥ Q3	2	6,5	6	7	-	1	-	-	1
				Q2 = 50,0	Q3 -Q1	2	2	-	-	2	0,5	0	1	-
				Q1 = 46,7	< Q1	1	2	-	-	2	1	-	-	1
				Obs.	Un alumno realizó la simulación, pero no el autodiagnóstico.									
29 - 0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				Obs.	Tres alumnos realizaron la simulación, pero no realizaron la evaluación de la explicación.									

Tabla 7. Puntajes obtenidos en la evaluación de la explicación del TP, y cantidad de ingresos a la simulación y a la autoevaluación, de la comisión A de Ing. Mec. 2024

Ingeniería Mecánica Comisión A - 2024														
Puntajes de la Evaluación Previa						Ingresos a la Simulación					Ingreso y Participación de la Autoevaluación de la Simulación			
Rango	Alums.	x̄	Moda	Cuartiles		Alums.	x̄	Min.	Max.	Moda	x̄	Min.	Max.	Moda
100 – 60	58	89,6	100	Q3 = 100	≥ Q3	29	3,5	0	11	1 y 3	0,7	0	2	1
				Q2 = 97,5	Q3 -Q1	19	5,5	0	18	1	0,6	0	2	1
				Q1 = 80,0	< Q1	10	1,7	0	6	2	0,7	0	2	1
				Obs.	Nueve alumnos no realizaron la simulación ni la autoevaluación; Dieciséis hicieron la simulación, pero no hicieron la autoevaluación y quince ingresaron una vez a la autoevaluación, pero no cargaron datos.									
59 - 30	4	50,8	50	Q3 = 51,7	≥ Q3	1	0	-	-	0	0	-	-	-
				Q2 = 50,0	Q3 -Q1	3	2	1	3	-	0,5	0	1	0
				Q1 = 50,0	< Q1	0	-	-	-	-	-	-	-	-
				Obs.	Un alumno no hizo la simulación ni la autoevaluación; dos alumnos que realizaron la simulación no hicieron la autoevaluación y el último realizo la simulación, entro a la autoevaluación, pero no cargo datos.									
29 - 0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				Obs.	Todos los alumnos que realizaron la simulación, también realizaron la evaluación de la explicación.									

Tabla 8. Puntajes obtenidos en la evaluación de la explicación del TP, y cantidad de ingresos a la simulación y a la autoevaluación, de la comisión B de Ing. Mec. 2024

Ingeniería Mecánica Comisión B - 2024														
Puntajes de la Evaluación Previa						Ingresos a la Simulación					Ingreso y Participación de la Autoevaluación de la Simulación			
Rango	Alums.	x̄	Moda	Cuartiles		Alums.	x̄	Min.	Max.	Moda	x̄	Min.	Max.	Moda
100 – 60	39	84,9	80	Q3 = 95	≥ Q3	11	3,4	0	8	1	0,9	0	2	1
				Q2 = 85	Q3 -Q1	19	4,6	0	16	1	0,8	0	2	1
				Q1 = 80	< Q1	9	2,2	0	7	2	0,7	0	1	1
				Obs.	Cinco alumnos no realizaron la simulación ni la autoevaluación; ocho hicieron la simulación, pero no hicieron la autoevaluación y diez ingresaron una vez a la autoevaluación, pero no cargaron datos.									
59 - 30	9	46,4	-	Q3 = 50,0	≥ Q3	4	3,8	1	7	-	0,8	0	1	0
				Q2 = 46,7	Q3 -Q1	3	0,3	0	1	0	0,3	0	1	0
				Q1 = 43,0	< Q1	2	2,0	1	3	-	0,5	0	1	-
				Obs.	Dos alumnos no realizaron la simulación ni la autoevaluación; dos hicieron la simulación, pero no hicieron la autoevaluación y cuatro ingresaron una vez a la autoevaluación, pero no cargaron datos.									
29 - 0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				Obs.	Dos alumnos realizaron la simulación, pero no realizaron la evaluación de la explicación.									

Tabla 9. Puntajes obtenidos en la evaluación de la explicación del TP, y cantidad de ingresos a la simulación y a la autoevaluación, de Ing. Eléctrica 2024

Ingeniería Eléctrica - 2024														
Puntajes de la Evaluación Previa						Ingresos a la Simulación					Ingreso y Participación de la Autoevaluación de la Simulación			
Rango	Alums.	x̄	Moda	Cuartiles		Alums.	x̄	Min.	Max.	Moda	x̄	Min.	Max.	Moda
100 – 60	24	92,9	100	Q3 = 100	≥ Q3	10	4,6	1	15	2	0,9	0	2	1
				Q2 = 95,0	Q3 -Q1	8	3,6	0	9	4	0,6	0	1	0
				Q1 = 85,8	< Q1	6	3,3	1	6	3	0,7	0	2	0
				Obs.	Un alumno no realizó la simulación ni la autoevaluación; seis hicieron la simulación, pero no hicieron la autoevaluación y uno ingreso una vez a la autoevaluación, pero no cargo datos.									
59 - 30	3	51,1	-	Q3 = 58,3	≥ Q3	1	3	-	-	3	1	-	-	1
				Q2 = 50,0	Q3 -Q1	1	0	-	-	0	0	-	-	0
				Q1 = 45,0	< Q1	1	1	-	-	1	0	-	-	0
				Obs.	Un alumno no realizó la simulación ni la autoevaluación; y otro hizo la simulación, pero no realizo la autoevaluación.									
29 - 0	0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				Obs.	Un alumno realizó la simulación, pero no la evaluación de la explicación.									

Si bien la actividad de Simulación y su autoevaluación no son condición obligatoria para aprobar las actividades previas al TP. En todos los casos analizados: Se observa una mayor cantidad de ingresos a la simulación y a la autoevaluación de la misma, para el rango de 100 – 60 puntos de la evaluación previa. En este rango los que superan el puntaje del cuartil superior ingresan en mayor frecuencia una vez a la autoevaluación, pero en el rango de 59 – 30 puntos la moda es principalmente cero en los dos últimos ciclos lectivos analizados.

El uso de la simulación y su autoevaluación por parte del alumno le permite mejorar su desempeño en la evaluación previa del TP, ya que, la simulación le permite seguir paso a paso el procedimiento, obtener la información y realizar los cálculos necesarios, para lograr cumplir los objetivos del TP.

Conclusiones

La plataforma MOODLE de aula virtual de la FRSF permite generar actividades previas asincrónicas, mediante videos y simulaciones, con sus respectivos cuestionarios para evaluar los conocimientos previos a la realización de TP.

El recurso de la simulación del TP y su autoevaluación, le permite al alumno poner en práctica los conocimientos previos, adquiridos en la explicación por parte del docente de la guía de TP y los videos de las constantes físicas de los instrumentos de medición.

La cantidad de veces que el alumno ingresó a la simulación y participo de su autoevaluación incide de manera favorable con el puntaje obtenido en la evaluación previa al TP.

Referencias

Zulma Cataldi, Diego Chiarenza, Claudio Dominighini, Fernando J. Lage (2011). *Clasificación de Laboratorios Virtuales de Química y Propuesta de Evaluación Heurística*. Facultad Regional Buenos Aires, UTN. http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/19937.

Schiappa Pietra, J.M., Avalis, C.A., Córdoba, C., Fuentes, M. y Mazzieri, V. (2019) *Evaluación de Trabajos Prácticos en Química a través de Entornos Virtuales de la FRSF, UTN*. Jornadas de Ciencia y Tecnología 2019 de la UTN Facultad Regional San Francisco. 9 y 10 de octubre. Pág. 169 y 170 - ISBN 978-950-42-0193-9.

Leidy Tatiana Marín Sánchez, Claudia Patricia Marín Ortiz, Juan Sebastián Ospina Álvarez (2017). *Laboratorio virtual de química: una experiencia de diseño interdisciplinar.* Revista Virtual Universidad Católica del Norte. No. 51- pp. 98-110, Mayo-Agosto. Medellín, Colombia.

Francis Castellanos, Olga Marina Martínez Palmera (2010). *Laboratorios virtuales como apoyo a las prácticas a distancia y presenciales en ingeniería.* Revista Inge-CUC. Vol. 6 - No. 6, octubre. Barranquilla, Colombia. ISSN 0122-6517.

ESTUDIO MORFOMETRICO DE LA CUENCA DE SAN BLAS DE LOS SAUCES, PROVINCIA DE LA RIOJA

Carlos M. Falcón.[1y2], Ian M. Fernández[3], Daniel E. Del Moral[1].

1Facultad de Ciencias Naturales e IML, Universidad Nacional de Tucumán. Miguel Lillo 205, (CP4000), S.M. de Tucumán, Argentina.
2DACyTAPAU, Universidad Nacional de La Rioja. Av. Luis M. de la Fuente S/N, Ciudad Universitaria de la Ciencia y de la Técnica, (CP5300), La Rioja, Argentina
3Secretaria del Agua de La Rioja, Av. Luis Vernet 1300, (CP5300), La Rioja, Argentina
falcon@csnat.unt.edu.ar

Resumen

El manejo integral de las cuencas hidrográficas requiere identificar su problemática ambiental, para así poder establecer los lineamientos de solución pertinentes.

La cuenca de San Blas de los Sauces se ubica en el departamento del mismo nombre, en la provincia de La Rioja, República Argentina. Presenta un escurrimiento con dirección Nor-Noreste, con sus nacientes en el extremo septentrional de la sierra de Velasco, por la confluencia de las quebradas de los ríos Tuyubil y Amoschina, con un caudal regular a lo largo del año, sujeto a las variaciones climáticas locales.

El Río de San Blas de los Sauces es el principal colector hídrico de la cuenca, caracterizado por un régimen de crecidas temporales, y un flujo de agua permanentemente solamente en su recorrido por las sierras, donde el lecho es en gran parte rocoso. El relleno aluvial se restringe al sector central del valle, constituyendo el único reservorio de aguas subterráneas económicamente explotable en la zona.

El objetivo de este estudio es la caracterización morfométrica de la cuenca en cuestión, con el fin de determinar su respuesta hidrológica ante eventos climáticos y señalar la influencia de los factores morfométricos en la intensificación de los procesos actuantes, lo que genera datos útiles para la planificación territorial.

El análisis morfométrico de las redes de drenaje de los tributarios del río de San Blas de los Sauces fue realizado con el apoyo de herramientas de sistemas de información geográfica (SIG) y datos de sensores remotos.

El suministro de agua dulce que demanda la sociedad para usos domésticos, agrícolas e industriales depende de los volúmenes que se almacenan y regulan en esta cuenca hidrográfica, la que es reconocida como la unidad territorial más adecuada para el manejo integral de los recursos hídricos y forestales; en ella los sistemas físicos, bióticos y socioeconómicos se encuentran interrelacionados.

Palabras clave**:** *morfometría, cuenca, sistemas de información geográfica*

Introducción

El suministro de agua dulce que demanda la sociedad para usos domésticos, agrícolas e industriales depende de los caudales que se almacenan y regulan dentro de una cuenca hidrográfica, la que se reconoce como la unidad territorial más apropiada para el manejo integral de los recursos hídricos y forestales. En ella, los sistemas físicos, bióticos y socioeconómicos, se encuentran interrelacionados (Dourojeanni, Jouravlev y Chávez, 2002), y la descripción de sus características geomorfológicas, puede obtenerse a través de técnicas morfométricas e hipsométricas.

Las cuencas hidrográficas forman una unidad geométrica en el espacio; por tal motivo, se pueden expresar de forma numérica tanto las propiedades como los elementos que pueden servir de base para comprender su dinámica y evolución.

Las características morfométricas de una cuenca, brindan una importante información física que permite obtener conclusiones preliminares sobre las condiciones ambientales del territorio, a partir de la descripción precisa de la geometría de las formas superficiales. La morfometría particular de cada cuenca como respuesta ante eventos climáticos, está relacionada con la posibilidad de su aprovechamiento hídrico y con la generación de una respuesta a los mismos.

El Valle de San Blas de Los Sauces se ubica al noreste de la provincia de La Rioja, en el cordón oriental de la sierra de Velasco. Se accede desde la capital riojana por RN 38 hacia el norte hasta la localidad de Bazán y desde allí hacia el noreste por RP 9, pasando por Aimogasta y desde allí por la RP 60, la cual se integra a la RN 40 en la localidad de Alpasinche. Desde ésta última y en sentido Norte a Sur, se encuentran además las localidades de Chaupihuasi, Salicas, San Blas de los Sauces, Los Robles, Las Talas, Cuipán, Schaqui, Andolucas, Suriyaco, Amoschina y Tuyubil.

Desde Alpasinche y hacia el norte, se encuentran los poblados de Las Pirguas y El Retiro, consideradas poblaciones rurales aisladas en el extremo norte del valle (Figura 1).

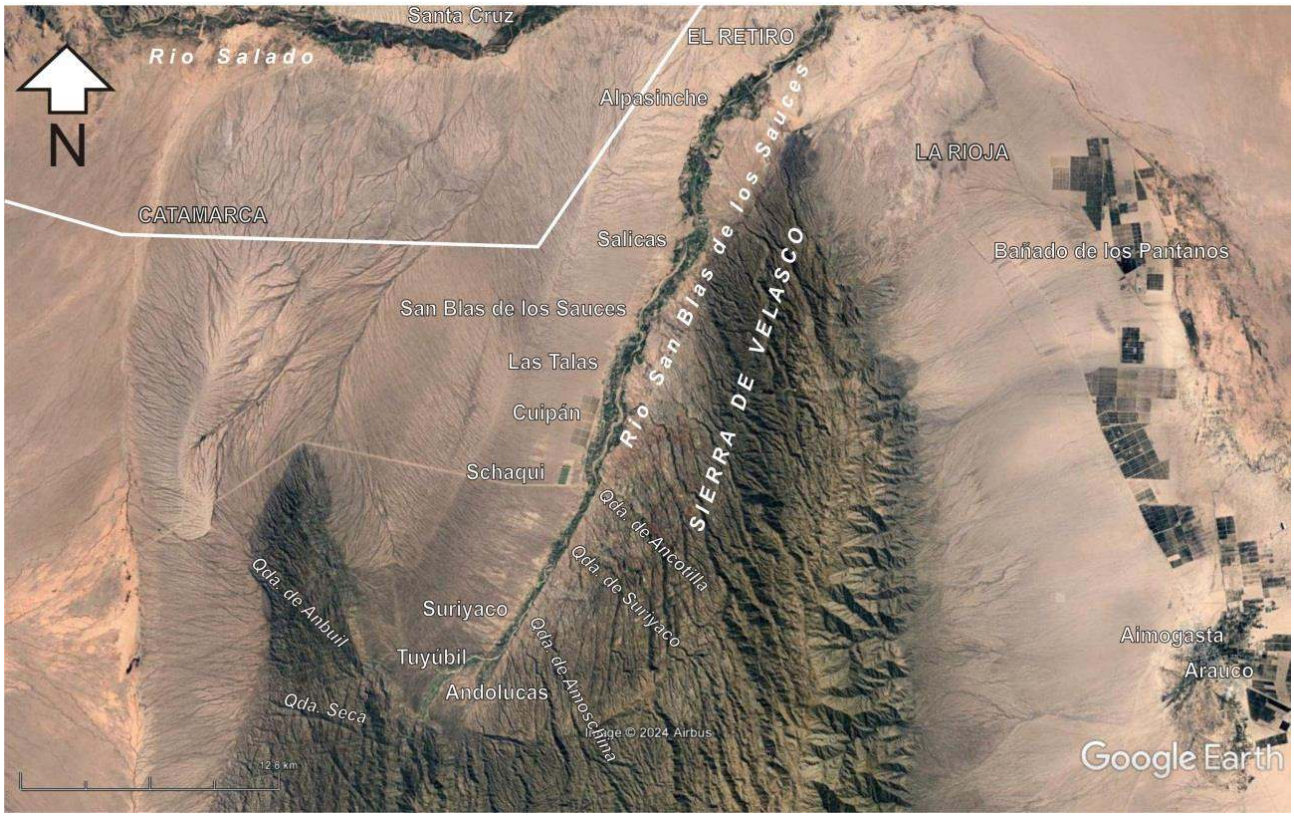


Figura 1. Imagen de Google Earth de la cuenca hidrográfica de San Blas de los Sauces

El rio de San Blas de los Sauces nace en el extremo septentrional de la sierra de Velasco, a partir de la confluencia de las quebradas de Tuyubil y Amoschina. El rio Tuyubil es el principal tributario del rio de San Blas de los Sauces; se origina en el extremo septentrional del Velasco con un rumbo aproximado Norte-Sur, dirección que mantiene hasta su unión con el curso proveniente de la quebrada de Amoschina.

Además de estos dos afluentes citados, se destacan los aportes provenientes de dos quebradas que desembocan en los márgenes de rio San Blas de los Sauces, una de es la proveniente de la quebrada de Maican y la otra es la proveniente de la quebrada de Suriyaco.

El análisis morfométrico de la cuenca nos permite explicar la interacción entre las características geológicas y geomorfológicas con los patrones físicos superficiales, mostrando de manera cuantitativa, la posible respuesta de la cuenca ante un escenario hidrológico, así mismo permite explicar el movimiento del agua superficial y predefinir la oferta hídrica complementada con otros modelos matemáticos.

Clima

El clima de la región es continental semiárido, cálido a templado, con rasgos climáticos que se caracterizan a las provincias de Catamarca y La Rioja.

La temperatura media anual es relativamente elevada, con vientos dominantes del sur, sureste y este, generalmente frescos y portadores de nubes que dejan humedad en las altas cumbres. El régimen de lluvias en el valle y las cumbres varía entre 150 y 600 mm anuales, en forma de tormentas cortas y concentradas en el verano (Figura 2).

Las escasas precipitaciones registradas en el valle, condiciona severamente la disponibilidad de agua subterránea, a lo que se suma los conflictos generados al cambio climático mundial.

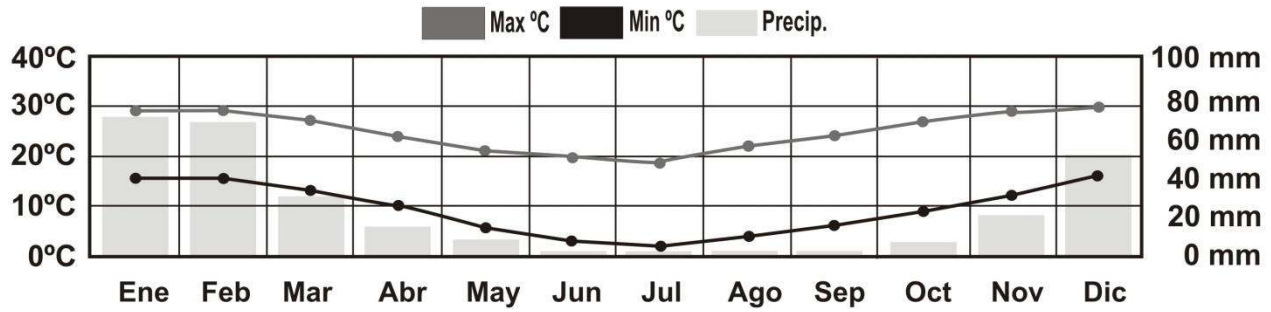


Figura 2. Climograma de San Blas de los Sauces (tomado de https://www.cuandovisitar.com.ar/argentina/san-blas-de-los-sauces-136470/)

Geología

El marco geológico en el que tiene desarrollo la cuenca del rio de Los Sauces, se caracteriza por la marcada predominancia de rocas del basamento cristalino, que incluye granitoides miloníticos, foliados y profíricos de edad precámbrica - eopaleozoica los granitos de San Blas y Los Sauces de edad devónico-carbónico y los granitos de Zapata, Vinquis y Asha de edad devónica (Figura 3). El basamento que constituye el perímetro de la cuenca en un 70% de su superficie.

A las rocas del basamento se le apoyan en el sector de baja pendiente de la ladera occidental y en discordancia, sedimentitas neógenas compuestos por areniscas, limolitas y conglomerados de probable edad miocena (F. Salicas) y pliocena (F. Las Cumbres). En el extremo sur del valle del rio de Los Sauces afloran areniscas de grano mediano a grueso con intercalaciones delgadas de conglomerados, arcillas y láminas de yeso intercaladas. Los clastos se componen de las rocas del basamento cristalino (granitos y migmatitas) con tamaños medios no superiores a los 5 cm.

Por encima del sustrato neógeno y en discordancia se asientan sedimentos modernos del cuartario sub-recientes y recientes (F. Coneta), que ocupan la depresión central del valle. Se componen de conglomerados, gravas y arenas, en algunos sectores desarrollados bajo una delgada cubierta loéssica.

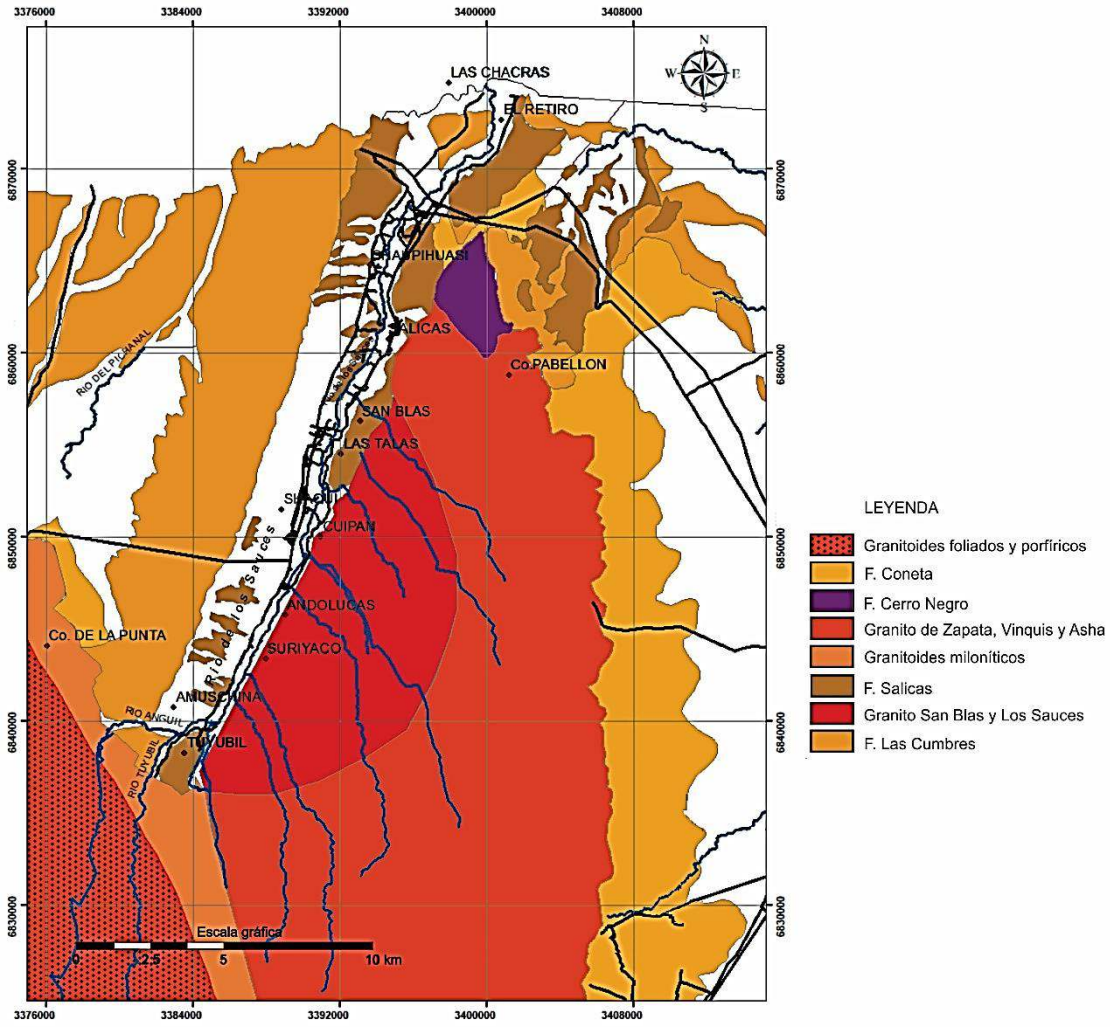


Figura 3. Mapa geológico de la zona de estudio.

Materiales y Métodos

El desarrollo del análisis morfométrico de la cuenca se llevó adelante utilizando un modelo digital de elevación (MDE) de 30 m de resolución espacial, obtenido de la página del Instituto Geográfico Nacional (IGN), software GIS y visita de campo. Este modelo aportó información sobre la altitud de cada punto de la cuenca, a partir de los cuales se realizó su caracterización mediante una tabla de

base de datos. El procesamiento de la información para delimitar la cuenca de drenaje se realizó mediante el software QGIS.

Parámetros Morfométricos

Área de la cuenca

El área de una cuenca (A) es la superficie plana en proyección horizontal, encerrada por su divisoria. Se define mediante el empleo de un planímetro y se mide en km^2 (Campos Aranda, 1992).

Perímetro de la cuenca

Es la medida de longitud de una línea que une puntos desde la desembocadura del cauce principal a través de la divisoria de aguas con las cuencas adyacentes. Este parámetro se mide con un curvímetro.

Ancho de la cuenca

El ancho (W) es la relación entre el área (A) y la longitud (L) de la cuenca (Ec. 1).

$$W = A/L \qquad (1)$$

Indice de compacidad (KC)

Se define como la relación que existe entre el perímetro de la cuenca (P) y el perímetro de una circunferencia (Pc) de área igual al de la cuenca (Ec.2). Si el valor de esta relación es igual a 1, la cuenca es circular, si este valor es mayor, la cuenca es más irregular.

$$Kc = \frac{P}{Pc} = 0.28 * P/A \qquad (2)$$

Longitud del cauce principal

La Longitud del cauce o colector principal es una magnitud característica y de efecto importante en la respuesta hidrológica, ya que es un cauce corto, los efectos de precipitación en la cuenca se harán sentir más rápido que en un cauce más largo.

Factor de forma (KF)

Definido por Horton, es el cociente entre la superficie de la cuenca y el cuadrado de la longitud del cauce principal. (Ec.3).

$$Kf = A/Lr^2 \qquad (3)$$

La forma de la cuenca está estrechamente vinculada con las características de la descarga de las aguas, sobre todo en los eventos de flujo máximo. Si el valor que se obtiene de esta relación es menor al valor límite de 0,7854, la cuenca no estará sujeta a crecientes continuas, más que una de la misma área y mayor valor del factor forma. A medida que el área aumenta, la relación A / Lr^2 disminuye, lo cual indica una tendencia al alargamiento en cuencas grandes.

Pendiente media de la cuenca

La pendiente de la cuenca tiene una importante pero compleja relación con la infiltración, el escurrimiento superficial, la humedad del suelo y la contribución del agua subterránea al flujo en los cauces. Es uno de los factores que controlan el tiempo de flujo sobre el terreno y tiene influencia directa en la magnitud de las crecientes.

Pendiente del cauce principal

La pendiente del cauce principal está relacionada con las características hidráulicas del escurrimiento, en particular con la velocidad de propagación de las ondas de creciente y su capacidad de transporte de sedimentos.

Este parámetro está dado por una relación entre la altura total del cauce principal (cota máxima, menos cota mínima) y su longitud (Ec. 4). A mayor valor de estos dos últimos parámetros, mayor será la posibilidad de que se produzcan crecidas, ya que la capacidad de arrastre de sedimentos y la velocidad del caudal en caso de tormentas, se incrementa en cuencas con valores altos de pendientes.

En caso que no suceda, cuando la pendiente media del cauce principal y de la cuenca presentan valores bajos, se producirían crecidas mucho menos violentas.

$$Sm = Hmax - Hmin/Lc \qquad (4)$$

Resultados y Discusión

En este estudio se logra caracterizar morfométricamente la cuenca de San Blas de Los Sauces, la que presenta características torrenciales y un menor tiempo de concentración ante eventos de precipitación. La densidad de drenaje está condicionada al clima, tipo de vegetación y aspectos edafológicos, por lo tanto, dependerá de la variabilidad en la distribución espacial y temporal de las precipitaciones.

La respuesta hidrológica de la cuenca está relacionada con las características morfométricas analizadas, como se refleja en este estudio.

La interpretación de los parámetros morfométricos debe tomarse con cautela ya que pueden representar valores subjetivos; sin embargo, la información aportada ofrece un diagnóstico preliminar para zonas con escasa información.

El factor de forma muestra cuán redondeada o alargada de la cuenca y mide la tendencia hacia crecidas rápidas y muy intensas o lentas y sostenidas (Horton, 1932).

El análisis morfométrico a partir de datos derivados de teledetección y procesamiento con SIG permite la caracterización de las redes de drenaje de los tributarios.
Los datos obtenidos constituyen la base para identificar los factores que controlan la génesis y el comportamiento hidrológico de los tributarios e identificar áreas prioritarias de manejo.

Los valores absolutos obtenidos para cada coeficiente son indicativos de los procesos y pueden estar subestimando algunas características particulares a escala de cuenca; sin embargo, la aplicación de criterios y metodologías comunes permiten realizar comparaciones entre las cuencas y determinar un ordenamiento escalado de los procesos y características principales (Tabla 1).

Tabla 1. Datos morfométricos de la cuenca de San Blas de los Sauces obtenidos a partir de la modelación.

Morfometría de la Cuenca de San Blas de los Sauces		
Área	(A)	1.004,78 km^2
Perímetro	(P)	213,5 km
Longitud de la cuenca	(L)	70,32 km
Ancho de la cuenca	(W)	14,28 km
Índice de Compacidad	(Kc)	1,89
Longitud del cauce principal	(Lp)	76,90 km
Factor de forma	(Kf)	0,17
Pendiente media de la cuenca	(Pc)	1,1 %
Cota máxima m.s.n.m.	(C_{max})	3.829 m
Cota mínima m.s.n.m.	(C_{min})	890 m
Pendiente del cauce principal	(Sm)	38,21 m/m

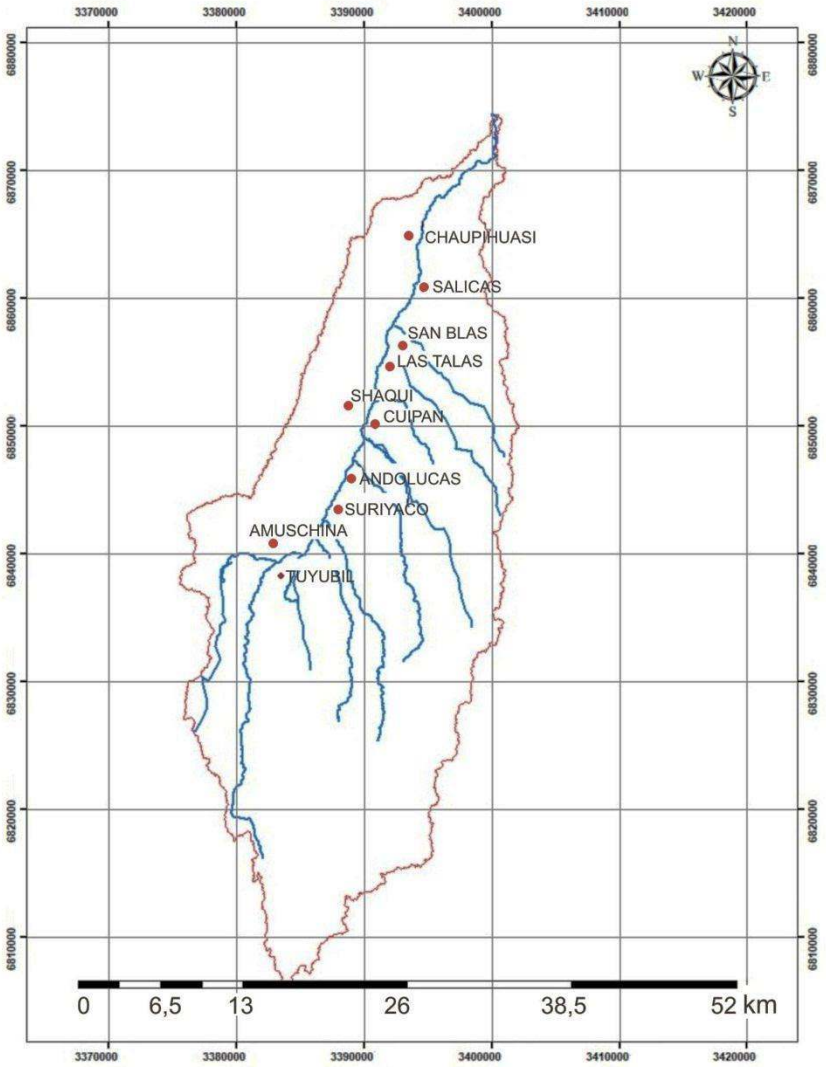


Figura 4. Formas de las cuencas (elaboración propia).

Conclusiones

Los parámetros morfométricos calculados se determinaron sobre datos básicos procesados con SIG, para confeccionar en gabinete la base de datos digital morfológica de la cuenca, formando parte del procedimiento inicial para el diagnóstico de la dinámica espacio temporal del escurrimiento superficial en la cuenca. Asimismo, dada la escasa información acerca del área de la cuenca, se considera que este trabajo conforma un aporte significativo sentando las bases para

Mediante la modelación realizada se determinó que el río San Blas de los Sauces conforma una cuenca hidrográfica intermedia a grande, basándose en la clasificación de cuencas de Campos Aranda, con un área aproximada de 1.000 km^2.

El río presenta un trazado sur-norte y su cuenca de aporte se desarrolla mayormente en el extremo norte de la sierra de Velasco (75% de la superficie de la cuenca). Ello le confiere una respuesta rápida, con altas pendientes generales, mientras que, por otra parte, el resto de la cuenca de aporte se desarrolla en la zona pedemontana, con pendientes generales menores desarrollados en estratos de suelos sedimentarios no cohesivos predominantes, arenosos y gravosos.

Posee una forma muy alargada e irregular con dirección NNW-SSE, con un factor de forma de 0,17 y un coeficiente de compacidad (Kc) de 1,89 que estarían indicando su poca sensibilidad a sufrir picos de grandes crecidas en lluvias de gran magnitud y de poca duración.

La cuenca solo está dominada por régimen de lluvias, ya que el aporte de vertientes es prácticamente nulo. Su cauce principal es el rio San Blas de los Sauces, que discurre en dirección similar a la misma cuenca NNW-SSE, con una longitud total de 76,90 km.

El escurrimiento superficial presenta un tipo de red de drenaje detrítico, con un marcado control estructural, y con una densidad de drenaje de 0,50 km/km^2, es un valor relativamente bajo, que indicaría la ocurrencia de picos de crecidas bajos. Por otra parte, el caudal del rio principal es efímero y solo se puede apreciar circulación superficial en épocas de mayor precipitación durante los meses de estío.

Referencias

Campos Aranda, D. 1992. Procesos del ciclo hidrogeológico. Publicación Universidad Autónoma de San Luis de Potosí. 2da. Ed. ISBN 968-6194-44-4. San Luis de Potosí, México.

Dourojeanni, A., Jouravlev, A., y Chávez, G. 2002. Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica. CEPAL-Serie de Recursos Naturales e Infraestructura. Publicación de las Naciones Unidas. ISBN: 92-1-322070-7. Santiago de Chile, Chile.

Horton, R.E. 1932. Drainage basin characteristics. Eos, Transactions. American Geophysical Union, 13(1): 350-361. https://doi.org/10.1029/TR013i001p00350. USA.

SEGEMAR. 2017. Carta Geológica 2966-III. Provincia de La Rioja. Programa nacional de cartas geológicas de la República Argentina. Instituto de geología y recursos minerales. Buenos Aires. Argentina.

Strahler, A.N. 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. Trans. Am Geoph. Union. Vol. 38 (VI): 913-920. USA.

https://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/Geodesia/ModeloDigitalElevaciones. 2024.

Strahler, A.N. 1964. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. In V.T. Chow (Ed.). Handbook of applied hydrology pp. 439-476. Ed. Mc Graw Hill. New York, USA.

Trabajos de Estudiantes de Posgrado

EVALUACIÓN DE LA PERFORMANCE DE UN PROCESO SUSTENTABLE DE RECUPERACIÓN DE PROTEÍNAS A PARTIR DE ARVEJAS AMARILLAS Y VERDES (*PISUM SATIVUM L.*)

María A. Guraya [1, 2], Antonia M. Iguti [3], Edison P.D.R. Triboli [3], Eliana P. Ribeiro [3], Cecilia Accoroni [4], María Andrea Espósito [4, 5, 6], Pablo Antonio Torresi [7, 8], María Agustina Reinheimer [1, 2], Ezequiel Godoy [9]

[1]Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina
[2]Universidad del Centro Educativo Latinoamericano (UCEL), Facultad de Química, Argentina
[3]Instituto Mauá de Tecnología, San Pablo, Brasil
[4]Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Oliveros, Argentina
[5]Universidad Nacional de Rosario (UNR), Facultad de Ciencias Agrarias, Argentina
[6]Instituto de Investigaciones en Ciencias Agrarias de Rosario (IICAR) UNR-CONICET, Argentina
[7]Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica (INCAPE) FIQ-UNL-CONICET, Argentina
[8]Universidad Nacional del Litoral (UNL), Facultad de Ingeniería Química, Argentina
[9]Universidad Tecnológica Nacional (UTN), Facultad Regional Rosario, Argentina

Mail de contacto: **mguraya@ucel.edu.ar**

Resumen

Esta investigación se centra en evaluar la performance de un proceso sustentable de recuperación de proteínas por extracción alcalina y precipitación isoeléctrica seguida de secado spray para producir productos proteicos en polvo a partir de arvejas amarillas y verdes (*Pisum sativum L.*). La etapa de extracción alcalina se llevó a cabo mediante tres ciclos de 15 minutos cada uno usando agua como disolvente a una temperatura de 60 °C. El pH se ajustó a 8,5 con hidróxido de sodio 1N. En cada ciclo de extracción se usó una relación sólido:líquido de 1:10 p/v (peso/volumen). Para la etapa de precipitación hasta pH 4,5, se utilizaron bacterias ácido-lácticas (*Lactiplantibacillus Plantarum y Lactococcus Lactis*) como agente precipitante generalmente reconocido como seguro (GRAS). En la etapa de secado, se utilizó como agente encapsulante la fracción fina (<150 µm) obtenida de la molienda de arvejas amarillas y verdes para mejorar la sustentabilidad global del proceso mediante la reducción del residuo de la molienda.

Se comprobó que el uso de bacterias ácido-lácticas como agente precipitante y de la fracción fina de arvejas amarillas y verdes como agentes encapsulantes dieron lugar a un aumento de la productividad del proceso de recuperación del 30 al 50 % (0,41 a 0,51 kg de producto proteico/kg de harina de arvejas), con un bajo consumo específico de agua (52,58-62,39 kg de agua/kg de producto), siendo este un 50 % inferior que cuando no se usó la fracción fina. Asimismo, cuando el producto no se encapsuló en la etapa de secado, se observó menor contenido de proteínas en el producto final y rendimiento del proceso de recuperación, así como un mayor consumo específico de agua. De esta forma, la combinación de un agente precipitante GRAS y un coadyuvante mejora la productividad y sustentabilidad del proceso de recuperación.

Palabras Clave: arveja amarilla y verde, recuperación proteica sustentable, bacterias lácticas, agente encapsulante, secado spray.

Introducción

Las arvejas amarillas y verdes (Pisum sativum L.) presentan baja alergenicidad, buen valor nutricional y disponibilidad (Gao et al., 2020; Hertzler et al., 2020), con un alto contenido proteico (20-25%) y bajo en grasa (1,5-2,0%), siendo también ricas en algunos aminoácidos esenciales (Boye et al., 2010; Shanthakumar et al., 2022). En consecuencia, sus concentrados y aislados proteicos son una alternativa a la soja interesantes como materias primas para elaborar productos alimenticios de origen vegetal (García Arteaga et al., 2021).

Varios estudios han avanzado en la extracción de proteínas de leguminosas mediante el método de pH-shifting, que incluye la solubilización de proteínas a pH 8-11 y su precipitación isoeléctrica, logrando la insolubilización del 90% de las proteínas globulares (Accoroni et al., 2020; Gao et al., 2020; Kolpakova et al., 2021). En este contexto, se destaca la importancia de evaluar cuidadosamente el agente precipitante utilizado, garantizando su seguridad y buscando mejorar la accesibilidad de nutrientes en la industria alimentaria (Emkani et al., 2021; Pei et al., 2022). Luego, es crucial investigar cómo el secado por spray afecta características como aroma, estructura, perfil proteico y tamaño de partículas (García Arteaga et al., 2021). La inclusión de encapsulantes en este proceso es beneficioso para proteger la integridad y funcionalidad de las proteínas, actuando como barrera ante factores externos como oxígeno y humedad (McClements, 2018).

Este estudio tiene como objetivo evaluar el proceso de secado de productos proteicos de arvejas amarillas y verdes en un secadero spray, utilizando como encapsulante la fracción fina de las harinas de arvejas obtenida de su proceso de molienda, ya que se evaluó que es un coadyuvante sostenible y adecuado para aumentar el rendimiento del secado teniendo en cuenta sus dos componentes principales, carbohidratos y proteínas, que pueden actuar sinérgicamente para aumentar los rendimientos del procesado del producto y mejorar las características tecnológicas de las proteínas en polvo. Además, el uso de bacterias lácticas como agente precipitante generalmente reconocido como seguro (GRAS) en la etapa de precipitación del cambio de pH también se evalúa como una alternativa para mejorar aún más el rendimiento del proceso y mejorar las propiedades de los productos proteicos resultantes.

Materiales y Métodos

El diseño de experimentos incluyó 8 corridas experimentales, que siguieron los pasos de procesamiento que se muestran en la Figura 1 y que se detallan en las secciones siguientes. La metodología propuesta fue diseñada para evaluar el rendimiento del proceso de recuperación de proteínas cuando se incorpora un agente encapsulante en la etapa de secado y se utilizan diferentes agentes precipitantes en la etapa de precipitación isoeléctrica.

Las arvejas amarillas y verdes secas (Pisum sativum L.) se compraron a vendedores comerciales (Buenos Aires, Argentina, y São Paulo, Brasil, respectivamente). Las muestras se almacenaron en bolsas selladas a temperaturas de congelación (-18 ºC) hasta su procesamiento. Las arvejas se molieron a temperatura ambiente utilizando un molino de cuchillas de laboratorio (SP-31, SP Labor, Brasil), y luego se tamizaron a través de tamices estándar ASTM (pasante en malla 25, 710 µm, y retenido en malla 100, 150 µm). Se separaron y recuperaron las fracciones finas de arveja amarilla y verde (pasante en malla 100, 150 µm), para utilizarlas posteriormente como agente encapsulante en la etapa de secado por pulverización. El contenido de nitrógeno, solubilidad en NaOH, lípidos, azúcares reductores, cenizas y humedad se determinaron según el método 2001.11 de la AOAC (AOAC, 2005), Stone et al. (2015), Bligh & Dyer (1959), Bernfeld, (1955), método 942.05 de la AOAC (AOAC, 2005), método 925.10 de la AOAC (AOAC, 2005), con ligeras modificaciones, respectivamente. El contenido de carbohidratos se determinó por diferencia.

El proceso de recuperación se realizó en un extractor discontinuo con agitación continua (RW20D S032, Ika, China) consistente en tres ciclos de 15 minutos utilizando agua como disolvente, con proporción sólido/líquido de 1:10 (p/v). El pH se ajustó a 8,5 con NaOH 1N a una temperatura constante de 60 ºC. Al final de cada extracción, se separó el sólido restante de la solución proteica, y se añadió agua fresca a 60 ºC al principio del segundo y tercer ciclo para ajustar la proporción sólido-líquido al valor requerido. Las tres soluciones obtenidas se combinaron y se transfirieron a un recipiente para su posterior precipitación.

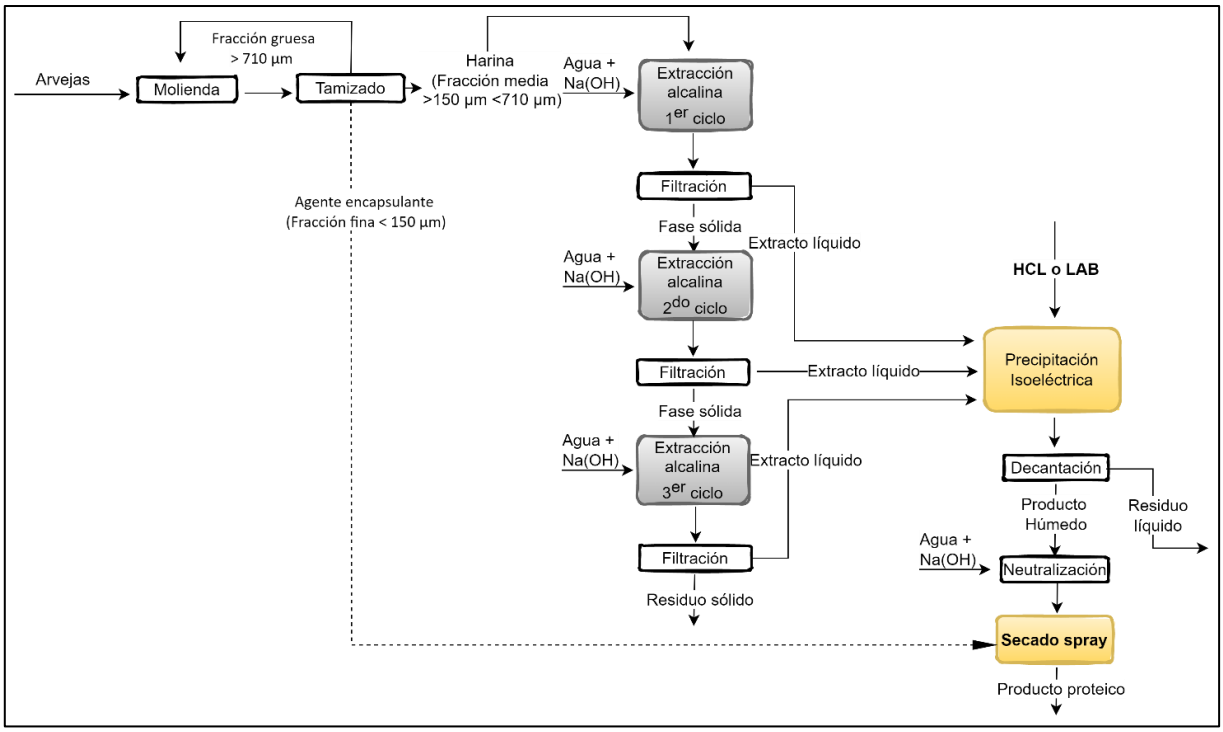


Figura 1. Metodología experimental para la recuperación de proteínas de arvejas amarillas y verdes, utilizando diferentes agentes precipitantes y de secado.

La etapa de precipitación isoeléctrica se realizó utilizando dos precipitantes alternativos: ácido clorhídrico 0,1 N, y bacterias lácticas liofilizadas iniciadoras (GRAS), *Lactiplantibacillus Plantarum y Lactococcus Lactis*. Para la primera alternativa, codificada como HCL, se utilizó ácido clorhídrico 0,1 N para acidificar la mezcla líquida a una temperatura de 20 °C hasta que el pH alcanzó un valor de 4,5. La mezcla resultante se dejó sedimentar bajo refrigeración hasta una temperatura de 4 °C, lo que facilitó la decantación del producto proteico. Como segunda alternativa, codificada como LAB, se realizó la acidificación con dos bacterias lácticas, *Lactiplantibacillus Plantarum y Lactococcus Lactis.* Estas bacterias se añadieron en una proporción de 0,003 g/l en el pool líquido a una temperatura de 35-37 °C durante 10 horas en un horno de laboratorio (002CB, Fanem LTDA, Brasil). En caso necesario, se utilizó ácido láctico (85 %, grado alimentario) para los ajustes finales del valor del pH hasta alcanzar el punto isoeléctrico. La mezcla resultante se dejó reposar bajo refrigeración hasta una temperatura de 4 °C, lo que facilitó la decantación del producto proteico.

El sobrenadante líquido de la mezcla obtenida en la etapa de precipitación isoeléctrica se separó por decantación. A continuación, se ajustó el pH de la suspensión precipitada a un valor de 7, añadiendo NaOH 5 N a temperatura ambiente con agitación durante 1 hora. Las fracciones finas de arvejas amarillas y verdes se añadieron como agentes encapsulantes a las suspensiones precipitadas, en una proporción de contenido sólido: encapsulante (p/p) de 1:1. La mezcla se agitó antes de proceder a su secado, el cual se realizó en un secadero spray de laboratorio (MSD 1.0, Labmaq, Brasil) con flujo en co-corriente y diámetro de boquilla de 0,5 mm. La suspensión se introdujo en la cámara principal con una bomba peristáltica al 15% del caudal máximo (2 l/h). La temperatura del aire de entrada se fijó en 160 °C, y la de salida resultante se midió en un valor medio de 54-60 °C. Tras el secado spray, se recogió el polvo del ciclón y de las partes cilíndricas de la cámara y se almacenó en frascos esterilizados para su posterior análisis.

Los resultados se analizaron mediante ANOVA multifactorial asumiendo una distribución normal con un nivel de confianza bilateral del 95%. Cada medición experimental se realizó al menos por duplicado, y los resultados se presentaron como el valor medio con su correspondiente desviación estándar. Para una variable dada, se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los

valores experimentales cuando se muestran letras diferentes junto a ellos, según las pruebas post-hoc de Tukey. Los análisis estadísticos se realizaron en el programa informático R-3.6.0.

Resultados y Discusión

La Tabla 1 presenta el contenido proteico, el rendimiento de recuperación, la productividad, el consumo específico de agua y el rendimiento de secado de los productos en polvo obtenidos a partir de ambas variedades de arvejas, ambos agentes precipitantes y el uso de agente encapsulante. Se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$, ANOVA de tres factores para cada respuesta) para el contenido proteico del producto final, el rendimiento de recuperación, la productividad, el consumo específico de agua y el rendimiento de secado del proceso de recuperación con respecto a la variedad de arveja, el agente precipitante y el uso del agente encapsulante.

Tabla 1. Rendimiento del proceso de recuperación de proteínas de arvejas amarillas y verdes para diferentes condiciones de secado.

	Agente precipitante	Sin Encapsulante		Con Encapsulante	
		Producto proteico de Arveja amarilla	Producto proteico de Arveja verde	Producto proteico de Arveja amarilla	Producto proteico de Arveja verde
Contenido proteico (% bs)	**HCL**	41,41 ± 0,74 (d)	59,11 ± 0,72 (a)	51,02 ± 1,44 (b)	45,81 ± 0,29 (c)
	LAB	38,88 ± 0,76 (de)	50,58 ± 0,60 (b)	36,39 ± 0,74 (e)	48,06 ± 2,36 (bc)
Humedad (% bh)	**HCL**	9,01 ± 0,93 (a)	7,23 ± 0,09 (ab)	4,40 ± 0,07 (de)	6,67 ± 1,08 (bc)
	LAB	6,34 ± 0,19 (bcd)	4,60 ± 0,17 (cde)	3,60 ± 0,27 (e)	4,21 ± 0,12 (e)
Rendimiento de recuperación, Y_T (% bs)	**HCL**	26,53 ± 0,08 (bc)	14,99 ± 0,19 (f)	31,19 ± 1,02 (a)	28,83 ± 0,33 (ab)
	LAB	19.83 ± 0,58 (e)	22,45 ± 0,04 (de)	24,07 ± 0,46 (cd)	25,98 ± 1,73 (bc)
Productividad, P_T (kg producto bs/kg harina bs)	**HCL**	0,25 ± 0,00 (g)	0,27 ± 0,00 (f)	0,48 ± 0,00 (b)	0,46 ± 0,00 (c)
	LAB	0,23 ± 0,00 (h)	0,30 ± 0,00 (e)	0,51 ± 0,00 (a)	0,41 ± 0,00 (d)
Consumo específico de agua, G_W (kg agua/kg final de producto bs)	**HCL**	122,38 ± 0,92 (b)	112,75 ± 0,08 (c)	52,96 ± 0,06 (g)	56,67 ± 0,45 (f)
	LAB	134,22 ± 0,00 (a)	102,48 ± 0,10 (d)	52,58 ± 0,14 (g)	62,39 ± 0,01 (e)
Rendimiento de secado, Y_D (% bs)	**HCL**	51,05 ± 0,38 (f)	68,82 ± 0,05 (d)	62,89 ± 0,07 (e)	72,44 ± 0,58 (b)
	LAB	62,69 ± 0,00 (e)	71,30 ± 0,07 (c)	85,34 ± 0,24 (a)	61,95 ± 0,01 (e)

ANOVA de tres factores para cada variable con respecto a la variedad de arvejas, el agente precipitante y el uso de agente encapsulante. Letras distintas representan diferencias significativas entre los resultados experimentales según las pruebas post-hoc de Tukey.

El producto con mayor contenido proteico ($p < 0,05$, ANOVA de tres factores) se obtuvo utilizando arvejas verdes como materia prima, HCL como precipitante y sin la fracción fina como agente encapsulante. Sin embargo, otros indicadores de rendimiento no fueron favorables para estas condiciones de procesamiento. Por el contrario, para la recuperación de proteínas de la arveja amarilla utilizando HCL y encapsulante, se observó mejor rendimiento global, con la mayor recuperación, el menor consumo específico de agua, el mayor rendimiento de secado, y un contenido adecuado de proteínas en el producto en polvo. La adición de fracción fina como coadyuvante aumentó la productividad y los rendimientos de secado ($p < 0,05$ ANOVA de tres factores, y disminuyó significativamente el consumo específico de agua. Estas mejoras pueden atribuirse a la mayor recuperación de sólidos totales en los productos finales resultante de la adición

de la fracción fina antes del proceso de secado.

El rendimiento del proceso de recuperación de proteínas de diferentes leguminosas fue revisado previamente por Sari et al. (2015), donde se observó que el rendimiento y el contenido de proteínas en el producto final dependían de la relación biomasa/disolvente, el tipo de disolvente, el pH de extracción, la temperatura y el tiempo, entre otras variables de procesamiento. También concluyeron que la recuperación de proteínas de ciertas matrices, como la soja y otros cereales, es más fácil en comparación con la de otras fuentes novedosas. Esto se debe presumiblemente a que las proteínas están más fácilmente disponibles, mientras que las condiciones de procesado se han ajustado mejor. Para productos de harina de arvejas, Tanger et al. (2020) obtuvieron contenidos de proteínas superiores al 70 %, con rendimientos de extracción del 46-50 %. Para tres cultivares de arvejas, Stone et al. (2015) obtuvieron aislados con un contenido proteico del 83,3-86,9 % mediante una extracción alcalina a un valor de pH de 9,5, con valores del rendimiento proteico del 62,6-76,7 % y productividades del 15,3-16,0 % (en base al peso de la materia prima).

Conclusiones

En el presente trabajo, se observaron mejoras de los indicadores de performance para la recuperación proteica a partir de arvejas amarillas y verdes al utilizar bacterias ácido-lácticas como precipitante y la fracción fina como agentes (30 al 50 % de aumento de productividad, con un 50 % menos de consumo específico de agua, y entre 4 a 23 % mayor rendimiento de secado). Los resultados indicaron que la elección de los parámetros de procesamiento influyó significativamente en el contenido proteico y el rendimiento de recuperación de los productos finales.

Como trabajo futuro, se prevé evaluar el impacto de la implementación de etapas de proceso adicionales en la recuperación proteica a partir de arvejas, como ser la fermentación en estado sólido o la hidrólisis enzimática de carbohidratos, las que se espera permitan el desarrollo de productos con características funcionales y tecnológicas mejoradas.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo del Instituto de Tecnología Mauá, la Universidad del Centro Educativo Latinoamericano (UCEL), el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), la Universidad Nacional del Litoral (UNL) y la Universidad Tecnológica Nacional (UTN). Asimismo, agradecemos a los técnicos de laboratorio Douglas Dalla Justina, Sandra Maria do Nascimento, Daniela Cristina do Couto, Marcia Coutinho da Silva y Lucas Felix de Arruda por ayudarnos en el uso de las instalaciones y los equipos.

Referencias

Accoroni, C., Godoy, E., & Reinheimer, M. A. (2020). Performance evaluation of protein recovery from Argentinian soybean extruded-expelled meals under different operating conditions. Journal of Food Engineering, 274, 109849. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.109849

AOAC. (2005). *Official methods of analysis of AOAC INTERNATIONAL*. AOAC International.

Bernfeld, P. (1955). Amylases, α and β. In *Methods in Enzymology* (Vol. 1, pp. 149–158). Elsevier. https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-12-211

Bligh, E. G., & Dyer, W. J. (1959). A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*, *37*(8), 911–917. https://doi.org/10.1139/o59-099

Boye, J., Zare, F., & Pletch, A. (2010). Pulse proteins: Processing, characterization, functional properties and applications in food and feed. *Food Research International*, *43*(2), 414–431. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.09.003

Emkani, M., Oliete, B., & Saurel, R. (2021). Pea Protein Extraction Assisted by Lactic Fermentation:

Impact on Protein Profile and Thermal Properties. *Foods*, *10*(3), 549. https://doi.org/10.3390/foods10030549

Gao, Z., Shen, P., Lan, Y., Cui, L., Ohm, J.-B., Chen, B., & Rao, J. (2020). Effect of alkaline extraction pH on structure properties, solubility, and beany flavor of yellow pea protein isolate. *Food Research International*, *131*, 109045. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109045

García Arteaga, V., Kraus, S., Schott, M., Muranyi, I., Schweiggert-Weisz, U., & Eisner, P. (2021). Screening of Twelve Pea (Pisum sativum L.) Cultivars and Their Isolates Focusing on the Protein Characterization, Functionality, and Sensory Profiles. *Foods*, *10*(4), 758. https://doi.org/10.3390/foods10040758

Hertzler, S. R., Lieblein-Boff, J. C., Weiler, M., & Allgeier, C. (2020). Plant Proteins: Assessing Their Nutritional Quality and Effects on Health and Physical Function. *Nutrients*, *12*(12), 3704. https://doi.org/10.3390/nu12123704

Kolpakova, V. V, Kulikov, D. S., Ulanova, R. V, Gaivoronskaya, I. S., & Chumikina, L. V. (2021). Technological solutions and prospects for obtaining protein preparations and composites from legumes. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *659*(1), 012139. https://doi.org/10.1088/1755-1315/659/1/012139

McClements, D. J. (2018). Encapsulation, protection, and delivery of bioactive proteins and peptides using nanoparticle and microparticle systems: A review. *Advances in Colloid and Interface Science*, *253*, 1–22. https://doi.org/10.1016/j.cis.2018.02.002

Pei, M., Zhao, Z., Chen, S., Reshetnik, E. I., Gribanova, S. L., Li, C., Zhang, G., Liu, L., & Zhao, L. (2022). Physicochemical properties and volatile components of pea flour fermented by Lactobacillus rhamnosus L08. *Food Bioscience*, *46*, 101590. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101590

Sari, Y. W., Mulder, W. J., Sanders, J. P. M., & Bruins, M. E. (2015). Towards plant protein refinery: Review on protein extraction using alkali and potential enzymatic assistance. *Biotechnology Journal*, *10*(8), 1138–1157. https://doi.org/10.1002/biot.201400569

Shanthakumar, P., Klepacka, J., Bains, A., Chawla, P., Dhull, S. B., & Najda, A. (2022). The Current Situation of Pea Protein and Its Application in the Food Industry. *Molecules*, *27*(16), 5354. https://doi.org/10.3390/molecules27165354

Stone, A. K., Karalash, A., Tyler, R. T., Warkentin, T. D., & Nickerson, M. T. (2015). Functional attributes of pea protein isolates prepared using different extraction methods and cultivars. *Food Research International*, *76*, 31–38. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.11.017

Tanger, C., Engel, J., & Kulozik, U. (2020). Influence of extraction conditions on the conformational alteration of pea protein extracted from pea flour. *Food Hydrocolloids*, *107*, 105949. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105949

EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FUNCIONALES A DIFERENTES pH DE PRODUCTOS PROTEICOS DE EXPELLER DE SOJA OBTENIDOS MEDIANTE DIFERENTES AGENTES PRECIPITANTES

María N. Andrín [1, 2], María A. Guraya [1, 2], Cecilia Accoroni [3], Pablo A. Torresi [4], Ezequiel Godoy[5], María A. Reinheimer [1, 2]

[1]Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina
[2]Universidad del Centro Educativo Latinoamericano (UCEL), Facultad de Química, Argentina
[3] Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Argentina
[4]Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica (INCAPE) FIQ-UNL-CONICET, Argentina
[5]Universidad Tecnológica Nacional (UTN), Facultad Regional Rosario, Argentina

Resumen

Esta investigación tiene como objetivo evaluar el comportamiento a diferentes pH de propiedades funcionales de productos proteicos obtenidos a partir de expeller de soja. La recuperación de proteínas fue realizada por extracción alcalina y precipitación isoeléctrica. La etapa de extracción alcalina se llevó a cabo mediante tres ciclos de 15 minutos cada uno usando agua como disolvente a una temperatura de 60 °C. El pH se ajustó a 8,5 con hidróxido de sodio 1N. En cada ciclo de extracción se usó una relación sólido:líquido de 1:10 p/v (peso/volumen). Para la etapa de precipitación hasta pH 4,5, se utilizaron tres alternativas, ácido clorhídrico (HCL), ácido láctico (LA) y bacterias ácido lácticas (*Lactobacillus Plantarum y Lactobacillus Lactis*) combinadas con ácido láctico (LAB). Los productos fueron secados en secadero spray previa neutralización con agua e hidróxido de sodio.

Para los tres productos proteicos obtenidos, HCL, LA y LAB, se evaluaron la capacidad de retención de agua (WHC), capacidad de retención de aceite (OHC), capacidad emulsionante (EC), estabilidad de la emulsión (ES), capacidad espumante (FC) y estabilidad de la espuma (EF) a 30 y 60 minutos, a valores de pH de 2, 4,5, 7, 9,5 y 12. Por su parte, la solubilidad de los productos proteicos fue determinada a un pH de 7. Se comprobó que aquellos productos proteicos obtenidos por precipitación isoeléctrica con BAL formaron emulsiones estables en todos los valores de pH, incluso en el punto isoeléctrico. La solubilidad a pH 7 fue del 42,08 ± 0,00 %, mientras que la capacidad de retención de agua, la capacidad de retención de aceite, la capacidad espumante y la estabilidad de la espuma se mantuvieron constantes en las variantes probadas. Estos atributos funcionales mejorados posicionan a las bacterias lácticas como una alternativa sostenible a los ácidos inorgánicos como agentes precipitantes.

Palabras Clave: Expeller de soja, recuperación proteica, propiedades funcionales, bacterias lácticas, pH.

Introducción

La soja (*Glycine max) es* una alternativa económica y equiparable a las fuentes de proteínas de origen animal (Ghumman et al., 2016).
El expeller de soja (EE), obtenido a partir de la extracción mecánica del aceite de soja, exhibe un contenido de grasa que oscila entre el 4,5 % y el 9 % bs (base seca) y un contenido proteico que varía entre el 30 % y el 42 % bs. Se destaca su mejorada digestibilidad respecto a la harina desgrasada, atribuida a las alteraciones en las estructuras proteicas facilitadas por las temperaturas aplicadas durante la extrusión (Accoroni et al., 2019; Ghumman et al., 2016); sin embargo, como desventaja presenta un mayor contenido residual de aceite. Numerosos estudios han informado de avances significativos en el proceso de extracción de proteínas de expeller de soja mediante extracción alcalina y posterior precipitación isoeléctrica, (Brasil et al., 2016; Das et al., 2022; Jiang

et al., 2009; Zhao et al., 2023). El método de cambio de pH implica extraer y solubilizar proteínas en un intervalo de pH de 8 a 11, y acidificar hasta alcanzar el punto isoeléctrico a un pH de 4,5, haciendo que alrededor del 90 % de las proteínas globulares solubilizadas se vuelvan insolubles (Nishinari et al., 2018). En este contexto, se utilizaron ácido clorhídrico, ácido láctico y bacterias acido lácticas como agentes precipitantes, de los cuales los dos últimos son reconocidos por la FDA (Food and Drug Administration) como GRAS (generally recognized as safe, por las siglas en inglés de generalmente reconocidos como seguros). Por lo tanto, en este trabajo se propone evaluar el efecto de los nuevos agentes precipitantes en el comportamiento del producto según la evaluación de diversas propiedades funcionales en un rango amplio de valores de pH.

Materiales y Métodos

Cada corrida experimental siguió los pasos de procesamiento que se muestran y detallan en la Figura 1. El expeller de soja fue provisto por plantas procesadoras de pequeña escala de la provincia de Santa Fe, Argentina. Las muestras se almacenaron en bolsas selladas herméticamente y se mantuvieron a (-18 ºC) hasta su posterior procesamiento. El expeller se molió a temperatura ambiente utilizando un molino de laboratorio (Bühler, Alemania) y se tamizó con tamices estándar ASTM para lograr un tamaño de partícula que pasó por malla 25 (710 µm) y fue retenido por malla 100 (150 µm).

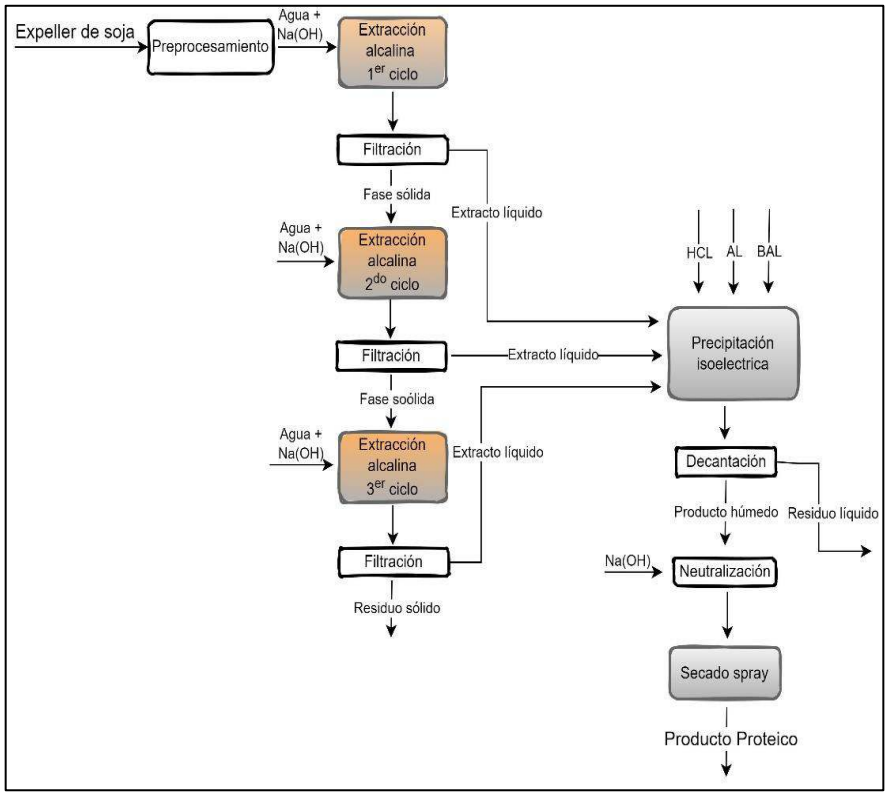


Figura 1. Metodología experimental para la recuperación de proteínas de expeller de soja utilizando diferentes agentes precipitantes.

La extracción se realizó en un extractor discontinuo con agitación continua (RW20D S032, Ika, China) consistente en tres ciclos de extracción de 15 minutos utilizando agua como disolvente. El pH se ajustó a 8,5 con NaOH 1N a una temperatura constante de 60 ºC. En cada ciclo de extracción se utilizó una proporción sólido/líquido de 1:10 (p/v). Al final de cada ciclo de extracción, se separó el sólido restante de la solución proteica, y se añadió agua a 60 ºC al principio del segundo y tercer ciclos, ajustando el pH a 8,5. Luego, las tres soluciones obtenidas en cada ciclo de extracción se

combinaron en un pool líquido y se transfirieron a un vaso de precipitados para su posterior precipitación.

La etapa de precipitación isoeléctrica se llevó a cabo empleando ácido clorhídrico, ácido láctico y bacterias lácticas liofilizadas, *Lactobacillus Plantarum y Lactobacillus Lactis.* Para la primera alternativa, codificada como HCL, se utilizó ácido clorhídrico 0,1 N para acidificar la mezcla líquida a una temperatura de 20 °C hasta que el pH alcanzó un valor de 4,5. La mezcla resultante se dejó decantar bajo refrigeración hasta una temperatura de 4 °C. Para la segunda alternativa, codificada como AL, se utilizó ácido láctico para acidificar la mezcla líquida a una temperatura de 20 °C hasta que el pH alcanzó un valor de 4,5. En ambos casos, la mezcla resultante se dejó reposar en heladera hasta alcanzar una temperatura de 4 °C, lo que facilitó la decantación del producto proteico. La tercera alternativa, codificada como BAL, implicó una acidificación con dos bacterias lácticas, *Lactobacillus Plantarum y Lactobacillus Lactis*. Estas bacterias se adicionaron en una proporción de 0,003 g/l a una temperatura de 35-37 °C durante 10 horas en un baño termostático (Tecno Dalvo, Argentina). En caso necesario, se utilizó ácido láctico (85 %, grado alimentario) para los ajustes finales del valor del pH hasta alcanzar el punto isoeléctrico. heladera hasta alcanzar los 4 °C, lo que facilitó la decantación del producto proteico. El sobrenadante líquido de la mezcla obtenida en la etapa de precipitación isoeléctrica se separó por decantación. A continuación, se añadió NaOH 5N hasta alcanzar un pH de 7, con agitación durante una hora a temperatura ambiente. El secado se realizó en un secadero spray con flujo co-corriente (TP-S15, XI'An Toption Instrument Co., Ltd, China) utilizando una boquilla de 0,5 mm. La bomba peristáltica utilizada para alimentar la suspensión se ajustó al 15 % del caudal máximo (2 l/h). La temperatura del aire de entrada se fijó en 180 °C y la temperatura del aire de salida resultante se midió a un valor medio de 54-60 °C. El polvo seco se recogió tanto del ciclón como de los componentes cilíndricos de la cámara de secado y se almacenó en frascos esterilizados.

Para los tres productos proteicos obtenidos, HCL, AL y BAL, se determinó el contenido de proteínas y se evaluaron la solubilidad, capacidad de retención de agua (WHC), capacidad de retención de aceite (OHC), capacidad emulsionante (EC), estabilidad de la emulsión (ES), capacidad espumante (FC) y estabilidad de la espuma (EF) a 30 y 60 minutos, a valores de pH de 2, 4,5, 7, 9,5 y 12, según los métodos de (García-Vaquero et al., 2017).

Los resultados se evaluaron utilizando ANOVA de uno o dos factores asumiendo una distribución normal con un nivel de confianza del 95 %. Cada medición experimental se realizó al menos por duplicado. Los resultados se presentaron como el valor medio y la desviación estándar. Se detectaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre los datos experimentales cuando se muestran diferentes letras junto a ellos, de acuerdo con pruebas post-hoc de Tukey. Los análisis estadísticos se realizaron en el software R-4.3.1.

Resultados y Discusión

El proceso de recuperación de proteínas a partir del expeller de soja utilizando pH 8,5 en la etapa de extracción alcalina, y utilizando ácido clorhídrico, ácido láctico isoeléctrica, no se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$) para el contenido de proteínas del producto final (HCL 66,78% ± 0,19, AL 68,38% ± 4,50, BAL 59,05% ±5,25 bs). Accoroni (2020) informó concentraciones de proteínas del 60-65 % con rendimientos de recuperación del 46-48 % para la extracción alcalina de proteínas de la harina de expeller de soja a un valor de pH de 8 y utilizando ácido clorhídrico como agente precipitante.

En la Tabla 1 se muestran los valores experimentales de las propiedades funcionales de los productos proteicos obtenidos a partir de expeller de soja. Todas las propiedades funcionales estudiadas mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$ ANOVA de dos factores para cada respuesta con respecto al agente precipitante y al pH) con respecto a algunas combinaciones del agente precipitante para los cinco valores de pH testeados.

Tabla 1. Propiedades funcionales de los productos proteicos obtenidos a partir de expeller de soja.

pH	Capacidad de retención de agua, WHC(g/g)			Capacidad de retención de aceite, OHC(g/g)			Capacidad emulsionante, EC (%)			Estabilidad emulsión, ES (%)		
	HCL	AL	BAL	HCL	AL	BAL	HCL	AL	BAL	HCL	AL	BAL
2	1,20 ± 0,12 fg	1,59 ± 0,08 cdef	2,08 ± 0,17 bcd	1,92 ± 0,10 bc	2,09 ± 0,12 ab	1,91 ± 0,14 bc	47,70 ± 1,97 ab	44,69 ± 3,65 abcd	46,49 ± 1,24 abc	86,74 ± 7,44 a	21,95 ± 1,59 c	96,22 ± 0,10 a
4.5	2,07 ± 0,23 bcd	1,03 ± 0,12 fg	2,02 ± 0,17 bcde	1,32 ± 0,05 def	1,70 ± 0,07 bcd	1,43 ± 0,09 de	ND	ND	39,47 ± 1,23 bcd	ND	ND	17,69 ± 5,73 c
7	1,24 ± 0,10 fg	1,03 ± 0,07 fg	2,23 ± 0,10 bc	1,92 ± 0,17 bc	1,36 ± 0,08 def	1,43 ± 0,00 de	46,36 ± 1,28 abc	46,43 ± 0,00 abc	49,04 ± 2,64 a	100,00 ± 0,00 a	46,16 ± 5,44 b	98,92 ± 2,52 a
9.5	0,22 ± 0,01 h	1,38 ± 0,17 ef	2,61 ± 0,23 ab	2,43 ± 0,12 a	1,16 ± 0,02 ef	0,99 ± 0,09 f	48,18 ± 1,28 a	45,04 ± 0,57 abc	48,67 ± 3,17 a	94,37 ± 7,96 a	100,00 ± 0,00 a	98,22 ± 2,52 a
12	1,52 ± 0,12 def	0,73 ± 0,09 gh	2,92 ± 0,39 a	1,48 ± 0,06 de	1,66 ± 0,02 cd	1,43 ± 0,19 de	36,45 ± 1,48 d	38,45 ± 0,74 cd	41,02 ± 4,02 abcd	24,29 ± 6,06 c	42,19 ± 1,82 b	100,00 ± 0,00 a
pH	Capacidad espumante, FC (%)			Estabilidad espuma a 30 min, FS (%)			Estabilidad espuma a 60 min, FS (%)			Solubilidad, S (%)		
	HCL	AL	BAL	HCL	AL	BAL	HCL	AL	BAL	HCL	AL	BAL
2	50,00 ± 4,16 c	27,94 ± 2,08 d	70,59 ± 0,00 ab	3,80 ± 0,42 ef	2,65 ± 0,35 fg	5,30 ± 0,00 bc	2,75 ± 0,21 d	1,80 ± 0,00 e	3,50 ± 0,00 c	-	-	-
4.5	23,53 ± 0,00 d	25,00 ± 2,08 d	67,65 ± 4,16 ab	1,80 ± 0,00 g	ND	4,40 ± 0,42 cde	0,60 ± 0,00 f	ND	3,50 ± 0,00 c	-	-	-
7	29,41 ± 0,00 d	50,00 ± 4,16 c	73,53 ± 4,16 a	2,65 ± 0,35 fg	4,40 ± 0,42 cde	4,10 ± 0,00 de	1,80 ± 0,00 e	3,50 ± 0,00 c	3,50 ± 0,00 c	45,86 ± 7,21 a	21,92 ± 0,46 b	42,08 ± 0,00 a
9.5	73,53 ± 4,16 a	79,41 ± 4,16 a	76,47 ± 0,00 a	5,90 ± 0,00 b	5,30 ± 0,00 bc	5,60 ± 0,42 b	4,10 ± 0,00 b	3,50 ± 0,00 c	4,70 ± 0,00 a	-	-	-
12	55,88 ± 4,16 bc	82,35 ± 8,32 a	79,41 ± 4,16 a	5,00 ± 0,42 bcd	7,10 ± 0,00 a	5,60 ± 0,42 b	4,40 ± 0,42 ab	4,70 ± 0,00 a	3,95 ± 0,21 bc	-	-	-

La capacidad de retención de aceite de los productos proteicos fue comparable a los valores informados por Ma et al. (2022) para los aislados de proteínas de haba, arvejas, lenteja y soja. Estos valores se deben posiblemente a la distribución de cargas de los aminoácidos polares y no polares (es decir, hidrofilicidad superficial frente a hidrofobicidad). En cuanto a la capacidad emulsionante y estabilidad de la emulsión, Wang et al. (2010) observaron que una emulsión estabilizada con concentrado de proteína de soja a un pH de 4,5 utilizando HCl como agente precipitante es potencialmente menos estable. Esto podría atribuirse a la proximidad al punto isoeléctrico, donde el potencial zeta tiende a aproximarse a cero indicando una reducción en la repulsión electrostática entre las partículas coloidales en la emulsión. Por otro lado, los productos proteicos precipitados por BAL mostraron cierta capacidad emulsionante incluso en el valor de pH de 4,5. Según Aluko et al.

(2009), los productos proteicos de arveja obtenidos mediante precipitación con bacterias lácticas presentaron mayores contenidos de azúcares, lo que podría mejorar potencialmente la solubilidad de las proteínas y, por ende, mejorar la capacidad emulsionante.

Los valores de capacidad espumante aquí obtenidos concuerdan con los reportados por Foh et al. (2012) para los aislados de proteínas de soja producidos por extracción alcalina y precipitación isoeléctrica, los cuales variaron desde aproximadamente un 4 % a un valor de pH de 4 hasta aproximadamente un 102 % a un valor de pH de 10. Sin embargo, Foh et al. (2012) presentaron mejores valores de estabilidad de espuma del 45 % a los 30 minutos y del 25 % a los 60 minutos. El aumento en la capacidad espumante a un pH más alto es probablemente consecuencia de las cargas netas más altas en la proteína, lo que conlleva a una mayor flexibilidad de la proteína y una reducción en las interacciones hidrofóbicas. Peng et al. (2020) informaron un índice de solubilidad de alrededor del 90 % a un valor de pH de 7,5 para los productos proteicos obtenidos a partir de cultivares de soja con un contenido inicial de proteínas del 80 %, utilizando ácido clorhídrico como agente precipitante. Aun así, concluyeron que la solubilidad para diferentes valores de pH depende de la conformación específica de la proteína, la carga superficial de la proteína y las fuerzas iónicas durante la extracción de proteínas.

Conclusiones

El método de extracción alcalina y precipitación isoeléctrica para la recuperación de proteínas de expeller de soja resultó en productos con contenidos proteicos comparables cuando se utilizaron diferentes agentes precipitantes. No se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) en el contenido proteico, lo que implica que se pueden emplear eficazmente agentes precipitantes alternativos en el proceso de recuperación de proteínas sin afectar negativamente su rendimiento.

Los productos proteicos obtenidos con bacterias lácticas exhibieron propiedades funcionales mejoradas en comparación con los obtenidos con ácido clorhídrico como agente precipitante, especialmente respecto de la capacidad de retención de agua y capacidad espumante. Se observaron valores similares para la capacidad emulsionante, estabilidad de la emulsión y solubilidad de proteínas en todo el rango de valores de pH analizado. Estos atributos funcionales mejorados posicionan a las bacterias lácticas como un agente precipitante alternativo y sostenible a los ácidos inorgánicos, lo que permitiría la adaptación de los productos proteicos obtenidos a diversas aplicaciones tecnológicas alimentarias.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo de la Universidad del Centro Educativo Latinoamericano (UCEL), el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), la Universidad Nacional del Litoral (UNL) y la Universidad Tecnológica Nacional (UTN).

Referencias

Accoroni, C. (2020). *Optimización y modelado de la etapa de extracción de proteínas en el proceso de producción de productos proteicos a partir del subproducto de la extracción de extrusado y prensado de soja*. UTN.

Accoroni, C., Godoy, E., & Reinheimer, M. A. (2019). Experimental data acquisition and mathematical model for soluble protein extraction from Argentinian extruded expeller soybean meal. *Journal of Food Science and Technology*, *56*(7), 3492–3501. https://doi.org/10.1007/s13197-019-03838-y

Aluko, R. E., Mofolasayo, O. A., & Watts, B. M. (2009). Emulsifying and Foaming Properties of Commercial Yellow Pea (Pisum sativum L.) Seed Flours. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 57(20), 9793–9800. https://doi.org/10.1021/jf902199x

AOAC. (2005). *Official methods of analysis of AOAC INTERNATIONAL*. AOAC International.

Brasil, M., Meleiro, L. A. da C., Benincá, C., & Zanoelo, E. F. (2016). Yield of Soybean Protein Isolate from Defatted Soybean Flakes Treated in an Industrial Plant and in Laboratory: Experiments and Modeling. *Journal of Food Process Engineering*, *39*(6), 636–644. https://doi.org/10.1111/jfpe.12256

Das, D., Panesar, P. S., & Saini, C. S. (2022). pH shifting treatment of ultrasonically extracted soybean meal protein isolate: Effect on functional, structural, morphological and thermal properties. *Process Biochemistry*, *120*, 227–238. https://doi.org/10.1016/j.procbio.2022.06.015

Foh, M. B. K., Wenshui, X., Amadou, I., & Jiang, Q. (2012). Influence of pH Shift on Functional Properties of Protein Isolated of Tilapia (Oreochromis niloticus) Muscles and of Soy Protein Isolate. Food and Bioprocess Technology, 5(6), 2192–2200. https://doi.org/10.1007/s11947-010-0496-0

Garcia-Vaquero, M., Lopez-Alonso, M., & Hayes, M. (2017). Assessment of the functional properties of protein extracted from the brown seaweed Himanthalia elongata (Linnaeus) S. F. Gray. *Food Research International*, *99*, 971–978. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.06.023

Ghumman, A., Kaur, A., Singh, N., & Singh, B. (2016). Effect of feed moisture and extrusion temperature on protein digestibility and extrusion behaviour of lentil and horsegram. *LWT*, *70*, 349–357. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.02.032

Jiang, J., Chen, J., & Xiong, Y. L. (2009). Structural and emulsifying properties of soy protein isolate subjected to acid and alkaline pH-shifting processes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *57*(16), 7576–7583. https://doi.org/10.1021/jf901585n

Ma, K. K., Grossmann, L., Nolden, A. A., McClements, D. J., & Kinchla, A. J. (2022). Functional and physical properties of commercial pulse proteins compared to soy derived protein. *Future Foods*, *6*, 100155. https://doi.org/10.1016/j.fufo.2022.100155

Nishinari, K., Fang, Y., Nagano, T., Guo, S., & Wang, R. (2018). Soy as a food ingredient. In *Proteins in Food Processing* (pp. 149–186). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100722-8.00007-3

Pei, S., Xiong, L., Xu, S., Li, M., Wang, S., & Sun, P. (2022). Effects of different precipitating agents on the physicochemical and functional properties of soy protein isolate.

Peng, Y., Kersten, N., Kyriakopoulou, K., & van der Goot, A. J. (2020). Functional properties of mildly fractionated soy protein as influenced by the processing pH. *Journal of Food Engineering*, *275*, 109875. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.109875

Sari, Y. W., Mulder, W. J., Sanders, J. P. M., & Bruins, M. E. (2015). Towards plant protein refinery: Review on protein extraction using alkali and potential enzymatic assistance. *Biotechnology Journal*, *10*(8), 1138–1157. https://doi.org/10.1002/biot.201400569

Song, H., Zhong, M., Sun, Y., Li, Y., & Qi, B. (2023). Recovery of proteins from soybean oil-body wastewater at various pH levels and their structural and functional characterization. *LWT*, *174*, 114455. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114455

Wang, H., Johnson, L. A., & Wang, T. (2004). Preparation of soy protein concentrate and isolate from extruded-expelled soybean meals. Journal of the American Oil Chemists' Society, 81(7), 713–717. https://doi.org/10.1007/s11746-004-966-8

Zhao, Y., Tian, R., Xu, Z., Jiang, L., & Sui, X. (2022). *Recent Advances in Soy Protein Extraction Technology*. https://doi.org/10.22541/au.165634204.41824834/v1

EVALUACIÓN DE UN BIONEMATICIDA DERIVADO DE HOJAS DE BRÓCOLI SOBRE EL NEMÁTODO *Paratrichodorus minor*

Betiana Bergia[1,2], Federico Tuninetti[2,3], Natalia Giacomino[4], Daniela Franzi[3], Marcelo Soressi[1], Nora Aimaretti[1], Eleodoro Del Valle[2,3]

[1]Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Santa Fe, Argentina.
[2]Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina.
[3]Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Litoral, Esperanza, Santa Fe, Argentina.
[4]Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas, Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina.
bebergia@gmail.com

Resumen

Los nematodos fitoparásitos (NFP) son responsables aproximadamente de un 10% de las pérdidas productivas en los principales cultivos de importancia agrícola. *Paratrichodorus minor,* causa daños directos por alimentación y es uno de los principales NFP asociados a la transmisión de virosis vegetales. Los nematicidas químicos son la principal medida de manejo de nematodos, sin embargo, resultan tóxicos para el medio ambiente. Por lo tanto, existe una necesidad de desarrollar técnicas alternativas, efectivas y amigables con el medio ambiente. El objetivo de este trabajo fue desarrollar un bionematicida a partir de la biomasa remanente del cultivo de brócoli. Para ello, se recolectaron hojas de brócoli, se trituraron y se sometieron a un proceso de fermentación espontánea durante 20 horas. Transcurrido ese tiempo, el fermentado se filtró obteniendo una fracción sólida (FS) y otra líquida (FL), las cuales se aplicaron en lotes con poblaciones de *Paratrichodorus minor*. Se evaluó a campo el efecto de ambas fracciones sobre la densidad poblacional de este NFP en suelo. Para ello se recolectaron muestras de suelo, previo a los tratamientos y tres meses posteriores a los mismos, y se identificaron y cuantificaron los nematodos presentes. Los resultados fueron comparados con una parcela testigo. Como resultado se obtuvo una reducción de la población del NFP en las parcelas tratadas con ambas fracciones del bionematicida, sin observar diferencias significativas entre ellas. En el tratamiento FS, la población se redujo de 16,00 ± 2,45 a 9,50 ± 1,98 nematodos por 200 cc de suelo, y en el tratamiento FL, la reducción fue de 19,50 ± 3,52 a 9,00 ± 1,91 nematodos por 200 cc de suelo. Por el contrario, la parcela testigo sufrió un incremento en la población del NFP pasando de 22,00 ± 3,29 a 41,50 ± 4,55 nematodos/200 cc de suelo. Por lo tanto, ambas fracciones del bionematicida redujeron la población del NFP y resultaron efectivas para el manejo de estas plagas.

Palabras Clave: brócoli, *Paratrichodorus minor*, bionematicida, nematodo fitoparásito

Introducción

A nivel global, alrededor de 1.3 mil millones de toneladas de alimentos se pierden y desperdician anualmente (FAO, 2019). En lo que respecta a las pérdidas de cultivos agrícolas, cerca de un décimo de las mismas, lo que equivale a 173 mil millones de dólares estadounidenses anuales, son causadas por la presencia de nematodos fitoparásitos (NFP) en los suelos en los que se implantan estos cultivos (Dutta et al., 2019). Los NFP, producen una variedad de trastornos en las raíces, que conllevan a una dificultad para la captación de nutrientes y agua por la planta, lo que se manifiesta en síntomas poco característicos, como el crecimiento deficiente. Esto hace que en muchas ocasiones se atribuyan erróneamente dichos síntomas a otras causas (Armendáriz et al., 2015; Poveda et al., 2020). La densidad de población de estos NFP en el suelo, va a determinar la gravedad de dichas pérdidas (Greco et al., 2019). *Paratrichodorus minor* (Fig. 1), es un nematodo ectoparásito migratorio de plantas, perteneciente a la familia *Trichodoridae.* Estos NFP, causan daño directo por alimentación y, lo que es más grave, pueden transmitir ciertos virus, incluyendo el virus del mosaico del tabaco, el virus de la decoloración temprana de la arveja y el virus de las manchas anulares de la pimienta, lo que provoca daños económicos severos en los cultivos (Huang et al., 2019).

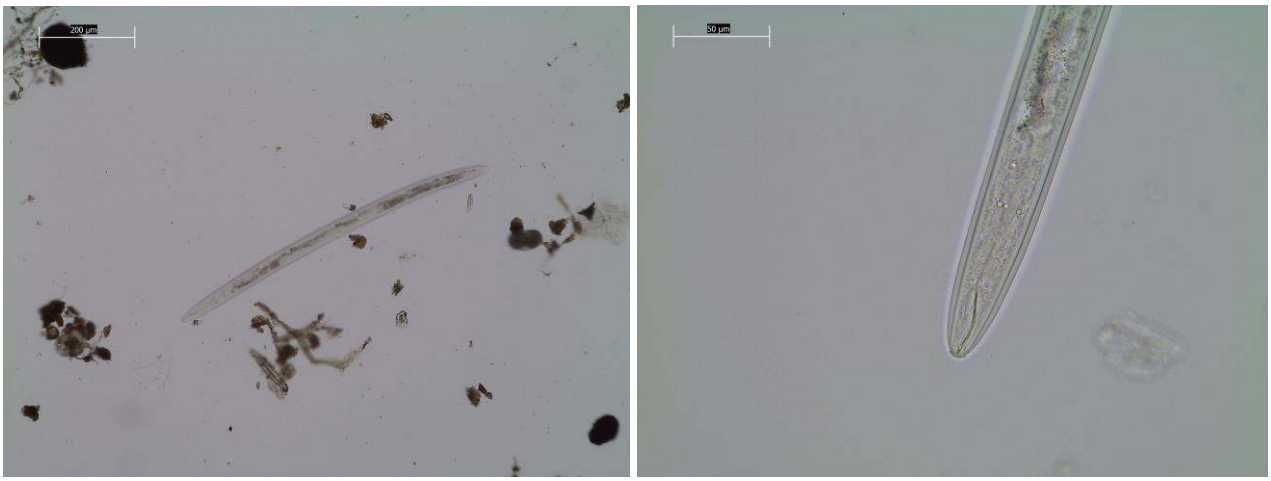


Fig. 1. Microfotografía del nematodo *Paratrichodorus minor* observado bajo microscopio óptico a 200 µm (izq.) y 50 µ (dcha.)

Existen diferentes estrategias de manejo de los NFP, entre las que se incluyen el uso de nematicidas, la rotación, el uso de aditivos orgánicos para el suelo, agentes de biocontrol y cultivos resistentes. Los nematicidas químicos son la principal medida de manejo de NFP, dado que incrementan el rendimiento, sin embargo, resultan tóxicos para el medio ambiente (Fourie et al., 2016). Además, muchos de ellos tienen un amplio espectro de actividad, actuando no sólo sobre los organismos causantes de plagas y enfermedades, sino también sobre otros organismos beneficiosos (Armendáriz et al., 2015; Dutta et al., 2019). Debido a los impactos nocivos de los productos químicos y al incremento constante de la producción orgánica, existe una necesidad actual de desarrollar técnicas alternativas de manejo de NFP, que sean efectivas, económicas y no nocivas para el medio ambiente (Nagachandrabose, 2018; Khan et al., 2018; 2019; 2021; Sikder & Vestergård, 2020). Una potencial alternativa, incluye a los compuestos químicos liberados de las pantas (Khan et al., 2019), entre las que destacan aquellas que conforman la familia *Brassicaceae*. Las brasicáceas, contienen metabolitos secundarios llamados glucosinolatos (GSL), que al ser hidrolizados por acción de la enzima mirosinasa (MYR) dan lugar a compuestos llamados isotiocianatos (ITC). Los ITC son similares a ciertos fumigantes como metil ITC, que es el compuesto activo del Metam Sodio. Son capaces de actuar sobre nematodos, bacterias, hongos e insectos ejerciendo un efecto biocida (Armendáriz et al., 2015; Dutta et al., 2019). El brócoli (*Brassica oleracea var. itálica*), presenta un gran contenido de GSL, siendo la glucorafanina uno de los principales GSL que se localiza en las hojas de brócoli y puede hidrolizarse al ITC sulforafano (SF) (Campas-Baypoli et al., 2011; Román et al., 2018; Xu et al., 2021; Li et al., 2022).

El objetivo de este estudio fue analizar el efecto de un bionematicida obtenido por medio de la fermentación espontánea de la biomasa remanente del cultivo de brócoli (hojas), sobre la población del NFP *Paratrichodorus minor.*

Materiales y métodos

Obtención del bionematicida a partir de hojas de brócoli

Para la obtención del bionematicida, las hojas remanentes del cultivo de brócoli se recolectaron del predio del Instituto Nacional de Tecnología Alimentaria (INTA) Ángel Gallardo, Santa Fe, Argentina.
La recolección se realizó de manera manual, a primera hora de la mañana, luego de que la planta culminó su etapa productiva. Se seleccionaron hojas sanas, sin signos de ataque microbiano ni descomposición y se trituraron mediante una máquina de corte de vegetales (chipeadora) (Forest & Garden TRE 744/220, Chile) obteniendo trozos de superficie menor a 1 cm^2. La biomasa

triturada se pesó y se colocó en fermentadores Batch con tapa (ocupando el 75% del volumen). Luego se adicionó 1% de NaCl, se dejó reposar 20 minutos, y se agregó 30% de agua. Se homogeneizó y dejó en reposo, tapado, sin agitación, durante 20 horas, en un ambiente cerrado con una temperatura promedio de 20 ± 2 °C. Transcurrido ese tiempo, el fermentado se filtró con lienzo, obteniendo una fracción sólida (FS) y otra líquida (FL).

Aplicación del bionematicida

La aplicación del bionematicida se efectuó en un campo productivo de la zona de Santa Rosa de Calchines, Santa Fe, Argentina, en lotes afectados naturalmente por el NM *Paratrichodorus minor*. Esta zona productiva se caracteriza por tener suelos de textura arenosa. Las fracciones del fermentado se aplicaron del siguiente modo: a) Fracción Sólida (FS), se aplicó en un surco de 10 cm de profundidad que se abrió en el momento de la aplicación. Una vez que se rellenó el surco con el material sólido fermentado se volvió a tapar; b) Fracción Líquida (FL), se aplicó directamente sobre el suelo, por aspersión. Se emplearon 3 parcelas y 4 repeticiones (de 5 m cada una) por tratamiento: 1 parcela testigo y 1 parcela correspondiente a cada tratamiento (FS y FL). Por cada repetición se emplearon 5 Kg de sólido o 5 L de líquido, según la fracción correspondiente. Se llevaron a cabo 5 ensayos entre los años 2021 y 2023.

Evaluación del efecto nematicida

Antes del momento de la aplicación del bionematicida y luego de tres meses de su aplicación, se tomaron muestras de suelo de cada repetición y tratamiento, y se identificaron y cuantificaron los NFP presentes siguiendo el procedimiento de Jenkins (1964). La cuantificación se realizó en microscopio por observación directa. El efecto nematicida se determinó estadísticamente comparando la cantidad de NFP presentes en el suelo previo y posterior a cada tratamiento.

Análisis estadístico

Los resultados fueron analizados mediante un análisis de varianza (ANOVA) en el software estadístico INFOSTAT. Para cumplir con los requisitos de normalidad y homogeneidad de varianzas, luego de la cuantificación del NFP *Paratrichodorus minor* y previo al análisis estadístico, los valores se transformaron logarítmicamente. Las diferencias entre medias se compararon utilizando la prueba LSD de Fisher con un nivel de probabilidad del 5%.

Resultados y discusiones

No hubo diferencias estadísticamente significativas en la población inicial del NFP *Paratrichodorum minor* en el suelo antes de la aplicación de los tratamientos (APL) para FS, FL y testigo ($F_{2,45}$= 0,8 P = 0,4578). Transcurridos los tres meses de su aplicación (COS), la población del NFP se redujo para las parcelas tratadas con FS y FL, mostrando diferencias significativas con respecto al testigo ($F_{2,45}$= 17 P < 0,0001) y sin diferencias significativas entre ellas ($F_{2,45}$= XX P = XX), pasando de 16,00 ± 2,45 a 9,50 ±1,98 y de 19,50 ± 3,52 a 9,00 ± 1,91 nematodos/200 cc de suelo, respectivamente, lo que equivale a un porcentaje de reducción del 41% para FS y un 54% para FL. La parcela testigo, por su parte, mostró un incremento en la población del NFP pasando de 22,00 ± 3,29 a 41,50 ± 4,55 nematodos/200 cc de suelo, es decir, un incremento del 89% en la población de NFP.

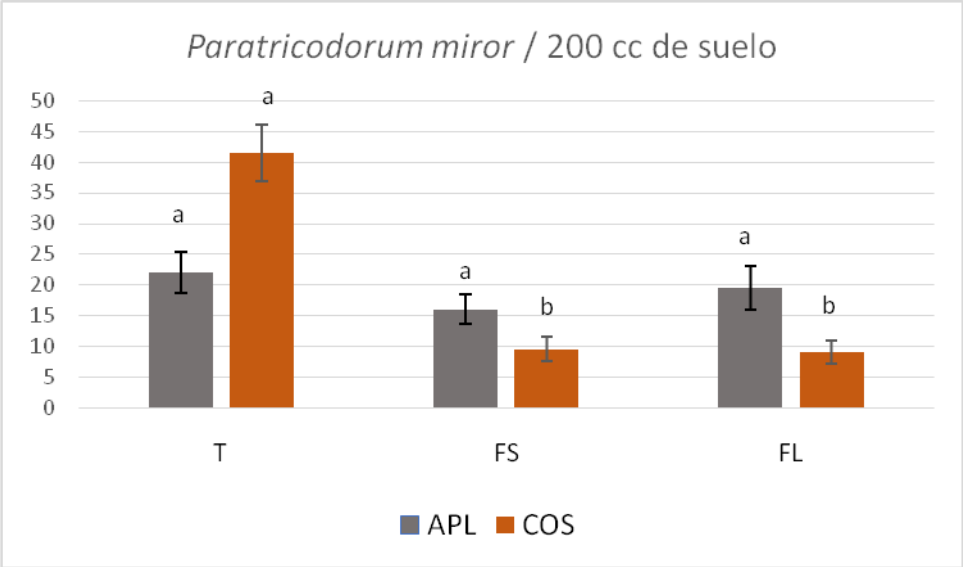


Fig. 2. Número de NFP *Paratrichodorum minor* en 200 cc de suelo antes de la aplicación de cada tratamiento (APL) y tres meses posteriores a la misma (COS).

Los resultados obtenidos en este estudio confirman que tanto la aplicación de FS como de FL tienen un efecto nematicida sobre este NFP. Por lo tanto, la aplicación de este bionematicida resulta una alternativa eficaz, económica y amigable con el medio ambiente, en relación a los nematicidas químicos empleados actualmente.

El efecto de enmiendas botánicas sobre NFP fue reportado por varios autores (Potter et al., 1998; Zasada & Ferris 2004; Kim et al., 2018; Ntalli et al., 2019;Khan et al., 2019; Fabiyi, 2021), sin embargo, no hemos encontrado trabajos que específicamente hayan evaluado el uso de fermentos de brócoli a campo. Zasada & Ferris (2004), Khan et al. (2019), y Ntalli et al. (2019), evaluaron el efecto nematicida de enmiendas botánicas, encontrando que a mayor dosis de enmienda incorporada a los suelos, mayor resultaba la reducción de los NFP. Kim et al. (2018), por su parte, evaluaron el efecto nematicida de ácidos orgánicos producidos durante la fermentación de coles, reportando un porcentaje de mortalidad de nematodos del 31 – 54%. Por lo tanto, el efecto bionematicida observado en nuestro estudio podría ser consecuencia de una combinación de compuestos y factores como la presencia de isotiocianatos en las hojas de brócoli empleadas, dado que las diferentes especies dentro del género de las brasicáceas presentan diferente perfil de GSL, cuyos ITC derivados presentan diferente potencial nematicida (Zasada & Ferris, 2004); los ácidos orgánicos producidos durante la fermentación, tal como lo señalan Kim et al. (2018); otros compuestos presentes en los tejidos de brasicáceas como alquenales y alcanoles (Potter et al., 1998); la temperatura y el tipo de suelo en el que se llevaron a cabo los ensayos. Por otro lado, la incorporación de enmiendas botánicas ejerce un efecto fertilizante, mejorando la disponibilidad de nitrógeno, fosforo y potasio, lo que contribuye a la tolerancia de las plantas, así como también ocasiona un incremento en los nematodos de vida libre y los microrganismos antagonistas de los NFP. Es decir, que la adición de brócoli y otras especies vegetales a los suelos genera una serie de cambios en el medio edáfico que resultan desfavorables para los NFP (Zasada & Ferris, 2004; Ntalli et al., 2019).

Conclusiones

Se evaluó el efecto de un bionematicida obtenido por medio de la fermentación espontánea de la biomasa remanente del cultivo de brócoli, sobre la población del NFP *Paratrichodorus minor*. Ambas fracciones del bionematicida, FL y FS, tuvieron un efecto significativo sobre la mortalidad del NFP *Pratrichodorum minor* en el suelo, logrando porcentajes de reducción mayores al 40%.

Referencias

Armendáriz, I., Quiña, D., Ríos, M., & Landázuri, P. (2015). *Nemátodos fitopatógenos y sus estrategias de control* (Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, Ed.).

Campas-Baypoli, O. N., López-Cervantes, J., Sánchez-Machado, D. I., & Bueno-Solano, C. (2011). Contenido de sulforafano (1-isotiocianato-4-(metilsulfinil)-butano) en fermentados de brócoli. *CIENCIA@UAQ*, *4*(2), 10–18.

Dutta, T. K., Khan, M. R., &Phani, V. (2019). Plant-parasiticnematode management via biofumigationusingbrassicaand non-brassicaplants: Current status and future prospects. *CurrentPlantBiology*, *17*, 17–32. https://doi.org/10.1016/j.cpb.2019.02.001

Fabiyi, O. A. (2021). SustainablemanagementofMeloidogyneincognitainfectingcarrot (Daucus carota): Green synthesisofsilvernanoparticleswithCnidoscolusaconitifolius. *Vegetos*, *34*(2), 277–285. https://doi.org/10.1007/s42535-021-00216-y

FAO. (2019). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Progresos en la lucha contra la pérdida y el desperdicio de alimentos*.

Fourie, H., Ahuja, P., Lammers, J., &Daneel, M. (2016). Brassicacea-based management strategies as analternativetocombatnematodepests: A synopsis. *CropProtection*, *80*, 21–41. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.10.026

Greco, N., Saporiti, M., Maccarini, C., Santori, A., de Tommaso, N., & Myrta, A. (2019). SustainabilityofsouthernEuropeancarrotproduction in relationtofumigationpractices. *Acta Horticulturae*, *1264*, 183–190. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2019.1264.22

Huang, D., Yan, G., Gudmestad, N., Ye, W., Whitworth, J., Frost, K., Crow, W., & Hajihassani, A. (2019). Developing a One-Step Multiplex PCR Assayfor Rapid DetectionofFourStubby-RootNematodeSpecies, *Paratrichodorusallius* ,*P. minor* , *P. porosus* , and *Trichodorusobtusus*. *PlantDisease*, *103*(3), 404–410. https://doi.org/10.1094/PDIS-06-18-0983-RE

Jenkins, W. R. (1964). A rapidcentrifugal-flotationtechnique for separatingnematodesfromsoil. *PlantDiseaseReporter*, *48*(9), 692.

Khan, F., Asif, M., Khan, A., Tariq, M., &Siddiqui, M. A. (2018). Screeningofcarrotcultivarsagainst root-knotnematodeMeloidogyneincognita. *Indian Phytopathology*, *71*(3), 415–421. https://doi.org/10.1007/s42360-018-0052-9

Khan, F., Asif, M., Khan, A., Tariq, M., Ansari, T., Shariq, M., &Siddiqui, M. A. (2019). Evaluationofthenematicidalpotentialof some botanicalsagainst root-knotnematode, Meloidogyneincognitainfectedcarrot: In vitro andgreenhousestudy. *CurrentPlantBiology*, *20*, 100115. https://doi.org/10.1016/j.cpb.2019.100115

Khan, A., Tariq, M., Ahmad, F., Mennan, S., Khan, F., Asif, M., Nadeem, H., Ansari, T., Shariq, M., &Siddiqui, M. A. (2021). Assessmentofnematicidalefficacyofchitosan in combinationwithbotanicalsagainst*Meloidogyneincognita* on carrot. *Acta AgriculturaeScandinavica, Section B — Soil&PlantScience*, *71*(4), 225–236. https://doi.org/10.1080/09064710.2021.1880620

Kim, H. M., Park, J. H., Choi, I. S., Wi, S. G., Ha, S., Chun, H. H., Hwang, I. M., Chang, J. Y., Choi, H.-J., Kim, J.-C., & Park, H. W. (2018). Effective approach toorganicacidproductionfromagriculturalkimchicabbagewasteand its potentialapplication. *PLOS ONE*, *13*(11), e0207801. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0207801

Li, C., Bremer, P., Harder, M. K., Lee, M. SW., Parker, K., Gaugler, E. C., &Mirosa, M. (2022). A systematic review of food lossandwaste in China: Quantity, impactsandmediators. *Journalof Environmental Management*, *303*, 114092. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114092

Nagachandrabose, S. (2018). Liquidbioformulations for the management of root-knotnematode, Meloidogynehaplathatinfectscarrot. *CropProtection*, *114*, 155–161. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.08.022

Ntalli, N., Zioga, D., Argyropoulou D., M., Papatheodorou M., E., Menkissoglu-Spiroudi, U., &Monokrousos, N. (2019). Anise, parsleyandrocket as nematicidalsoilamendmentsandtheirimpacton non-target soilorganisms. *Applied SoilEcology*, *143*, 17–25. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.05.024

Potter, M. J., Davies, K., &Rathjen, A. J. (1998). SuppressiveImpactofGlucosinolates in BrassicaVegetativeTissueson Root LesionNematodePratylenchusneglectus. *Journalof Chemical Ecology*, *24*(1), 67–80. https://doi.org/10.1023/A:1022336812240

Poveda, J., Abril-Urias, P., & Escobar, C. (2020). BiologicalControlof Plant-ParasiticNematodesbyFilamentous Fungi InducersofResistance: Trichoderma,

MycorrhizalandEndophytic Fungi. *Frontiers in Microbiology*, *11*. https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00992

Román, J., Castillo, A., Cottet, L., &Mahn, A. (2018). Kinetic and structuralstudyof broccoli myrosinase and itsinteractionwithdifferentglucosinolates. *Food Chemistry*, *254*, 87–94. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.179

Sikder, M. M., &Vestergård, M. (2020). Impactsof Root MetabolitesonSoilNematodes. *Frontiers in PlantScience*, *10*. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01792

Xu, X., Bi, S., Lao, F., Chen, F., Liao, X., & Wu, J. (2021). Inducedchanges in bioactive compoundsof broccoli juices after fermentedby animal- and plant-derivedPediococcuspentosaceus. *FoodChemistry*, *357*, 129767. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129767

Zasada, I. A., & Ferris, H. (2004). Nematodesuppressionwithbrassicaceousamendments: applicationbaseduponglucosinolate profiles. *SoilBiology and Biochemistry*, *36*(7), 1017–1024. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2003.12.014

EVALUACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE LUMINARIAS ALIMENTADAS DESDE BATERÍAS CARGADAS CON ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

Juan M. Hasenauer[1,2], Andrés S. Lanfranco[1], Fabio M. Vincitorio[1].

[1]Grupo de Investigación Electrónica de Potencia en Iluminación, Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Paraná. Almafuerte 1033, Paraná Entre Ríos, Argentina.
[2]Área Técnica de Alumbrado Público Urbano, Municipalidad de la Ciudad de Paraná. Confederación Argentina y Garrigó, Paraná Entre Ríos, Argentina.
fabiovincitorio@frp.utn.edu.ar juan.hasenauer@gmail.com

Resumen

El alumbrado público ha experimentado una transformación tecnológica sin precedentes. No solo hemos presenciado un cambio radical en la tecnología de iluminación, sino que también hemos alcanzado niveles de eficiencia energética que rivalizan e incluso superan a las tecnologías anteriores. Los avances en los índices de reproducción cromática han sido destacados por los fabricantes como uno de los principales motivos para esta actualización tecnológica.
Sin embargo, el potencial del LED como fuente de luz va más allá de lo que se ha aprovechado hasta ahora. Sus capacidades para operar a altas frecuencias de conmutación, modular el ancho de pulso para controlar la emisión lumínica y su compatibilidad con fuentes de energía alternativas son aspectos poco explorados hasta la fecha.
Es en este último aspecto donde se vislumbran los avances más significativos en la tecnología de iluminación: la integración con sistemas de energías renovables. En el futuro, los sistemas de alumbrado público no solo serán eficientes, sino también sostenibles, gracias a las ventajas que ofrece el LED para su acoplamiento con energías renovables.
En este trabajo se presenta la implementación de luminarias solares a partir de la utilización de tecnologías existentes, lo que representa un paso importante hacia la creación de un sistema de iluminación urbana más eco-amigable. Además, se muestra un análisis exhaustivo de las principales topologías para la conexión de sistemas de alumbrado público con fuentes de energía renovable, con especial énfasis en la energía solar fotovoltaica y la evaluación de luminarias autónomas.
Las tres topologías que se perfilan como las más prometedoras son: luminarias autónomas, sistemas de alimentación fotovoltaica aislados con red propia y sistemas basados en el concepto de balance neto de energía. Estas opciones representan pasos significativos hacia un futuro donde la iluminación urbana sea no solo eficiente, sino también respetuosa con el medio ambiente.

Palabras Clave: Alumbrado Púbico, Energía Solar, Evaluación.

Introducción

En el año 2012 se estimaba que el 3,5% de la energía eléctrica en Argentina se destinaba para Alumbrado Público (Manzano, Assaf, & otros, 2012). A pesar de las nuevas tecnologías que prometen menor consumo, el campo lumínico ha ido incrementando debido al crecimiento de la población y puesta en valor de espacios públicos y hoy en día se estima que el porcentaje citado es de 4,5% (Cadierno, 2021).

Actualmente, el sistema de Alumbrado Público Argentino (AP) está compuesto por artefactos de diferentes tipos de tecnologías, entre las cuales de las más utilizadas se encuentran la de vapor de sodio de alta presión, mercurio halogenado y LED; con lo cual, desde el punto de vista de eficiencia energética, existe una fuerte tendencia a migrar por completo hacia esta última. Las luminarias que trabajan en base a esta tecnología están conformadas por una placa LED alimentada (en su mayoría) por un controlador o driver, el cual recibe una señal eléctrica senoidal de la red y la transforma a una señal continua de menor tensión. (Cogorno, y otros, 2022).

En este trabajo se documenta la evaluación de luminarias autónomas de dos tecnologías diferentes. Por una parte luminarias con panel incorporado y por la otra las luminarias con panel fotovoltaico externo. Entre las del primer grupo se analizaron luminarias de diferentes potencias y fabricantes mientras que en el segundo grupo se evaluaron luminarias destinadas a alumbrado público urbano basadas en sistemas fotovoltaicos.

Materiales

Luminarias comerciales de baja potencia

Para llevar a cabo los ensayos, se adquirieron dos tipos de luminarias: una con una potencia de 40W y otra de 90W. Una luminaria cuenta con un panel integrado, mientras que la otra dispone de un panel externo. Esta información se ilustra en la figura 1, y las especificaciones técnicas se detallan en la tabla 1.

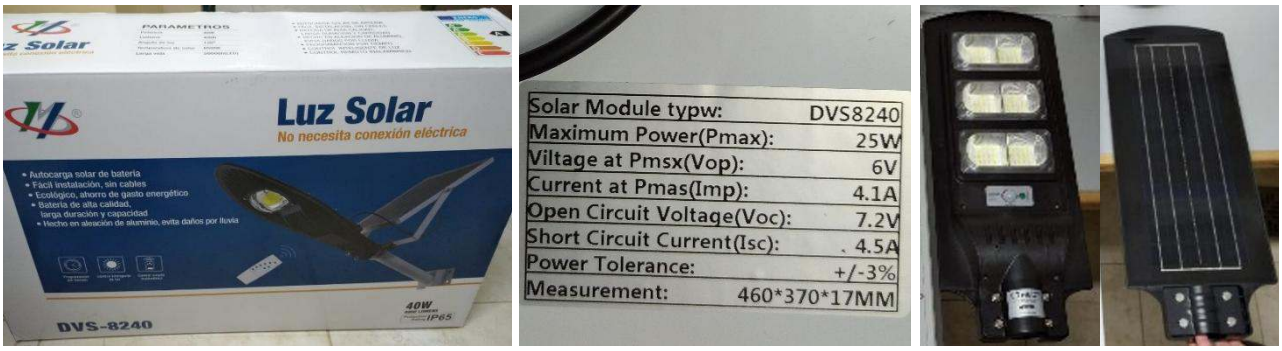


Fig. 1. Luminarias comerciales, con panel exterior y con panel integrado.

Tabla 1. Características de luminarias comerciales.

	LUMINARIA PANEL EXTERIOR	LUMINARIA PANEL INTEGRADO
Potencia	40W	90W
Tipo de lámpara	COB	LED SMD
Temperatura de color	6000K	6500K
Flujo luminoso	N/D	1200lm
Tensión de batería	4,2V	3,2V

Luminarias autónomas de alumbrado público

Fueron cedidas por la empresa Signify para evaluación dos luminarias con panel incorporado de la marca Phillips, una de 46W de led, 55W de panel, 8500 lm y 5700K; y otra de 90W de panel, 9000 lm y 5700K. En ambos casos con programación original de fábrica y detección de movimiento por sensor de microondas.

Fig. 2. Luminarias de alumbrado público con panel integrado.

Tabla 2. Características de luminarias autónomas de alumbrado público.

	LUMINARIA PHILIPS BRP 110 LED 85/757 G2	LUMINARIA PHILIPS BRP715 LED90 CW
Potencia de panel	55W	90W
Tipo de lámpara	LED SMD con lente individual	LED SMD con lente individual
Temperatura de color	5700K	5700K
Flujo luminoso	8500lm	9000lm
Tensión de batería	5V	12V

Prototipos y diseño

Con el fin de evaluar la factibilidad de diseño e implementación de luminarias solares autónomas se utilizaron antiguas luminarias de lámparas de descarga a las que se les retiraron los equipos auxiliares para incorporar la batería.
Se desarrollaron tres prototipos con paneles externos. El primero consistió en dos LED de tipo COB, cada uno con una potencia de 10W, alimentados por una batería de gel de 12V y 12Ah. Los otros dos prototipos utilizaron lámparas de tipo automotor de 36W. Uno de ellos cuenta con una batería de gel de 12V y 12Ah, mientras que el segundo está equipado con un banco de baterías 26650 de 12,6V y 12Ah. En esta fase del estudio, no se busca evaluar la distribución fotométrica, dado que las lámparas empleadas no son adecuadas para este tipo de luminarias.

Metodología

Luminarias comerciales

Se implementaron dos tipos de ensayos. Por una parte ensayos de mediciones eléctricas incluyendo capturas de forma de onda entregada por el controlador a los led y ciclo de carga a la batería. Por la otra se realizaron ensayos de seguimiento en condiciones de funcionamiento ubicando las luminarias debidamente orientadas registrándose períodos de funcionamiento y mediciones de iluminancia.

Luminarias autónomas de alumbrado público

Se aplicó una metodología similar, incorporando además mediciones del ciclo de carga en un montaje que facilitó el uso de instrumental con la luminaria parcialmente desmontada. En particular, se centró en la evaluación de la eficiencia de carga en función de la orientación hacia el sol. Para ello, se analizó el ángulo de inclinación, tomando como referencia las 12hs del mediodía. Una segunda luminaria fue instalada sobre columna en condiciones reales con la orientación más adecuada y adosando un sistema de registro de iluminancia y temperatura. La temperatura fue registrada para controlar el comportamiento térmico del panel solar. Este ensayo se realizó en el mes de enero de 2024.

Desarrollo de prototipos

Luego del montaje e implementación de los distintos componentes utilizados (batería, regulador, panel, lámpara) se instalaron sobre pared con soportes especialmente diseñados para tal fin. Se les realizó un seguimiento de funcionamiento mediante mediciones puntuales de intensidad luminosa y se utilizó el sistema de CCTV para controlar el total de horas de funcionamiento.

Resultados

Luminarias comerciales

En ambos casos, se pudo demostrar el uso de técnicas PWM (Modulación por Ancho de Pulso) para el control de la corriente dirigida a los LEDs. En ningún caso fue posible registrar los niveles de potencia declarados por los fabricantes. La potencia máxima medida en un ciclo de uso continuo fue de 3W en los LEDs. Los niveles de emisión varían según la descarga de la batería. En el ciclo de uso normal, y a partir de la PWM, la potencia sobre los LEDs se mantuvo en todo momento por debajo de 3W en ambas luminarias.

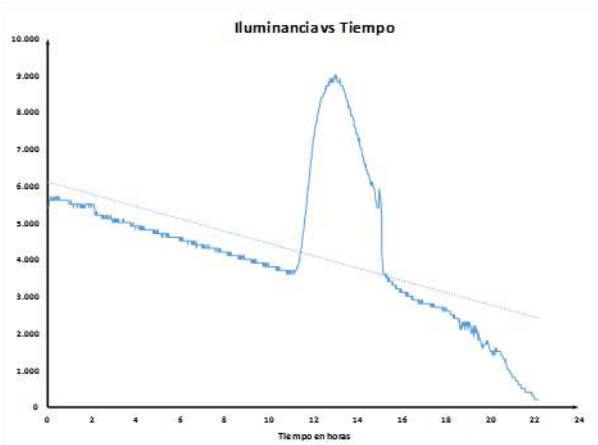


Fig. 3. Gráfico de emisión lumínica en tiempo. El pico mostrado a partir de la hora 11 corresponde con el ingreso de radiación solar a través de las ventanas del laboratorio. [1]

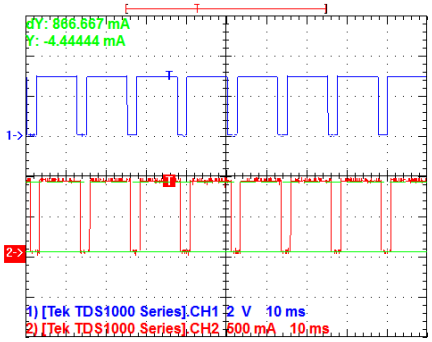


Fig. 4. Oscilograma de forma de onda de tensión y corriente entregado por el regulador de carga a los LEDs en funcionamiento a máxima potencia. [1]

En los ensayos en condiciones reales de funcionamiento ambas luminarias funcionaron correctamente hasta que se produjo discontinuidad de radiación solar por días nublados. Superado este período el panel más el regulador de carga no fueron capaces de reactivar el proceso de carga de los bancos de batería quedando inutilizadas.

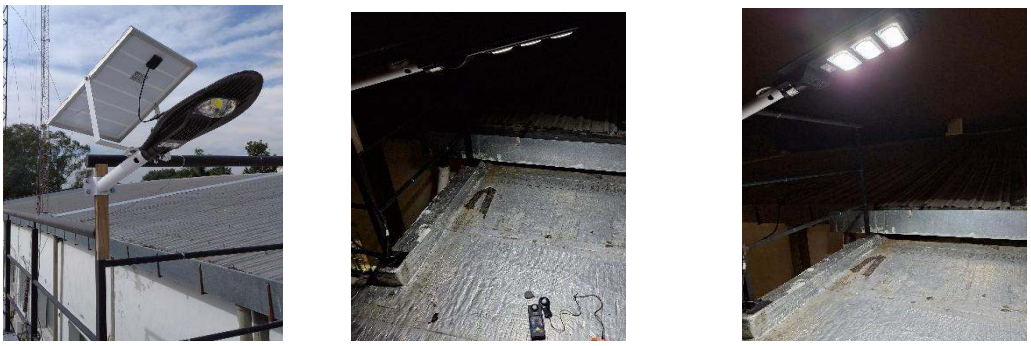


Fig. 5. Luminarias comerciales montadas.

Luminarias autónomas de alumbrado público

Se desarrolló e implementó un dispositivo que se integró en la luminaria el cual registró la iluminancia y la temperatura en función del tiempo. A continuación se pueden ver las gráficas de las mencionadas mediciones.
En la figura 6 se puede observar el registro del comportamiento de la luminaria a lo largo del día, en la cual se encuentra muy marcado el período de funcionamiento y el período matutino.
En la Figura 7 se ilustra el comportamiento de la luminaria durante el horario nocturno, evidenciando cuatro niveles distintos de funcionamiento. El nivel de iluminancia más elevado se presenta cuando el dispositivo detecta movimiento. A medida que avanza la madrugada, este nivel disminuye progresivamente para optimizar el consumo de energía. Esta reducción responde a la configuración del artefacto, considerando que durante la madrugada el tránsito es reducido o nulo y, por lo tanto, se requiere una iluminación mínima.
En la figura 8 se observa la variación en la temperatura del panel la cual va desde 20°C alcanzando los 60°C en verano.

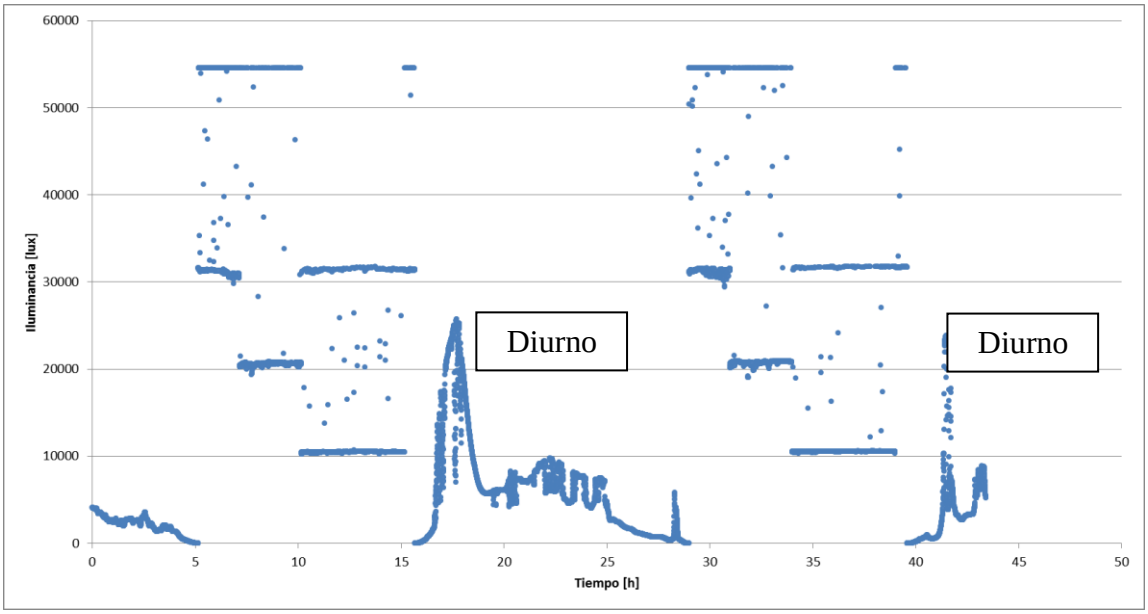


Fig. 6. Gráfico iluminancia-tiempo de la luminaria.

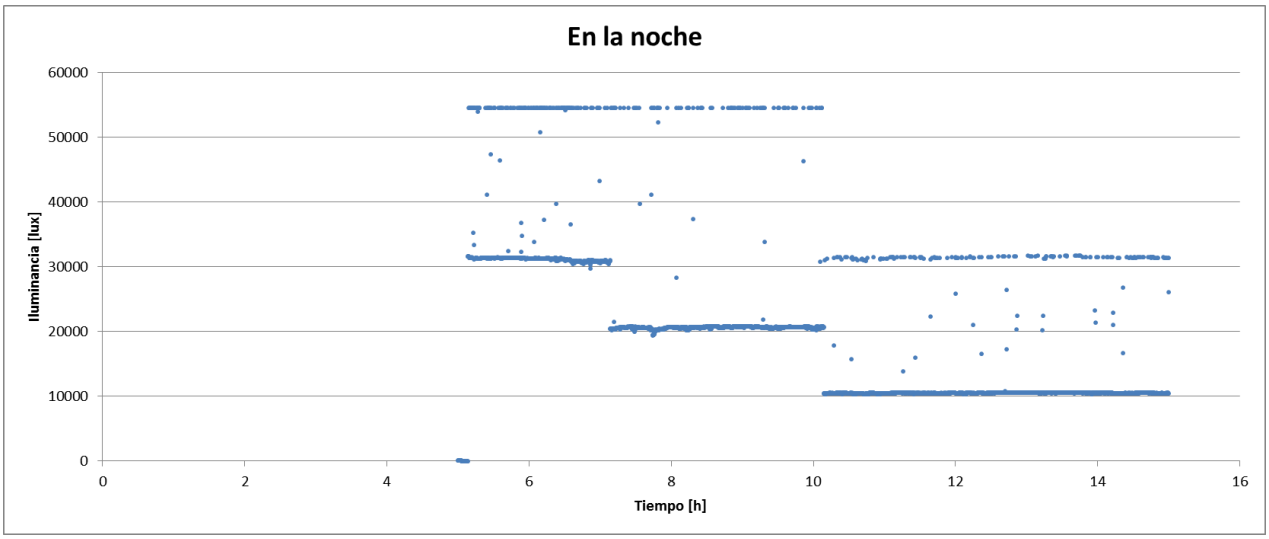


Fig. 7. Gráfico iluminancia-tiempo de la luminaria en funcionamiento nocturno.

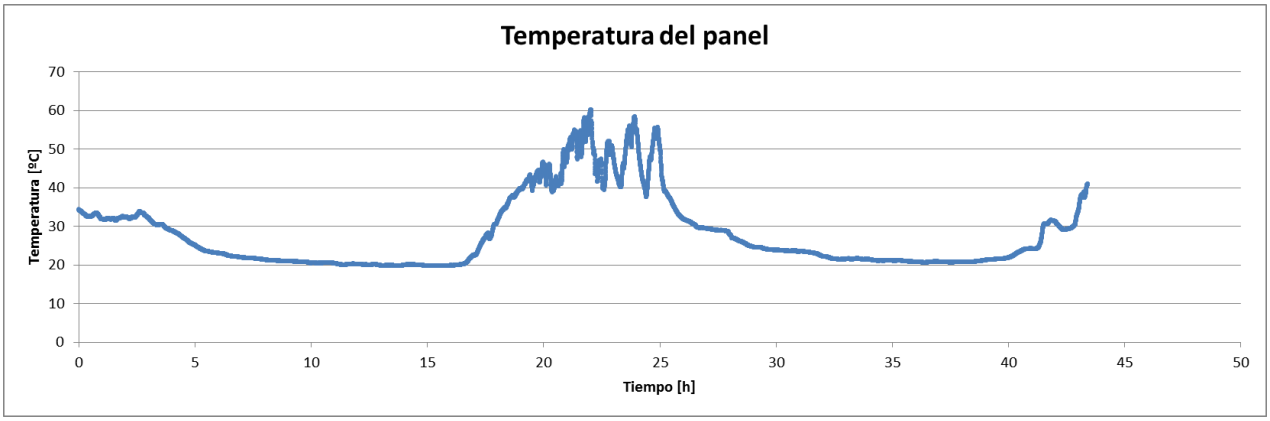


Fig. 8. Gráfico Temperatura-tiempo del panel de la luminaria.

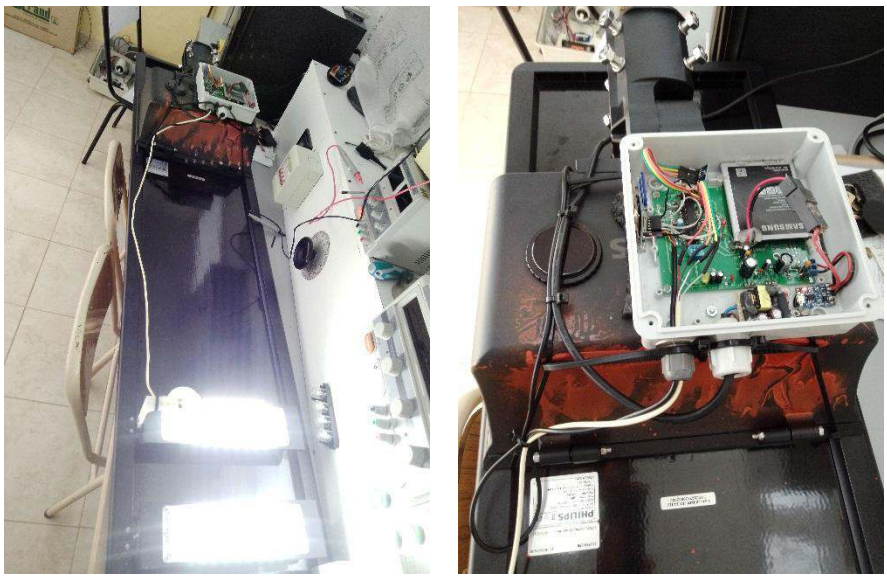


Fig. 9. Montaje del dispositivo registrador.

Fig. 10. Mediciones eléctricas, lumínicas y evaluación de la eficiencia de carga en función de la orientación al sol.

Luminarias prototipos

De los tres ejemplares construidos uno solo fue evaluado en su ciclo completo de vida. Este corresponde al primer modelo construido sobre la base de LED COB y 20W de potencia. Los parámetros eléctricos tanto de carga como correspondientes a los led fueron corroborados mediante medición registrándose los niveles de tensión corriente y potencia esperados. Los resultados del ciclo de vida en condiciones de operación pueden observarse en la tabla 3. En esta queda en evidencia que la luminaria fue capaz de operar durante 70 días luego de lo cual la emisión se redujo por debajo de un lux. Analizadas las causas de la reducción en la emisión se concluyó que se debió a una falla en los led que si bien el fabricante indica una tensión de operación de 12V en estas condiciones no son capaces de operar a largo plazo. En el período desde el 23/10 al 2/11 existieron días predominantemente nublados en los que la batería redujo su tensión por debajo de los niveles programados de operación, por lo que el regulador interrumpió la energía hacia la lámpara. Al final del ciclo la batería se encuentra en perfecto estado de operación. Respecto del ciclo nocturno, para su evaluación, se utilizó el sistema de circuito cerrado de televisión que registra en formato de video la zona de instalación de la luminaria. A partir de estos registros se pudo corroborar que la batería es capaz de mantener en funcionamiento la luminaria durante toda la noche. La tensión de batería registrada por la mañana en el primer ciclo (batería parcialmente cargada) se ubicó en la tensión programada de corte mientras que en diferentes momentos se registraron siempre valores superiores a los 13V apenas comenzado el ciclo de carga por parte del panel fotovoltaico.

Fig. 10. Detalle en el que se muestran los prototipos desarrollados, en el centro el equipo construido sobre la base de LED de tipo COB discretos.

Tabla 3. Resultados de desempeño Prototipo 1 (COB 20W).

Fecha	Tensión Op	Tensión Mañana	Tensión carga	Iluminancia Lux	Dia (1 sol - 0 nublado)
10/10/2023	12,8	10,8	14,6	8,9	1
11/10/2023	11,2			7	0
12/10/2023	12,2			8,3	1
17/10/2023	12			7,8	1
23/10/2023	11,8			8,7	0
24/10/2023	11,7			8,7	0
30/10/2023	12,2			6	0
31/10/2023	11,4			6,5	0
01/11/2023				0	0
02/11/2023				0	0
03/11/2023		13,2			1
06/11/2023	12,8			6	1
13/11/2023	12,5	14,6		5	1
22/11/2023	12,8			5,8	1
30/11/2023	12,7			5,7	1
07/12/2023	12,8			5,5	1
19/12/2023	10,5			1	0

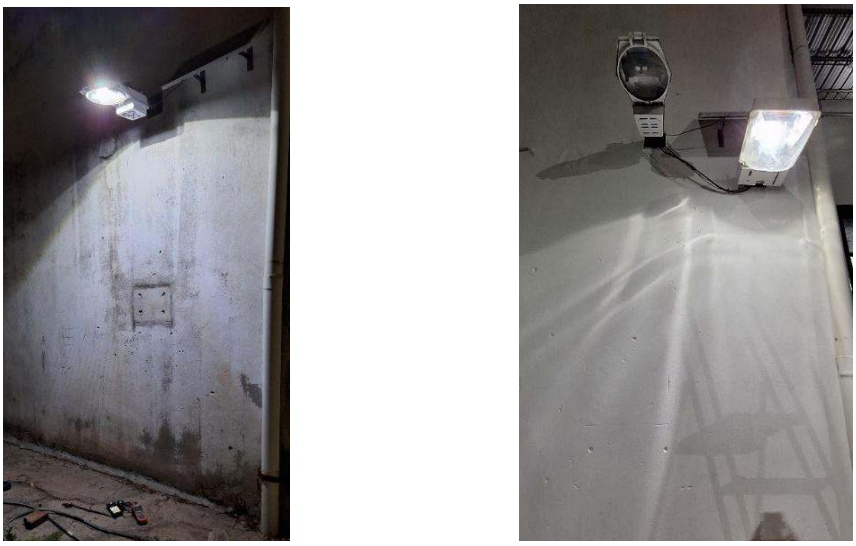


Fig. 11. Detalle de los prototipos montados en condicuiones de operación, ambos equipos alimentados desde el mismo panel de 30 W.

Proyecciones

De los resultados obtenidos a partir de las luminarias autónomas de alumbrado público, ensayos precedentes sobre la compatibilidad de inversores de DC/AC con luminarias de alumbrado tipo vial (led) y los resultados del desarrollo de prototipos se programó el desarrollo e implementación de una luminaria autónoma de tecnología combinada. En esta se plantea la utilización de un banco de batería de alta capacidad conectado a través de un regulador de carga de tipo PWM a un panel solar de tipo monocristalino de 120W de potencia pico. Esto a su vez conectado a un inversor de 500W de salida senoidal pura para la alimentación de una luminaria inicialmente de

50W que luego se irá incrementando en potencia para la evaluación del sistema. En la figura 12 se muestra un esquema de lo pensado para aplicación en una columna convencional.
Este planteo se busca como respuesta a solucionar problemas de robo de cables usados para la alimentación del sistema de alumbrado público. Está pensado como un sistema más robusto y económico a las luminarias autónomas de alumbrado público evaluadas, que si bien muestran excelentes prestaciones pueden estar sujetas a vandalismo e incluso a problemas por el anidado de aves sobre el panel solar.

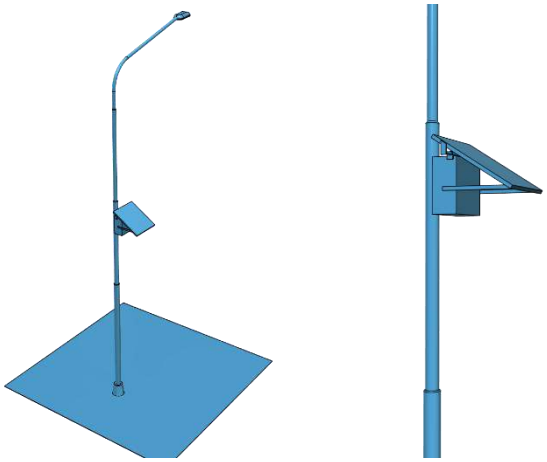


Fig. 12. Concepto de montaje de un sistema de alimentación fotovoltaica distribuido para la alimentación de una luminaria de AP convencional.

Conclusiones

La evolución de la tecnología LED, combinada con la integración de energías renovables, marca un hito significativo en la transición hacia sistemas de alumbrado público más eficientes y sostenibles.
Las luminarias autónomas, tanto con panel incorporado como con panel fotovoltaico externo, han mostrado un desempeño prometedor, aunque con variaciones en función de la tecnología y el diseño. Este estudio subraya la importancia de seguir investigando y optimizando estos sistemas, ya que el éxito en su implementación podría traducirse en una reducción significativa del consumo energético y una menor dependencia de fuentes de energía no renovables. Además de ser una alternativa viable para el problema concreto que represente el robo de los tendidos eléctricos para alumbrado público.

La tecnología LED y su combinación con energías renovables no solo proporcionan una respuesta efectiva a las demandas actuales de eficiencia y sostenibilidad, sino que también abren nuevas posibilidades para el futuro del alumbrado público. La adopción de estas innovaciones podría ser un factor clave en la reducción de la huella de carbono en las ciudades y en la creación de un entorno urbano más eco - amigable.

Referencias

Cadierno, G. (26 de Agosto de 2021). *EOL - Energía online.* Obtenido de https://www.energiaonline.com.ar/cuanto-representa-el-consumo-del-alumbrado-publico-y-cuales-son-las-claves-para-reducirlo/

Cogorno, E. D., Lanfranco, A. S., Hasenauer, J. M., Chort, A., Krenz, M., Frund, J. L., & Vincitorio, F. M. (2022). ANÁLISIS DE COMPATIBILIDAD DE INVERSORES PARA ENERGÍAS ALTERNATIVAS Y. *IDETEC 2022* (págs. 470-475). Villa María: edUTecNe.

Manzano, E., Assaf, L., & otros. (2012). Avances sobre eficiencia y sostenibilidad en la iluminación de recintos urbanos y edificios. *ASADES* (págs. 7-12). Argentina: ASADES.

ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE EL CARDINAL DE VECTORES CARACTERÍSTICOS Y LA ENTROPÍA DE SHANNON SOBRE SEÑALES DE RUIDO BLANCO UNIFORME

Hernán M. García Blesa [1], Juan Vorobioff [2], Walter Legnani [1]

[1] Centro de Procesamiento de Señales e Imágenes, Facultad Regional Buenos Aires, Universidad Tecnológica Nacional, Medrano 951 (C1179AAQ) CABA, Argentina
[2] Facultad Regional Buenos Aires, Universidad Tecnológica Nacional, Medrano 951 (C1179AAQ) CABA, Argentina
hgarciablesa@frba.utn.edu.ar

Resumen

El trabajo tiene como objetivo realizar un estudio comparativo entre el Cardinal de Vectores Característicos y la entropía de Shannon sobre señales de ruido blanco uniforme, diferenciando entre señales ergódicas y no-ergódicas. Para el análisis de estas señales se utiliza el modelo propuesto cuyo mecanismo consiste en extraer características geométricas utilizando la técnica de enventanado y barrido, definiendo como parámetros de entrada una dimensión de *embedding* y un factor de discretización. La técnica utiliza tres parámetros: la amplitud, y dos nuevas definiciones: un ángulo de Zenit y un factor de forma, generando 3-tuplas y reduciendo aquellas que se repiten durante el proceso. A partir de estas unidades de información se genera un espacio de características donde cada vector en él resulta único. El cardinal de este espacio se utiliza como término para clasificar las señales. Paralelamente se calculó para el mismo conjunto de señales la entropía de Shannon. Como resultado principal se observó una fuerte correlación entre el cardinal y la entropía independientemente de si son o no ergódicas.

Un beneficio significativo del modelo es el espacio de características el cual resulta, por construcción, el menor espacio posible de información singular del grupo de señales analizadas. El propósito de este objeto no es sólo el de obtener el cardinal, sino además el de generar un conjunto estructurado de datos utilizando los términos geométricos descriptos que pueda ser utilizado como base de datos para un eventual post procesamiento. Se observa a través de la gráfica del espacio de características una estructura clara y simétrica de las señales de ruido procesadas. Dada la fuerte correlación obtenida entre el valor de Shannon y nuestro término, asociamos aquí, para el caso particular de las señales de ruido blanco uniforme, un espacio de características a la entropía. Este resultado nos lleva a considerar y discutir una relación analítica entre entropía y cardinal.

Palabras clave: amplitud, ángulo de zenit, factor de forma, diferenciación de señales.

Introducción

La entropía de Shannon, desarrollada por primera vez en la década de 1940 por el matemático Claude Shannon, es una herramienta fundamental en la teoría de la información que se constituye como una medida de la incertidumbre presente en una señal. Proporciona una medida cuantitativa de la cantidad de información contenida en una señal, mostrando que a mayor entropía, mayor resulta la incertidumbre de los datos. En este contexto, Shannon introdujo el concepto de bit (abreviatura de "binary digit"), que se convirtió en la unidad fundamental de información. Un bit representa la cantidad mínima de información necesaria para resolver entre dos estados igualmente probables. De forma detallada la entropía indica cuántos bits se requieren, en promedio, para describir un evento con el grado de incertidumbre dado. Cuando la entropía es alta, se necesitan más bits para describir completamente la información, lo que implica mayor complejidad o aleatoriedad en los datos. (Cover, 1999), (Shannon, 1948). La entropía de Shannon también es fundamental en la teoría de la codificación de fuentes, donde se buscan esquemas de codificación eficientes que minimicen la longitud media de los mensajes codificados (Gallager, 1968).

En la clasificación de señales y el reconocimiento de patrones, la entropía se utiliza para caracterizar la complejidad de los datos y distinguir entre diferentes clases de señales (Hong, 2017). Por ejemplo, en la clasificación de imágenes, la entropía puede utilizarse como característica para diferenciar las que portan mucha información de las que tienen poca (Duda, 1973). Un ejemplo de ello es el estudio y la caracterización del ruido en imágenes médicas (Shinde, 2012) o de ruido fisiológico en señales biomédicas (Scarciglia, 2024) .

El modelo propuesto para el análisis de estas señales utiliza la técnica de enventanado y barrido para extraer características geométricas, definiendo como parámetros de entrada una dimensión de *embedding* y un factor de discretización (Amigó, 2010), (Boaretto, 2021). Esta técnica emplea tres parámetros. Uno de ellos es la amplitud, y los dos restantes son nuevas definiciones: ángulo de Zenit y factor de forma, generando asi 3-tuplas definidas aquí como vectores característicos. Utilizando dichos vectores se genera un espacio de características, donde tras un proceso de remoción de información redundante, se obtiene un conjunto de elementos únicos. El cardinal de este conjunto se utiliza para clasificar las señales.

El objetivo de este trabajo es realizar un estudio comparativo entre la Entropía de Shannon (H) y el Cardinal de Vectores característicos (CVC), debido a que la hipótesis planteada aquí es que ambos parámetros se encuentran íntimamente relacionados para el caso de las señales de ruido blanco uniforme al considerar que las 3-tuplas únicas pueden interpretarse como bits de modo análogo a la propuesta de Shannon. Para ello se ha calculado H y CVC sobre conjuntos de señales de ruido blanco uniforme (RBU) (Zhivomirov, 2018), incorporando para dicho análisis el concepto de ergodicidad.

Materiales y métodos

Se definen a continuación los elementos propios del modelo. Sea $S_i=\{a_i, a_{i+1}, \ldots, a_{i+d-1}\}$, una señal discreta unidimensional.

Dada una dimensión de *embedding* $d \in \mathbb{N}$, se definen los segmentos de longitud $d: S_i=\{a_i, a_{i+1}, \ldots, a_{i+d-1}\}$ para $i=1,2,\ldots,n-d+1$. Se propone la definición de tres características: La amplitud, el ángulo de Zenit, que mide la distribución de los valores de la señal, el factor de forma, que permite caracterizar la secuencia de picos y valles de la señal.

La Amplitud es el primero de los parámetros que vamos a utilizar. Denotando como $min(S)$ y $max(S)$ a los valores mínimo y máximo de la señal S , respectivamente, calculamos la amplitud de S : $A(S)=max(S)-min(S)$.

A continuación se define el ángulo de Zenit utilizando el valor medio p_S de los valores de S con el objetivo de determinar su posición geométrica dentro del rango acotado entre $min(S)$ y $max(S)$. Se considera el siguiente intervalo en el espacio de dos dimensiones: $I=[0,1]\times[0,1]$. Se define entonces el ángulo φ determinado por los segmentos $\overline{PM}$ y $\overline{PN}$, donde $P=(0.5, p_S)$, $M=(1, max(S))$ y $N=(1, p_S)$. Con el fin de comparar valores de φ de diferentes señales, se procede a la normalización del intervalo I_S por $I=[0,1]x[0,1]$ y el promedio p_S por $p=[p_S-min(S)]/[max(S)-min(S)]$. Finalmente, se obtiene $\varphi(S)=\arctan(2-2p)$.

Debido a que el promedio no puede ser menor que el mínimo ni mayor que el máximo, sus valores oscilan entre 0 y 1 , lo cual determina que el ángulo φ pertenece al intervalo [0 , 1.1071). La Figura 1 ilustra esta definición.

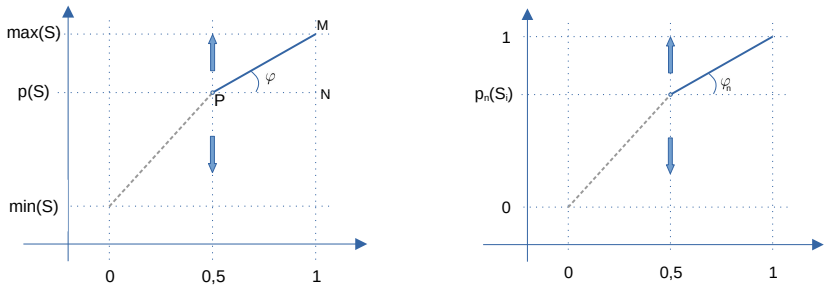


Fig. 1. Representación gráfica del ángulo de Zenit original (izquierda) y normalizado (derecha).

Se define a continuación el Factor de forma. Una señal discreta real o sintética puede tener una una cantidad variable de valles y picos, en una determinada secuencia, que contribuya a su caracterización. Para formular la siguiente característica, se propone el siguiente mecanismo para obtener una medida de la forma de la señal teniendo como objetivo representarla con un solo valor, a partir del siguiente algoritmo:

- Dada la señal $S=\{a_1,a_2,\ldots,a_n\}$.
- Se disponen los datos en orden creciente, obteniendo la secuencia $B=\{b_1,b_2,\ldots,b_n\}\subseteq S$, donde $b_i\leq b_{i+1}$ para $i=1,2,\ldots,n-1$.
- Se quitan los elementos repetidos en B obteniendo la secuencia $C=\{c_1,c_2,\ldots,c_m\}\subseteq S$, donde $m\leq n$ y $c_i<c_{i+1}$ para $i=1,2,\ldots,m-1$.
- Se define el vector $O=(o_1,o_2,\ldots,o_n)$ como $o_i=j$ si $a_i=c_j$, para $i=1,2,\ldots,n$.

Al generar el vector de números de orden O , es importante tener en cuenta que si hay valores repetidos en la secuencia que se está analizando, sus respectivos números de orden también se repetirán. Esta particularidad implica que las componentes del vector de orden están acotadas entre 1 y la longitud de la secuencia original. El vector O representa la forma de la secuencia en términos de picos y valles mediante números enteros positivos. Con el fin de cuantificar y resumir este vector, se construye un número utilizando las componentes de O como exponentes de una base de números primos. Explícitamente, si $P_n=\{q_1,q_2,\ldots,q_n\}$ es el conjunto de los primeros n números primos, se define así el valor que representa unívocamente el factor de forma como $F(S)=\prod_{i=1}^{n} q_i^{o}$.

Por ejemplo, para la señal $S=\{12,47,23,59,23\}$ y una dimensión $d=4$, se tienen dos segmentos: $S_1=\{12,47,23,59\}$ y $S_2=\{47,23,59,23\}$, cuyos factores de forma son $F_1=3241350$ y $F_2=10500$, respectivamente (ver Tabla 1) para los detalles de cálculo.

Tabla 1. Ejemplo secuencial para el cálculo del factor de forma.

Acción	Resultado para S_1	Resultado para S_2
Señal original	{12,47,23,59}	{47,23,59,23}
Ordenamiento B	{12,23,47,59}	{23,23,47,59}
Eliminación repeticiones C	{12,23,47,59}	{23,47,59}
Vector O	(1,3,2,4)	(2,1,3,1)
Primeros 4 primos	{2,3,5,7}	{2,3,5,7}
Factor de forma F	$2^1\ 3^3\ 5^2\ 7^4$	$2^2\ 3^1\ 5^3\ 7^1$

Debido al Teorema Fundamental de la Aritmética, la función que define al factor de forma resulta ser una biyección, lo que implica que se puede recuperar la estructura de valles y picos de la secuencia.

A partir de las características definidas anteriormente, para una señal S de longitud n y una dimensión de *embedding* d, puede asociarse a cada segmento S_i una terna formada por $(A(S_i), \varphi(S_i), F(S_i))$. Para simplificar la notación, se indica $A_i = A(S_i)$, $\varphi_i = \varphi(S_i)$ y $F_i = F(S_i)$ y se define el vector de características $v_i = (A_i, \varphi_i, F_i)$. El conjunto de todos estos vectores es $V = \{v_i : i = 1,2,\ldots,n-d+1\}$.

Las primeras dos componentes del vector v_i -amplitud y ángulo de Zenit- son valores reales, por lo tanto la probabilidad de su repetición es muy baja. Para aumentar dicha probabilidad se procede a discretizar ambos parámetros, asignando los valores calculados en un rango definido por un valor $k \in \mathbb{N}$ arbitrario.

Con el objetivo de reducir la información redundante, se eliminan los elementos repetidos del conjunto V. Así, se considera el conjunto $V' = \{v_1, v_2, \ldots, v_k\} \subseteq V$ integrado por elementos no repetidos.

Este conjunto, formado por vectores únicos, representa el espacio de características de S. Observamos que se satisface $\#(V') \leq \#(V)$.

Se obtiene el cardinal del conjunto $\#(V')$ como un valor que contabiliza los vectores únicos de la señal que la caracterizan. Puede indicarse a modo de síntesis del proceso que por cada señal S se tiene un cardinal $\#(V')$.

Luego, para $\mathscr{S} = \{S_1, S_2, \ldots, S_t\}$, un conjunto de señales, se tiene un cardinal $\#(V')$ para cada señal de $\mathscr{S}$. Se define el conjunto de cardinales $\Omega = \{\#(V')_1, \#(V')_2, \ldots, \#(V')_t\}$. Finalmente, por cada grupo de señales $\mathscr{S}$ se tiene un conjunto de cardinales Ω_S.

La entropía de Shannon (Shannon, 1948) es bien conocida en la literatura y se define del siguiente modo: para una señal $S = \{a_1, a_2, \ldots, a_n\}$ la entropía se calcula como $H(S) = -\sum_{i=1}^{n} P(a_i) \log_2(P(a_i))$.

Antes de ingresar en los cálculos, se propone un simple razonamiento utilizando los conceptos ya definidos. Por ejemplo, para el caso de una señal discreta S de valor constante, todos los vectores característicos serán iguales, en consecuencia el espacio de características estará formado por un único vector de frecuencia máxima. El cardinal de este espacio es $CVC = 1$.

Si se considera ahora que S es aleatoria -del tipo RBU- y que no contiene vectores característicos repetidos, luego el espacio de características tendrá vectores de frecuencia 1, de esta manera el CVC resulta máximo. Asimismo, el valor de H para esa misma señal será máximo dado que, por tratarse de RBU, los eventos son equiprobables (Shannon, 1948).

Estos dos simples razonamientos nos conducen a la hipótesis de una relación entre ambas definiciones. La ergodicidad es una propiedad importante de las señales que se ha incorporado aquí como un obstáculo adicional con el objetivo de poner a prueba la hipótesis frente a la estabilidad estadística de las señales.

Para obtener el CVC y H en condiciones comparables, se generaron 20 señales de ruido blanco uniforme ergódicas (RBUe) de longitud entre $1 \cdot 10^5$, $2 \cdot 10^5$, $3 \cdot 10^5$, $4 \cdot 10^5$, $5 \cdot 10^5$, $6 \cdot 10^5$, $7 \cdot 10^5$, $8 \cdot 10^5$, $9 \cdot 10^5$ y $1 \cdot 10^6$, obteniendo un total de 200 señales. Del mismo modo, se generaron 20 señales de ruido blanco uniforme no-ergodico (RBUne) con la misma longitud, obteniendo del mismo modo un total de 200 señales. Los datos de entrada para realizar el cálculo de CVC son $d = 4$ y $k = 20$.

Resultados

La Tabla 2 muestra los primeros resultados obtenidos al aplicar ambos parámetros. Dada la diferencia en términos de orden de magnitud, se han normalizado dichos valores, que se muestran en la Tabla 3.

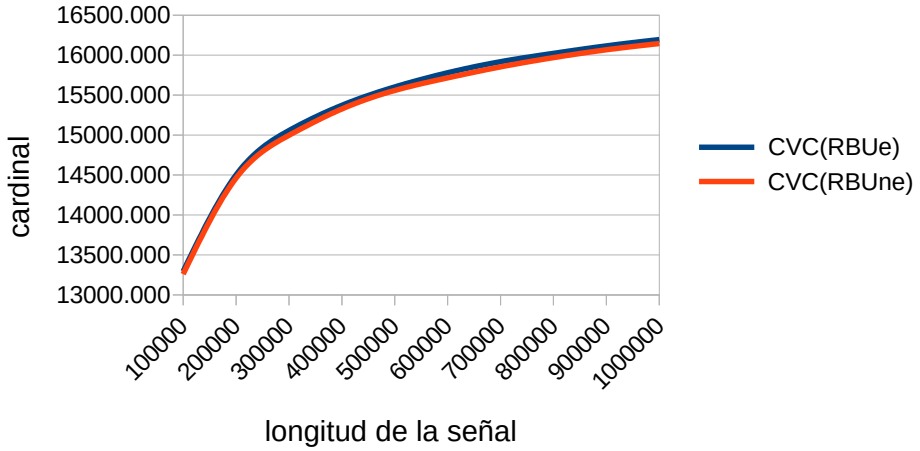
Tabla 2. Cardinales promedio y Entropía de Shannon promedio.

	Cardinales		Entropía de Shannon	
Longitud	RBUe	RBUne	RBUe	RBUne
100000	13294.6	13260	16.33372	16.54787
200000	14500.85	14462.1	17.33055	17.54787
300000	15057.15	14997.35	17.91598	18.13286
400000	15372.7	15327.25	18.33112	18.57199
500000	15602.55	15558.55	18.65343	18.91272
600000	15779.75	15716	18.91577	19.13295
700000	15918.1	15853.6	19.13966	19.40556
800000	16022.2	15969.05	19.3311	19.54796
900000	16116	16066.9	19.50074	19.76303
1000000	16194.65	16145.55	19.65335	19.72314

Tabla 3. Cardinales promedio Normalizados y Entropía de Shannon promedio Normalizada.

Longitud	CVC RBUe	CVC RBUne	H RBUe	H RBUne
100000	0	0	0	0
200000	0.4159	0.4166	0.3003	0.311
300000	0.6078	0.6021	0.4766	0.493
400000	0.7166	0.7164	0.6017	0.6296
500000	0.7958	0.7966	0.6988	0.7355
600000	0.8569	0.8511	0.7778	0.804
700000	0.9046	0.8988	0.8453	0.8888
800000	0.9405	0.9388	0.9029	0.9331
900000	0.9729	0.9727	0.954	1
1000000	1	1	1	0.9876

La Figura 2 muestra que no hay una diferencia significativa en el cálculo de las señales ergódicas y no ergódicas en los casos del cálculo de H y de CVC. Se observa que las curvas obtenidas poseen similares comportamientos. Dado ello, se graficaron dichas curvas tal y como se observa en la Figura 3 y en la Tabla 3 antes mencionada.



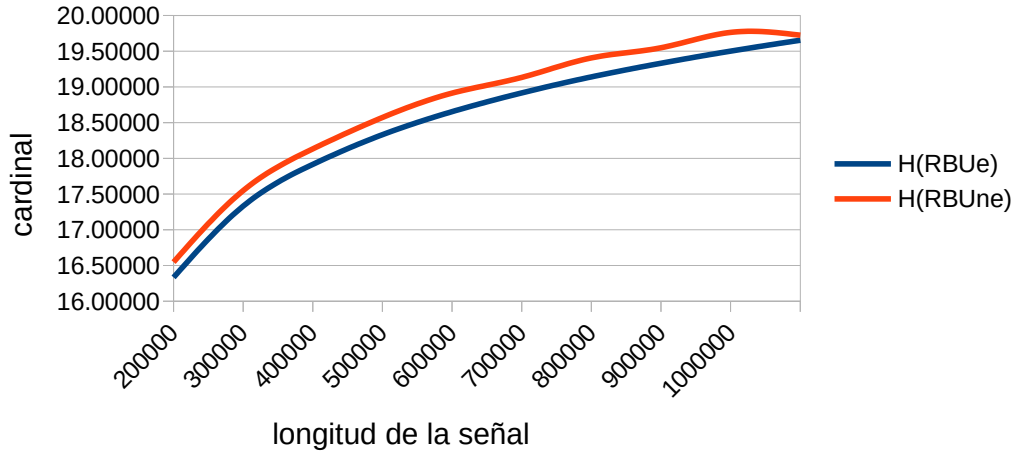


Fig 2. Representación gráfica de los CVC y H obtenidos. De arriba hacia abajo: CVC y H.

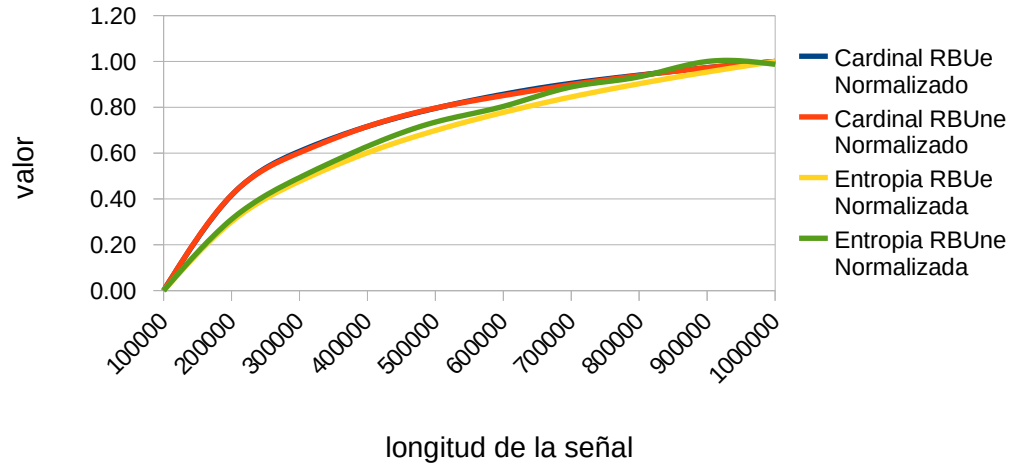
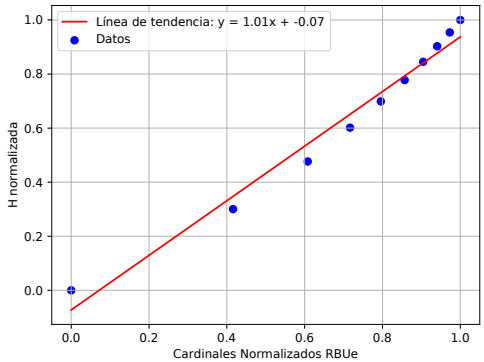


Fig. 3. Representación gráfica de los CVC y H obtenidos y normalizados.

Para cada grupo RBUe y RBUne se realizó un gráfico de dispersión con el objetivo de visualizar y así estimar alguna aparente regularidad entre los valores obtenidos. Estos resultados pueden verse en la Figura 4. Los coeficientes de correlación (CC) obtenidos en dichos cálculos de dispersión fueron CC(RBUe) = 0.9898 y CC(RBUne) = 0.9879.



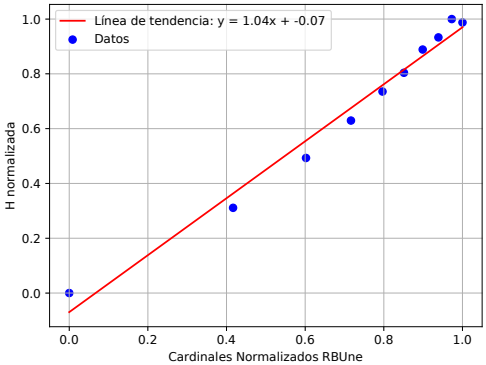


Fig. 4. Diagramas de Dispersión entre CVC y H para los casos RBUe (izquierda) y RBUne (derecha).

Conclusiones

Como primer resultado, se puede afirmar que el CVC fue capaz de clasificar las señales RBUe de distintas longitudes entre sí, así como las señales RBUne entre sí. Aunque se puede distinguir una diferencia entre los grupos RBUe y RBUne, esta no resulta significativa para los cardinales encontrados en relación con las longitudes de las señales.

Dada la cantidad de señales analizadas y el tipo de señales (RBUe y RBUne), se puede establecer una relación lineal entre H y CVC debido a la alta correlación obtenida en los dos conjuntos. Los resultados observados en la Figura 4 y los coeficientes de ajuste obtenidos representan una correlación significativa entre H y el coeficiente de CVC. Esta relación lineal puede describirse como $CVC = H \cdot g$, donde g es un valor real.

Discusión

Si CVC implica H, entonces se asocia a H el espacio de características de CVC. De esta manera, se puede construir un espacio de características de una señal RBU asociado a un valor de entropía de Shannon y se puede visualizar. En la Figura 5 se muestran en el espacio tridimensional los valores de amplitud, ángulo de Zenith y frecuencia del espacio de características obtenido a partir de señales de RBUe.

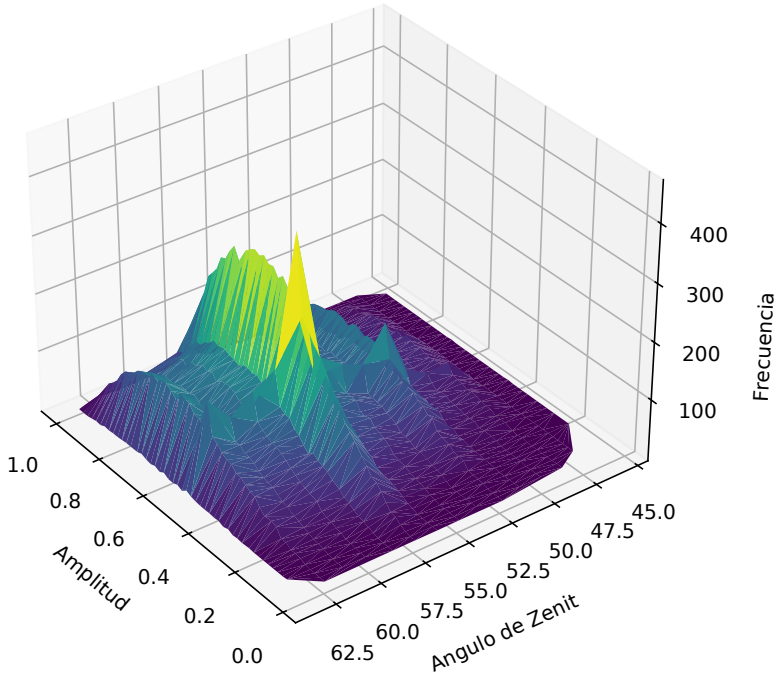


Fig. 5. Espacio de características construído por el algoritmo, de una señal de ruido blanco uniforme no ergódica.

Se observa en la gráfica que el espacio generado por los puntos (Amplitud, Ángulo de Zenit, Frecuencia) de la gráfica 3D muestra una estructura con un orden determinado.

Ahora se analizará la relación $CVC = H \cdot g$. Según la definición de Shannon, el cálculo de H mediante el uso del logaritmo base 2, indica cuántos bits se necesitan para transmitir (o describir) una señal utilizando solo dos elementos. Por otro lado, el CVC es el resultado del conteo de

vectores únicos en el espacio de características. Es decir, contabiliza la mínima cantidad de información expresada en términos de Amplitud, Ángulo de Zenit y Factor de forma, que es necesaria para transmitir y replicar la señal original. Trazando esta analogía, se podría considerar que los vectores característicos se comportan como bits expresados en los términos geométricos mencionados.

Referencias

Amigó, J. (2010). Permutation Complexity in Dynamical Systems: Ordinal Patterns, Permutation Entropy and All That. Springer Science & Business Media.

Boaretto, B. R. R., Budzinski, R. C., Rossi, K. L., Prado, T. L., Lopes, S. R., and Masoller, C. (2021). Discriminating chaotic and stochastic time series using permutation entropy and artificial neural networks.

Cover, T. M. (1999). Elements of information theory. John Wiley & Sons.

Duda, R. O., Hart, P. E., et al. (1973). Pattern classification and scene analysis, volume 3. Wiley New York.

Hong, H. and Yonghong, T.Automatic pattern recognition of ECG signals using entropy-based adaptive dimensionality reduction and clustering. Applied Soft Computing. Vol 55, pages 238-252 year 2017, issn 1568-4946, doi https://doi.org/10.1016/j.asoc.2017.02.001, url https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1568494617300698.

Scarciglia, A., Catrambone, V., Bonanno, C., and Valenza, G. (2024). Physiological noise: Definition, estimation, and characterization in complex biomedical signals. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 71(1):45–55.

Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. The Bell System Technical Journal, 27(3):379–423.

Shinde, B., Mhaske, D., and Dani, A. R. (2012). Study of noise detection and noise removal techniques in medical images. Modern Education and Computer Science Press, pages 51–60.

Shynk, J. J. (2012). Probability, Random Variables, and Random Processes: Theory and Signal Processing Applications. John Wiley & Sons.

Zhivomirov, H. (2018). A method for colored noise generation.

INFLUENCIA DE LA VARIACIÓN DE DIRECCIONALIDAD DE LA MIRADA EN INTERFACES CEREBRO-COMPUTADORA BASADAS EN SSVEP

Gerardo L. Padilla[1], Fernando D. Farfán[1]

[1] Laboratorio de Investigación en Neurociencias y Tecnologías Aplicadas (LINTEC), Departamento de Bioingeniería, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán, Instituto Superior de Investigaciones Biológicas (INSIBIO), CONICET, Av. Independencia 1800, San Miguel de Tucumán 4000, Argentina

gpadilla@herrera.unt.edu.ar

Resumen

Las interfaces cerebro-computadora (BCI) basadas en potenciales evocados visuales de estado estacionario (SSVEP) se caracterizan por sus altas tasas de transferencia de información y fácil implementación. Tradicionalmente, se emplean múltiples frecuencias de estimulación para codificar diferentes comandos. Sin embargo, un enfoque alternativo consiste en utilizar una única frecuencia de parpadeo y aprovechar la variación de las respuestas cerebrales cambiando la dirección de la mirada del usuario. Este trabajo tuvo por objetivo estudiar la influencia de este fenómeno en los niveles de energía de SSVEP registrados mediante EEG, evaluando su potencial discriminabilidad para su uso en BCIs.

Se tomó registro de la región occipital (Canal Oz) de 6 sujetos expuestos a una luz central parpadeante a 15 Hz, rodeada de 4 objetivos fijos no parpadeantes en las direcciones Norte, Sur, Este y Oeste. Los sujetos debían enfocar su mirada en dichos objetivos periféricos de forma secuencial siguiendo un orden aleatorio, con períodos de reposo intermedios entre cada secuencia. Se obtuvieron espectrogramas de las señales para determinar los niveles de energía de SSVEP en el rango 14.8-15.2 Hz durante los diferentes estados de cada sujeto. Se establecieron además diferentes umbrales de energía para cuantificar las proporciones de cada nivel en cada condición.

Los resultados indicaron que es posible determinar aquellas direcciones donde el usuario presenta mayores niveles de energía por sobre otras. Esta información es crucial ya que permite identificar aquellas direcciones con mayor probabilidad de ser captadas y, por lo tanto, ser más diferenciables para cada sujeto en particular. Estos hallazgos proporcionan una valiosa comprensión sobre las respuestas individuales de SSVEP, potencialmente allanando el camino para futuras investigaciones con una muestra de participantes más amplia. Estos estudios adicionales podrían mejorar la generalización de los resultados y contribuir al desarrollo de BCIs con estimulación visual de frecuencia única.

Palabras Clave: BCI, SSVEP, EEG, Direccionalidad de la Mirada.

Introducción

Las interfaces cerebro-computadora (BCI por sus siglas en inglés) son sistemas de comunicación que permiten transmitir la intención de un individuo al mundo exterior sin depender de los canales de comunicación convencionales, como nervios y músculos. Este sistema alternativo tiene un valor incalculable para las personas con habilidades motoras nulas o reducidas, ya que les permite convertir la actividad cerebral en señales de control para una amplia gama de dispositivos externos, como sistemas de deletreo, neuroprótesis avanzadas, domótica, sillas de ruedas inteligentes y muchas otras aplicaciones (Zhu, 2010).

Existen múltiples paradigmas bajo los cuales se puede implementar una BCI, entre los más conocidos se pueden mencionar aquellos basados en: potencial relacionado a eventos P300 (ERP), potenciales corticales lentos (SCP), ritmos sensoriomotores (SMR) y los potenciales evocados visuales de estado estacionario (SSVEP), siendo este último el paradigma más explorado en estos

últimos años con relación al resto. Entre las ventajas más destacables de usar SSVEP frente a otras técnicas están su alta tasa de transferencia de información o ITR (de hasta 70 bits/min), bajo requerimiento de capacitación por parte del usuario, baja complejidad de equipos para su implementación y poca dependencia del estado cognitivo del sujeto (Zhang, 2021).
Los sistemas BCI basados en SSVEP consisten en diferentes fuentes de luz que parpadean a diferentes frecuencias, de modo que cuando el usuario mira a una de estas fuentes, se evocan en el cerebro potenciales a la frecuencia de la fuente observada (Norcia, 2015). Estos potenciales pueden detectarse mediante el procesamiento de señales EEG y convertirse en órdenes de control (Allison, 2010).

Este estímulo puede presentarse de diferentes formas (destellos de LED, gráficos simples, inversión de patrones, etc.) y el propio estímulo puede tener diferentes características, como la frecuencia de estimulación, la fase, la longitud de onda (color), la intensidad del estímulo, etc. Varios estudios han experimentado con la variación de estos parámetros para determinar su influencia en la calidad del resultado obtenido, y es gracias a esta experimentación que los BCI basados en SSVEP han evolucionado con el tiempo hasta alcanzar resultados e implementaciones cada vez más prometedoras (Tsoneva, 2021) (Duart, 2020).

Tradicionalmente, se emplean múltiples frecuencias de estimulación para generar varias respuestas diferentes y codificar diversos comandos de control. Sin embargo, un enfoque alternativo consiste en utilizar una única frecuencia de parpadeo y aprovechar la variación de las respuestas cerebrales al cambiar la dirección de la mirada del usuario. Este enfoque individualizado no solo permitiría obtener un mayor número de comandos de control empleando una menor cantidad de frecuencias de estimulación, sino que además podría mejorar la precisión y eficiencia de las BCIs, aprovechando la información proporcionada por la dirección de la mirada de cada usuario (Chen, 2017) (Sharma, 2019).

El objetivo principal de este trabajo es estudiar la influencia de la variación de la direccionalidad de la mirada en los niveles de energía de las respuestas de SSVEP registradas mediante EEG. Se busca determinar si al emplear una única frecuencia de estimulación visual intermitente, las respuestas cerebrales difieren significativamente al cambiar la dirección de la mirada de cada usuario hacia diferentes objetivos periféricos. Esto permitirá evaluar la viabilidad de este enfoque individualizado para codificar múltiples comandos en BCIs basadas en este tipo de paradigma, aprovechando las variaciones inducidas por la direccionalidad de la mirada y reduciendo la cantidad de frecuencias de estimulación requeridas.

Materiales y Métodos

Adquisición de datos y protocolo experimental

Los datos de EEG utilizados en este estudio provienen de un trabajo de investigación previo (Padilla, 2022). Se analizaron registros obtenidos de 6 participantes sanos, con edades comprendidas entre 19 y 32 años, todos con visión normal o corregida a normal, y sin antecedentes de trastornos neurológicos u oftalmológicos.

El protocolo experimental consistió en presentar a los sujetos un estímulo visual ubicado en el centro de un monitor. Dicho estímulo estaba compuesto por un cuadrado parpadeante (12 x 12 cm) rodeado por 4 cuadrados pequeños no parpadeantes (0,7 x 0,7 cm) fuera de los cuatro bordes del cuadrado central (norte-N, este-E, oeste-W, sur-S). El cuadrado parpadeante, cuya frecuencia de estimulación fue de 15 Hz, era el encargado de producir los SSVEPs, mientras que los cuatro cuadrados pequeños actuaban como objetivos hacia donde los usuarios debían dirigir la mirada, de modo que el sujeto percibiera el estímulo luminoso central de forma periférica. La fuente de estimulación central era de color blanco mientras que los 4 cuadrados objetivos de color rojo. El estímulo se presentó en un monitor de computadora LCD (24 pulgadas, HP EliteDisplay E241i, resolución de 1280x800 píxeles) ubicado a una distancia de aproximadamente 50 cm del sujeto.

En la Fig. 1. se observa una representación de la forma de la señal empleada como estimulación. El cuadrado parpadeante permanece en estado de ON durante 14.11 s, tiempo durante el cual los pequeños objetivos a los lados cambian a color rojo indicando la dirección en que debe observar el sujeto, el orden de las direcciones se presenta de manera aleatoria hasta completar un ciclo compuesto por las 4 direcciones. Luego se presenta un periodo de descanso (estado O) de 1.53 s, que le permite al sujeto parpadear, antes de pasar a la siguiente estimulación. Se presentaron en total 50 secuencias y la duración total de cada sesión fue aproximadamente de 13.4 minutos.

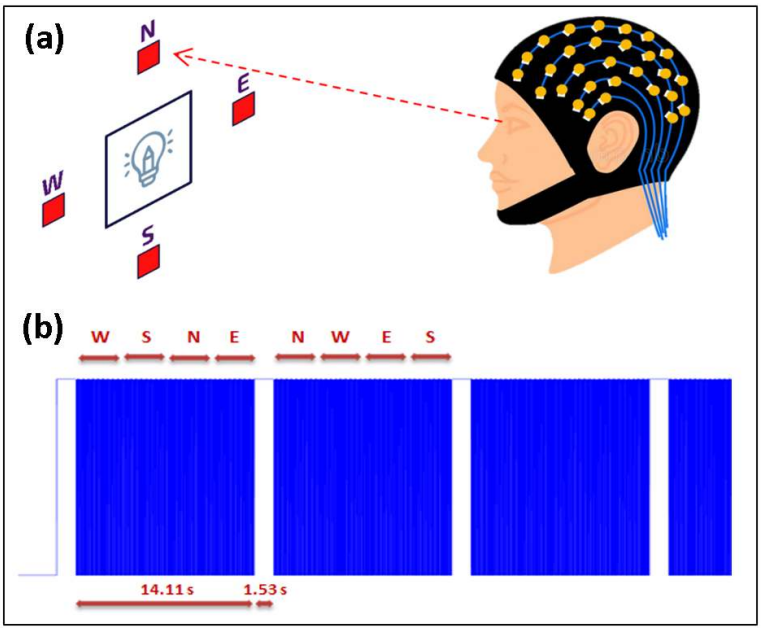


Fig. 1. (a) Esquema de protocolo experimental. (b) Porción de señal de estimulación visual (trenes de pulsos de 15 Hz)

Registros de EEG y procesamiento de datos

Los registros de EEG se obtuvieron empleando el sistema de adquisición ActiveTwo AD-box de BioSemi con 32 canales (sistema internacional 10-20). Todos los experimentos se llevaron a cabo en una sala de oficina típica sin ningún blindaje electromagnético. Para el registro de datos se utilizó una frecuencia de muestreo de 1024 Hz y los mismos fueron procesados mediante Matlab vR2020a. Los datos fueron preprocesados aplicando un filtro pasa banda Butterworth de orden 4 con frecuencias de corte entre 9 y 24 Hz. Posteriormente, se implementó el método del espectrograma en la señal del canal Oz utilizando ventanas de 4 veces el tamaño de la frecuencia de muestreo (4096 muestras) con una superposición del 75% entre ventanas adyacentes (Fig. 2).

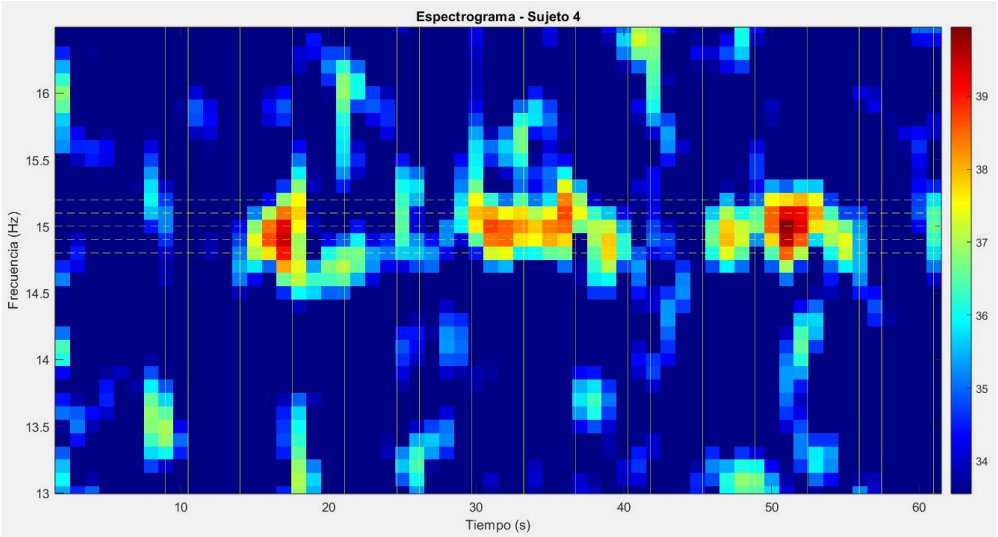


Fig. 2. Espectrograma de parte de señal obtenida de Sujeto 3

A partir del espectrograma se determinó un valor de energía para cada segundo del registro enfocándose en las frecuencias de 14.8, 14.9, 15, 15.1 y 15.2 Hz. Se identificó el valor máximo de energía alcanzado en ese rango de frecuencias para cada sujeto y a partir del mismo se definieron 3 umbrales de energía: ALTA igual al 92.5% del valor máximo, MEDIA igual al 89%, y BAJA igual al 84% de dicho valor.
Se analizó completamente la señal para determinar, dentro de las frecuencias de interés (14.8 a 15.2 Hz), cuántas veces se detectaron eventos de ALTA, MEDIA, BAJA y MUY BAJA energía según los 3 umbrales definidos anteriormente y, finalmente, se identificó si cada uno de esos valores correspondía al Estado N, S, E, W u O. Este procedimiento se repitió para cada uno de los 6 sujetos.

Resultados y discusiones

Los resultados obtenidos en este estudio muestran la variabilidad en los niveles de energía de las respuestas de SSVEP al cambiar la dirección de la mirada de los sujetos hacia diferentes objetivos periféricos, utilizando una única frecuencia de estimulación visual intermitente de 15 Hz.

En la Figura 3 se muestra la evolución de los niveles de energía (alta, media, baja y muy baja) a lo largo de los 50 pulsos de estimulación para un participante puntual (Sujeto 3). Se puede observar que los niveles de energía alcanzados difieren significativamente según la dirección de mirada que presente el sujeto entre los diferentes estados (N, S, E, W, O). Particularmente para este caso se observa que se detectó una mayor cantidad respuestas de alto nivel de energía cuando dirigía su mirada en dirección Norte, mientras que el estado que presenta una mayor frecuencia de apariciones de muy baja energía es lógicamente el estado O, ya que corresponde a los períodos de descanso entre estímulos. Esta variabilidad indica que la respuesta de SSVEP se ve claramente influenciada por la direccionalidad de la mirada del usuario.

Fig. 3. Niveles de energía de cada estado detectados a lo largo de los 50 pulsos del registro (Sujeto 3)

En la Figura 4 se presentaron las proporciones promedio de los diferentes niveles de energía alcanzados para cada estado (N, S, E, W, O) de cada participante. Esta representación gráfica permite comparar el comportamiento de las respuestas de SSVEP entre los individuos. Aunque no se observa una tendencia clara que predomine de manera generalizada, sí se evidencian patrones individuales distintivos.

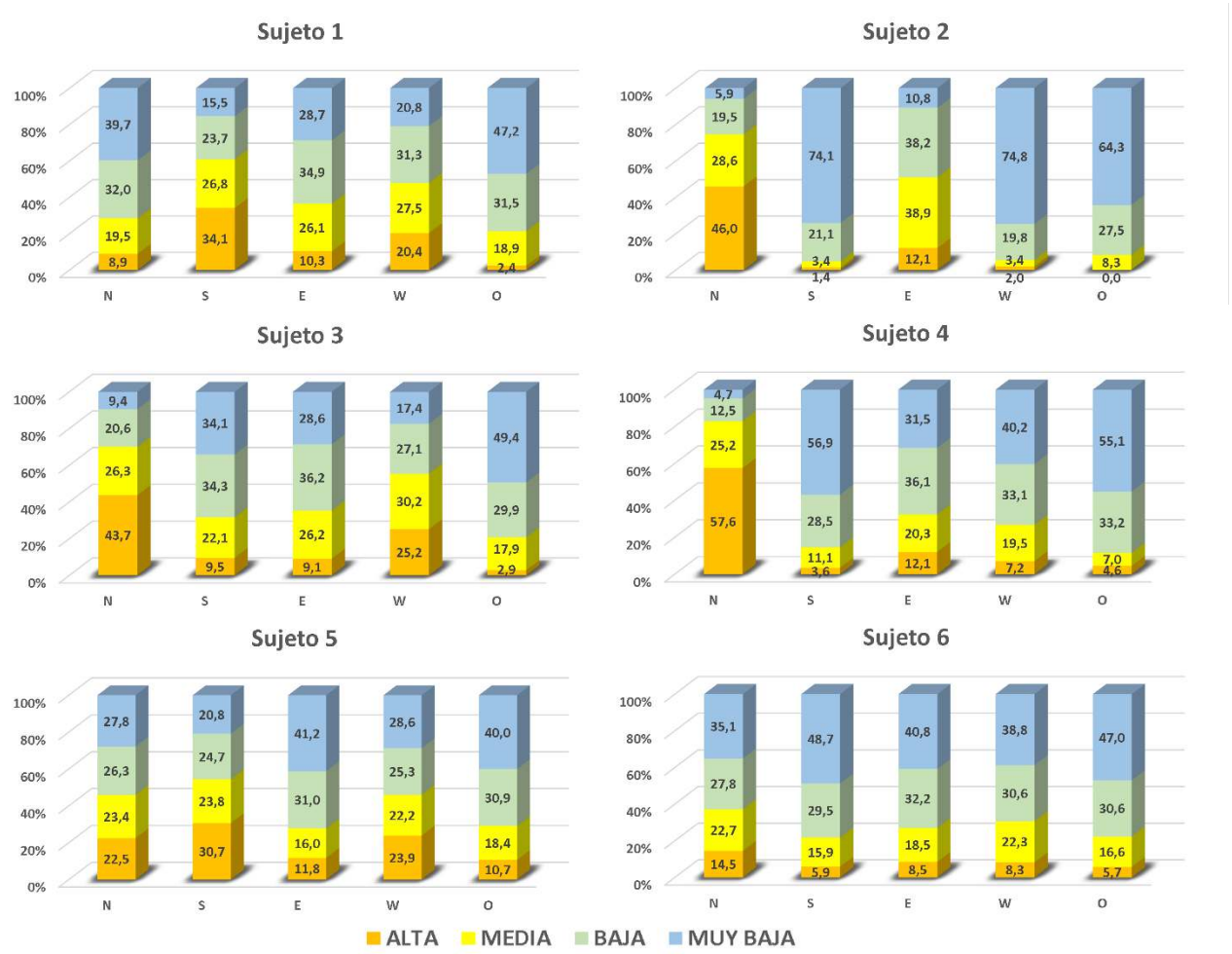


Fig. 4. Proporción de promedios de niveles de energía alcanzados para cada estado en diferentes sujetos

Los resultados obtenidos en este estudio sugieren que, al utilizar una única frecuencia de estimulación visual intermitente, las respuestas de SSVEP registradas mediante EEG presentan variaciones significativas dependiendo de la dirección de la mirada que utilice el sujeto. Esta observación respalda la viabilidad de emplear este enfoque individualizado para codificar múltiples comandos en BCIs basadas en este paradigma.

Sin embargo, es importante destacar que no se encontró una tendencia clara en la predominancia de un estado de estimulación particular por sobre otros para la totalidad de los sujetos analizados. Esto podría atribuirse al tamaño limitado de la muestra de participantes, lo cual no permite obtener una respuesta representativa de la población general.

No obstante, los resultados obtenidos sí permiten identificar, para cada sujeto individual, aquellos estados que presentan una mayor probabilidad de manifestar altos niveles de energía en comparación con los demás. Esta información es crucial, ya que posibilita seleccionar aquellos estados que sean más fácilmente diferenciables y, por lo tanto, mejorar la eficiencia y precisión de las BCIs basadas en este tipo de paradigma.

Conclusiones

En este estudio se ha explorado la influencia de la variación de la direccionalidad de la mirada en las respuestas de potenciales evocados visuales de estado estacionario registradas mediante electroencefalografía para el diseño de interfaces cerebro-computadora. Los resultados obtenidos demostraron que, al utilizar una única frecuencia de estimulación visual intermitente de 15 Hz, las

respuestas SSVEP presentaron variaciones significativas dependiendo de la dirección hacia la cual el usuario enfocara su mirada.
Aunque no se pudo identificar una tendencia general predominante en todos los sujetos analizados, lo cual podría atribuirse al tamaño limitado de la muestra, los hallazgos revelaron patrones individuales distintivos. Esto permite determinar, para cada participante, aquellos estados o direcciones de mirada que exhiben una mayor probabilidad de generar altos niveles de energía en las respuestas SSVEP, en comparación con otros estados.

Esta información es de gran valor, ya que posibilita seleccionar los estados más fácilmente diferenciables para cada usuario, lo que contribuye a mejorar la eficiencia y precisión de las BCIs basadas en este tipo de paradigma. Al aprovechar las variaciones inducidas por la direccionalidad de la mirada y reducir la cantidad de frecuencias de estimulación requeridas, este enfoque individualizado podría conducir al desarrollo de BCIs más efectivas y adaptadas a las características individuales de cada usuario.

Si bien se requieren investigaciones adicionales con una muestra más amplia de participantes para obtener resultados generalizables, este estudio sienta las bases para futuras exploraciones en torno al aprovechamiento de la información proporcionada por la dirección de la mirada en BCIs basadas en SSVEP. Los hallazgos presentados contribuyen a una comprensión más profunda de las respuestas cerebrales individuales a la estimulación visual intermitente y su relación con la direccionalidad de la mirada, allanando el camino hacia el desarrollo de sistemas BCI más precisos y personalizados.

Referencias

Allison BZ, Luth T, Valbuena D, et al. (2010). BCI Demographics: How Many (and What Kinds of) People Can Use an SSVEP BCI? IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering 18:107–116. https://doi.org/10.1109/tnsre.2009.2039495.

Chen J, Zhang D, Engel AK, Gong Q, Maye A (2017). Application of a single-flicker online SSVEP BCI for spatial navigation. PLoS ONE 12(5): e0178385.

Duart X, Quiles E, Suay F, et al. (2020). Evaluating the Effect of Stimuli Color and Frequency on SSVEP. Sensors 21:117. https://doi.org/10.3390/s21010117.

Norcia AM, Appelbaum LG, Ales JM, et al. (2015). The steady-state visual evoked potential in vision research: A review. Journal of Vision 15:4. https://doi.org/10.1167/15.6.4.

Padilla GL, Farfán FD (2022). Multi-state discriminability analysis of SSVEP responses based on a single frequency flicker BCI. En K.S. Cañadas, V. Morales & N.M. Lopez (Eds.), Libro de Resúmenes del XXIII Congreso Argentino de Bioingeniería y XII Jornadas de Ingeniería Clínica (pp. 153). Sociedad Argentina de Bioingeniería. https://www.researchgate.net/ publication/378735245

Sharma, Kamal, Kar, Soumitra (2019). Extracting multiple commands from a single SSVEP flicker using eye-accommodation. Biocybernetics and Biomedical Engineering, 39 (3), 914–922.

Tsoneva T, Garcia-Molina G, Desain P (2021). SSVEP phase synchronies and propagation during repetitive visual stimulation at high frequencies. Scientific Reports 11. https://doi.org/10.1038/s41598-021-83795-9.

Zhang Y, Xie SQ, Wang H and Zhang Z (2021). Data Analytics in Steady-State Visual Evoked Potential-Based Brain–Computer Interface: A Review. IEEE Sensors Journal, vol. 21, no. 2, pp. 1124- 1138, 15, doi: 10.1109/JSEN.2020.3017491.

Zhu D, Bieger J, Molina GG, Aarts RM (2010). A survey of stimulation methods used in SSVEP-based BCIs. Comput. Intell. Neurosci. 1–12.

NANOPARTÍCULAS DE LIGNINA PARA LA LIBERACIÓN ÁCIDA DE DOXORRUBICINA

Micaela B. Peralta[1,2], Franco Ambrosioni[3], Julio Cuggino[4], Verónica V. Nicolau[1,2]

[1] GPol, Departamento de Ingeniería Química, Facultad Regional San Francisco, Universidad Tecnológica Nacional. Avda. de la Universidad 501, San Francisco (2400) Córdoba, Argentina.
[2] Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Godoy Cruz 2290, Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA) C1425FQB, Argentina.
[3] Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Químicas. Departamento de Ciencias Farmacéuticas. Haya de la Torre y Av. Medina Allende –X5000HUA, Córdoba, Argentina
[4] Grupo de Polímeros y Reactores de Polimerización, Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química (INTEC), CONICET-UNL. Güemes 3450. Santa Fe (3000) Argentina.
Email: vnicolau@sanfrancisco.utn.edu.ar

Resumen

La quimioterapia convencional para el cáncer se basa en tratamientos sistémicos que involucran la administración intravenosa de fármacos tóxicos, afectando tanto células tumorales como normales. La nanomedicina aplicada al cáncer ofrece tecnologías novedosas para un tratamiento más seguro y efectivo, con la encapsulación de fármacos en nanopartículas como una alternativa prometedora. Las nanopartículas de lignina (LNP) han ganado atención debido a su biodegradabilidad, biocompatibilidad, baja toxicidad, estabilidad a pH fisiológico y térmica, así como su sostenibilidad y abundancia natural, lo que puede reducir los efectos secundarios de los tratamientos convencionales. La eficacia de estas nanopartículas depende de su tamaño, que se sitúa entre 70 y 250 nm para un suministro adecuado de fármacos.

En este estudio, se utilizó el método de desolvatación por diálisis para cargar doxorrubicina (DOX), un fármaco ampliamente usado en el tratamiento del cáncer, en LNP de madera blanda del tipo Kraft. Las LNP caracterizadas por dispersión dinámica de luz exhibieron un tamaño entre 100 y 200 nm adecuado para su aplicación en terapias del cáncer.

Se ensayaron cargas de DOX de 5 y 10 % en peso, de las cuales se utilizó la carga de 10 % para analizar la liberación controlada de DOX. A pH 7,4, la liberación fue mínima (22 % en 7 h), indicando estabilidad en condiciones fisiológicas, mientras que a pH 5, la liberación fue significativa (80 % en 7 h), ideal para aplicaciones intravenosas. La carga de fármaco fue de 8,87 % y la eficiencia de carga de 95,72 %.

Las LNP cargadas con DOX representan una estrategia prometedora para mejorar la eficacia y seguridad de la quimioterapia al permitir una liberación controlada del fármaco en el microambiente tumoral, reduciendo los efectos adversos en tejidos sanos.

Palabras Clave: Nanopartículas de lignina, Doxorrubicina, Nanotransportadores, Terapia del cáncer, Administración de fármacos

I. Introducción

El desarrollo de terapias contra el cáncer ha evolucionado hacia la administración dirigida de fármacos, centrando su acción en tejidos afectados para mejorar la eficacia y reducir efectos secundarios (Irvine, 2020). La nanomedicina ha emergido como una solución prometedora, encapsulando fármacos en nanopartículas que permiten un tratamiento más seguro y efectivo (Shi, 2017; Van Der Meel, 2019). Estas nanopartículas, con tamaños ideales entre 70 y 250 nm (Gaumet, 2008), pueden acumularse en tumores debido al efecto de permeabilidad y retención mejoradas (EPR), ofreciendo una liberación controlada del fármaco en el microambiente tumoral (Lázaro, 2021).

Los fármacos quimioterapéuticos estándar, como la doxorrubicina y el paclitaxel, tienen efectos secundarios significativos debido a su distribución inespecífica y acumulación en tejidos normales,

pero en general son razonablemente bien tolerados por los pacientes. Para abordar esta limitación, se han desarrollado nanopartículas poliméricas con una alta carga útil de fármacos, inhibiendo eficazmente el crecimiento tumoral y prolongando la supervivencia sin toxicidad sistémica en comparación con el tratamiento estándar (Van Der Meel et al., 2019).

Por otra parte, la lignina constituye alrededor del 25-40 % de la biomasa lignocelulósica obtenida a partir de los procesos de las industrias de transformación de la madera y el papel, y es el segundo material natural más abundante en la tierra (Agarwal, 2018; Gao, 2021; Lange, 2013; Tribot, 2019; Xu, 2021). Consiste en estructuras polifenólicas reticuladas que proporcionan soporte estructural a las plantas y desempeña un papel importante en la formación de las paredes celulares (Isaac, 2019; Tsegaye, 2019). Tiene varias ventajas como biodegradabilidad, propiedad antimicrobiana y facilidad de disponibilidad, entre otras (Kumar, 2021; Yan, 2021).

En los últimos años, la lignina se ha utilizado como biomaterial para diferentes aplicaciones (Argyropoulos, 2023; Gao, 2021). Por ejemplo, se ha utilizado para preparar hidrogeles (Larrañeta, 2018; Meng, 2019; Zerpa, 2018) y nanopartículas para la administración de fármacos (Alqahtani, 2019; Chauhan, 2020; Lievonen, 2016). Las nanopartículas de lignina (LNP) han generado una gran atención debido a las ventajas combinadas de sus propiedades físicas y químicas únicas, junto con su sostenibilidad y abundante presencia en la naturaleza. Numerosos estudios han demostrado la capacidad de las LNP para la liberación controlada de fármacos importantes en medicina (Dai, 2017; Figueiredo, 2017).

En este trabajo, se utiliza el fármaco hidrosoluble clorhidrato de doxorrubicina (DOX) como modelo para estudiar la posible aplicación de las LNP como vehículo para la administración de fármacos. La DOX es una antraciclina y un fármaco anticancerígeno activo, ligeramente soluble en solución salina normal y escasamente soluble en alcohol, con una actividad de amplio espectro contra neoplasias, linfomas, tumores sólidos y tumores de mama. Sin embargo, los problemas de toxicidad relacionados con la DOX limitan su uso a largo plazo con fines clínicos (Rahdar, 2021), debido a su distribución inespecífica y a su acumulación en tejidos normales, como el corazón, el hígado y el riñón (Wang, 2015).

Las LNP sintetizadas a partir de biomasa natural pueden servir como material portador de base biológica de alta calidad para la DOX (Zhou, 2019), proporcionando una guía para lograr una biodistribución controlable y una liberación *in vitro* dirigida del fármaco (Zhou, 2019). En trabajos previos del grupo, se logró la preparación de LNP con un tamaño adecuado para su aplicación como carrier con cargas de 10 y 20 % m/m de Paclitaxel (Fagiano, 2019; Fagiano, 2020).

En este estudio, se proporciona una estrategia para sintetizar una plataforma de nanopartículas verdes basada en lignina para la liberación selectiva de fármacos, destinada a cargar la droga hidrofílica DOX. El desarrollo y caracterización de las LNP como carriers para la liberación ácida controlada de DOX permitirán analizar la acumulación de las LNP en el microambiente tumoral por EPR y liberación de la DOX en este sitio. Se propone sintetizar LNP mediante desolvatación por diálisis y caracterizarlas usando dispersión dinámica de luz (DLS) y microscopía electrónica de barrido (SEM). Posteriormente, se cargará DOX en diferentes concentraciones y se analizará su liberación en medios fisiológicos, evaluando la acumulación de las LNP en el entorno tumoral y la liberación controlada del fármaco.

II. Materiales y métodos

II.1 Materiales

Se utilizaron los siguientes productos químicos adquiridos: Lignina Indulin AT (Ingevity); Dimetilformamida (DMF, Anedra); Clorhidrato de doxorrubicina (DOX, Aldrich).

II.2 Síntesis de las LNP

La preparación de las LNP se realizó disolviendo la lignina en 25 mL de DMF a temperatura ambiente. A continuación, la solución se transfirió a una membrana de diálisis de peso molecular de corte (MWCO) de 50 kDa, la cual se sumergió en un vaso de precipitados de 2 L con agua destilada durante 4 h. El intercambio de disolvente favoreció la formación de las LNP por desolvatación. Las suspensiones de LNP se denominaron C1 (1,33 mg mL^{-1}), C2 (2 mg mL^{-1}) y C3 (2,66 mg mL^{-1}) en función de la concentración inicial de lignina en DMF.

II.3 Caracterización de las LNP

II.3.1 Medición del diámetro hidrodinámico mediante dispersión dinámica de la luz (DLS)

El tamaño de las LNP en dispersión se midió utilizando un analizador de potencial zeta Zetasizer® Nano ZS (Malvern Panalytical, Reino Unido) en diferentes medios de hinchamiento. Las LNP se midieron en agua y en medios que simulan las condiciones ambientales del cuerpo humano: plasma (tampón fosfato salino, PBS, a pH = 7,4), y medio lisosomal (tampón acetato salino, ABS, a pH = 5). Además del tamaño, se calculó el índice de polidispersidad (PDI) para evaluar la uniformidad de las partículas, dividiendo el tamaño medio de las partículas por el número medio de partículas medidas.

II.3.2 Microscopía electrónica de barrido (SEM)

La morfología de las LNP se estudió mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) utilizando un microscopio Zeiss Sigma. Las muestras se prepararon colocando una gota de las suspensiones de las LNP (0,01 mg mL^{-1}) en una barra de silicio y se secó a temperatura ambiente durante un día. Después, se metalizaron con oro y se analizaron con el microscopio.

II.4 Carga de DOX en las LNP

Las LNP cargadas con DOX (LNP-DOX) se prepararon agitando 5 mL de la suspensión de LNP de concentración C1 con 5 % m/m y 10 % m/m de DOX durante 24 h en oscuridad. Finalizado el proceso, se eliminó el exceso de fármaco mediante centrifugación (2000 rpm durante 5 min) utilizando filtros Sartorius Vivaspin® MWCO 10 KDa. En cada lavado se agregaron 2-3 mL de agua y se agitó el interior del tubo para evitar deposición. Se lavó tres veces con agua para eliminar el exceso de DOX. La DOX liberada en el filtrado se cuantificó por espectroscopia UV-visible a 482 nm y, por diferencia, se calculó la cantidad de fármaco cargado en las LNP. Para ello, se realizó una curva de calibrado con diluciones de DOX (R^2 = 0,9992).

El contenido de carga de fármaco (DLC) y la eficiencia de la carga (DLE) se calcularon utilizando las ecuaciones 1 y 2.

$$DLC\ (\%) = \frac{\text{Peso de } DOX}{Peso\ Total} \times 100 = \frac{\text{Peso de } DOX}{\text{Peso de } DOX + \text{Peso de } LNP - DOX} \times 100 \quad (1)$$

$$DLE\ (\%) = \frac{DOX\ cargada}{DOX\ inicial} \times 100 \quad (2)$$

II.5 Estudio de la liberación *in vitro*

Una de las características cruciales de los sistemas de administración de fármacos es la liberación sostenida, que permite mejorar la acumulación de la droga en la zona del tumor y aumentar su eficacia contra el cáncer.

La liberación *in vitro* de las formulaciones LNP-DOX 10 % m/m (0,6423 mg DOX mL^{-1}) se realizó mediante diálisis en PBS (pH=7,4) y ABS (pH=5) (Rahdar, 2021).

Para ello, se añadieron 5 mL de la formulación LNP-DOX 10 % a una jeringa, previamente cortada en su extremo inferior, que contenía una membrana de diálisis de MWCO 50 KDa cuidadosamente adherida en esta sección. Inmediatamente después, el tubo se sumergió en 5 mL de soluciones salinas tampones ABS y PBS. El experimento de liberación se llevó a cabo durante 8 h a 37 °C mediante agitación suave de 100 rpm. A intervalos de tiempo predeterminados, se extrajo 1 mL del medio receptor para su análisis por espectroscopia UV-vis, y se sustituyó cada vez por 1 mL de medio receptor fresco mantenido a 37 °C. La cantidad de DOX liberada en cada momento se determinó utilizando curvas de calibración de DOX en cada tampón midiendo la absorbancia a 482 nm. Aunque la lignina tiene un máximo a aproximadamente 300 nm, la absorbancia a 482 resultó despreciable. Las liberaciones se analizaron por duplicado.

III. Resultados y discusiones

III.1 Síntesis y caracterización de las LNP

Las LNP se sintetizaron por el método de desolvatación en DMF. Luego de 4h, la solución inicial de lignina en DMF se transformó en una dispersión turbia debido al intercambio de solventes, como se muestra en la Fig. 1.

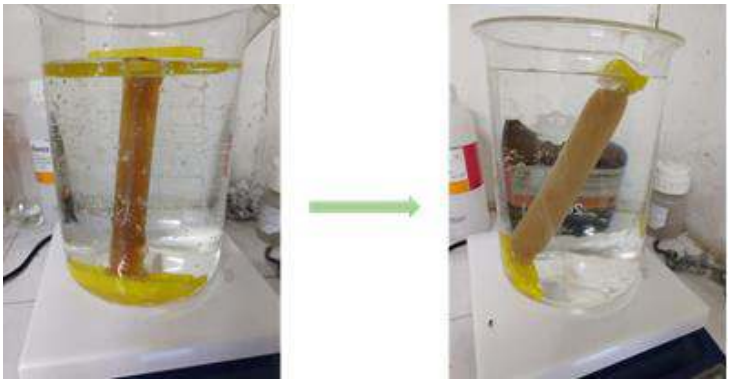


Fig. 1. Formación de LNP: Método de desolvatación en DMF.

El tamaño de las partículas y la distribución del tamaño fueron parámetros significativos y tuvieron relevancia en la carga del fármaco, la liberación controlada, la estabilidad y la biodistribución. Los datos cuantitativos (tamaño y PDI) de las LNP preparadas en agua y en medios fisiológicos se enumeran en la Tabla 1.

Tabla 1. Tamaño y polidispersidad (PDI) de las LNP analizadas mediante DLS.

	Tamaño (nm)			PDI		
LNP	En agua	En ABS	En PBS	En agua	En ABS	En PBS
C1	208,8	180,8	182,3	0,189	0,197	0,156
C2	181,5	165,0	163,7	0,250	0,249	0,245
C3	202,9	183,0	182,8	0,236	0,240	0,219

Para encapsular fármacos, una partícula pequeña es una ventaja, ya que transportaría solo una pequeña cantidad de fármaco, lo que ayudaría a minimizar la aparición de una respuesta tóxica brusca. El tamaño de las LNP se encontró en el rango nanométrico ideal para ser utilizadas como portadoras de fármacos oncológicos para administración intravenosa, cercano a los 200 nm, y los valores de PDI fueron todos inferiores o iguales a 0,25, mostrando una dispersión moderadamente

uniforme. A partir de estos resultados, se eligió la suspensión de LNP de concentración C1 para continuar con los estudios de carga de DOX dado la menor PDI en todos los medios que podría permitir una mayor capacidad de carga de fármaco.

El tamaño y la morfología de las LNP de concentración C1 se investigaron, además, mediante microscopía electrónica de barrido (SEM). Como se muestra en la Fig. 2, las LNP presentan morfología de esferas discretas y uniformes, en el rango de tamaño de 100 a 200 nm.

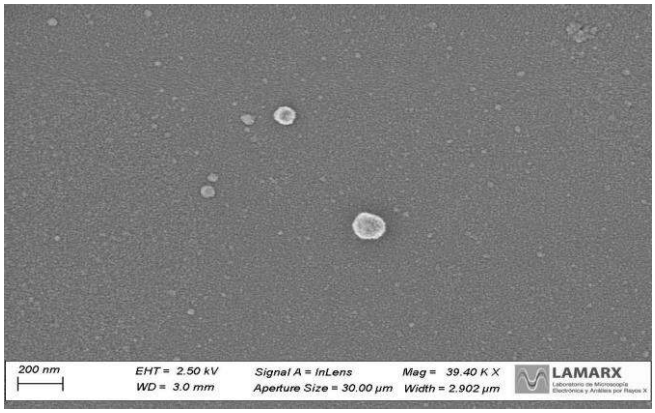


Fig. 2. Micrografía SEM de LNP de concentración C1.

III.2 Carga de DOX en las LNP

Las LNP de la suspensión de concentración C1 se cargaron con DOX mediante mezcla simple eliminando el exceso del fármaco mediante 3 lavados sucesivos. En la Fig. 3, se pueden observar las aguas de lavado. En el primer lavado, se observa una eliminación del fármaco considerable, dada por el característico color naranja, disminuyendo considerablemente en el segundo lavado, y siendo prácticamente imperceptible en el tercer lavado. La cantidad de DOX eliminada en las aguas de lavado se cuantificó por espectroscopia UV-vis y se calculó la DOX cargada en las LNP por diferencia con la DOX inicial.

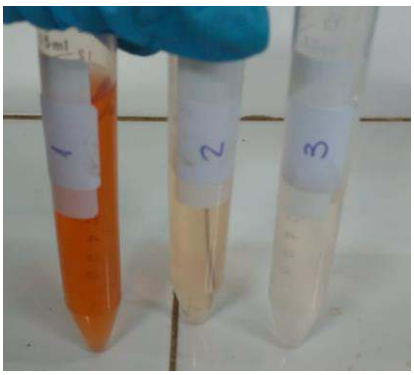


Fig. 3. Lavados sucesivos de la solución saturada de LNP-DOX.

Por lo general, un portador de fármacos ideal debe tener una elevada DLE (superior al 70 %), que permita aumentar la eficacia del sistema de administración del fármaco y disminuir sus efectos secundarios. En este sistema de LNP-DOX, el DLC y el DLE fueron 8,87 % y 95,72 %, respectivamente. Las interacciones entre la DOX y las LNP pueden dar lugar a esta elevada DLE. Las moléculas de lignina tienen una estructura polifenólica similar a la de la DOX, por lo que los enlaces de hidrógeno y el apilamiento potencian también esta interacción entre ellas. El núcleo resulta hidrófobo, por lo que podría concluirse que la DOX quedó atrapada principalmente en el núcleo de las LNP. Además, el DLE de nuestro sistema está muy por encima del DLE de las nanopartículas basadas en lignina que han sido diseñadas para encapsular diferentes compuestos, como el pesticida avermectina cuyo DLE fue 61,49 % (Deng, 2016). De este modo, el fármaco

soluble en agua, DOX, pudo cargarse con éxito en las LNP mediante enlace de hidrógeno e interacciones π-π con alta eficacia.

III.3 Liberación de DOX de las LNP

Las liberaciones acumuladas de LNP-DOX (%) se realizaron en los tampones de PBS y ABS. Como puede observarse en la Fig. 4, la liberación de DOX de las LNP mostró una tasa de liberación lenta y sostenible a pH 7,4 y presentó una liberación ligeramente más rápida en condición ácida (pH=5). Luego de 7 h se liberó el 80 % y el 22 % de la DOX en solución tampón de pH 5 y 7,4, respectivamente. Esto es ideal para portadores que pretenden ser utilizados como nanotransportadores para aplicación intravenosa en aplicaciones oncológicas. Como es sabido, el microambiente tumoral o los endosomas intracelulares presentan un pH ácido y estas LNP podrían liberar DOX sólo en pH ácido retardando la liberación a pH fisiológico (pH=7,4).

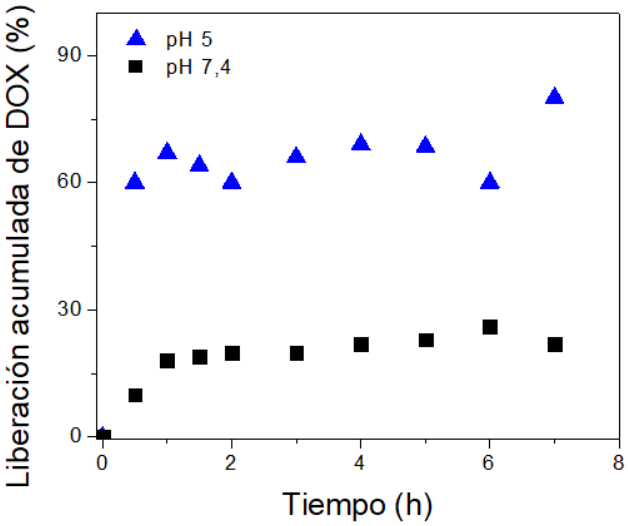


Fig. 4. Liberación acumulada de DOX (%) desde las LNP en pH 5 (ABS) y 7,4 (PBS).

Conclusiones

En este trabajo se sintetizaron LNP para la liberación controlada de DOX. Las LNP presentaron un tamaño adecuado, entre 100 y 200 nm, y una distribución homogénea, aptas para ser utilizadas en la terapia del cáncer por vía intravenosa.

Las LNP-DOX con 10 % de DOX en su formulación evidenciaron alta eficiencia de encapsulación de la droga (95,72 %). Al estudiar la liberación de la droga, se observó que la liberación de DOX de las LNP mostró una tasa de liberación lenta y sostenible a pH 7,4 y presentó una liberación ligeramente más rápida en condición ácida, siendo de 80 % y 22 % de DOX liberada en 7 h en solución tampón de pH 5 y 7,4, respectivamente.

Las LNP cargadas con DOX representan una estrategia prometedora para mejorar la eficacia y seguridad de la quimioterapia al permitir una liberación controlada del fármaco en el microambiente tumoral, reduciendo los efectos adversos en tejidos sanos. Se espera poder ensayar las nanoformulaciones en modelos celulares tumorales.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por Agencia I+D+i (PICT No 2019-2019-04193), Universidad Tecnológica Nacional (PID MAUTISF0007635TC y PID PATCBSF0008135TC).

Referencias

Agarwal, A., Rana, M., Park, J. H. (2018). Advancement in technologies for the depolymerization of lignin. Fuel Processing Technology, 181(August 2018), 115–132. doi: 10.1016/j.fuproc.2018.09.017

Alqahtani, M. S., Alqahtani, A., Al-Thabit, A., Roni, M., & Syed, R. (2019). Novel lignin nanoparticles for oral drug delivery. Journal of Materials Chemistry B, 7(28), 4461–4473. doi: 10.1039/c9tb00594c

Argyropoulos, D. D. S., Crestini, C., Dahlstrand, C., Furusjö, E., Gioia, C., Jedvert, K., Wimby, M. (2023). Kraft Lignin: A Valuable, Sustainable Resource, Opportunities and Challenges. ChemSusChem, 16(23), e202300492. doi: 10.1002/cssc.202300492

Chauhan, P. S. (2020). Lignin nanoparticles: Eco-friendly and versatile tool for new era. Bioresource Technology Reports, 9(November 2019). doi: 10.1016/j.biteb.2019.100374

Dai, L., Liu, R., Hu, L., Zou, Z., Si, C. (2017). Lignin Nanoparticle as a Novel Green Carrier for the Efficient Delivery of Resveratrol. ACS Sustainable Chemistry and Engineering, 5, 8241–8249. doi: 10.1021/acssuschemeng.7b01903

Deng, Y., Zhao, H., Qian, Y., Lü, L., Wang, B., Qiu, X. (2016). Hollow lignin azo colloids encapsulated avermectin with high anti-photolysis and controlled release performance. Industrial Crops and Products, 87, 191–197. doi: 10.1016/j.indcrop.2016.03.056

Fagiano, F., Wolfel, A., Igarzabal, C. I. A., Gugliotta, L. M., Nicolau, V., Cuggino, J. C. (2019). Nanopartículas de ligninas como carriers para liberación de fármacos oncológicos activada por neutrófilos. Jornadas de Ciencia y Tecnología 2019, 46–47. Recuperado de http://hdl.handle.net/20.500.12272/7368

Fagiano, F., Wolfel, A., Igarzabal, C. I. A., Gugliotta, L. M., Nicolau, V., Cuggino, J. C. (2020). Nanopartículas de ligninas como carriers para liberación de fármacos oncológicos activada por neutrófilos. IV Workshop de Polimeros Biodegrdables y Biocompuestos, 74. Recuperado de http://hdl.handle.net/20.500.12272/10284

Figueiredo, P., Ferro, C., Kemell, M., Liu, Z., Kiriazis, A., Lintinen, K., Santos, H. A. (2017). Functionalization of carboxylated lignin nanoparticles for targeted and pH-responsive delivery of anticancer drugs. Nanomedicine, 12(21), 2581–2596. doi: 10.2217/nnm-2017-0219

Gao, C., Li, M., Zhu, C., Hu, Y., Shen, T., Li, M., Zhuang, W. (2021). One-pot depolymerization, demethylation and phenolation of lignin catalyzed by HBr under microwave irradiation for phenolic foam preparation. Composites Part B: Engineering, 205, 108530. doi: 10.1016/j.compositesb.2020.108530

Gaumet, M., Vargas, A., Gurny, R., Delie, F. (2008). Nanoparticles for drug delivery : The need for precision in reporting particle size parameters. European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics, 69, 1–9. doi: 10.1016/j.ejpb.2007.08.001

Irvine, D. J., Dane, E. L. (2020). Enhancing cancer immunotherapy with nanomedicine. Nature Reviews Immunology, 20, 321–334. doi: 10.1038/s41577-019-0269-6

Isaac, E., Samson, A., Adeosun, O. (2019). Sustainable Lignin for Carbon Fibers: Principles, Techniques, and Applications. Suiza: Springer.

Kumar, R., Butreddy, A., Kommineni, N., Guruprasad Reddy, P., Bunekar, N., Sarkar, C., Kaushik, A. (2021). Lignin: Drug/gene delivery and tissue engineering applications. International Journal of Nanomedicine, 16, 2419–2441. doi: 10.2147/IJN.S303462

Lange, H., Decina, S., Crestini, C. (2013). Oxidative upgrade of lignin - Recent routes reviewed. European Polymer Journal, 49(6), 1151–1173. doi: 10.1016/j.eurpolymj.2013.03.002

Larrañeta, E., Imízcoz, M., Toh, J. X., Irwin, N. J., Ripolin, A., Perminova, A., Donnelly, R. F. (2018). Synthesis and Characterization of Lignin Hydrogels for Potential Applications as Drug Eluting Antimicrobial Coatings for Medical Materials. ACS Sustainable Chemistry and Engineering, 6(7), 9037–9046. doi: 10.1021/acssuschemeng.8b01371

Lázaro, I. de, Mooney, D. J. (2021). Obstacles and opportunities in a forward vision for cancer nanomedicine. Nature Materials, 20, 1469–1479. doi: 10.1038/s41563-021-01047-7

Lievonen, M., Valle-Delgado, J. J., Mattinen, M. L., Hult, E. L., Lintinen, K., Kostiainen, M. A.,

Meng, Y., Lu, J., Cheng, Y., Li, Q., Wang, H. (2019). Lignin-based hydrogels: A review of preparation, properties, and application. International Journal of Biological Macromolecules, 135, 1006–1019. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2019.05.198

Rahdar, A., Sargazi, S., Barani, M., Shahraki, S., Sabir, F., Aboudzadeh, M. A.(2021). Lignin-Stabilized Doxorubicin Microemulsions: Synthesis, Physical Characterization, and In Vitro Assessments. Polymers, 13, 641. doi: 10.3390/polym13040641

Shi, J., Kantoff, P. W., Wooster, R., Farokhzad, O. C. (2017). Cancer nanomedicine: progress, challenges and opportunities. Nature Reviews Cancer, 17(1), 20–37. doi: 10.1038/nrc.2016.108

Tribot, A., Amer, G., Abdou Alio, M., de Baynast, H., Delattre, C., Pons, A., Dussap, C. G. (2019). Wood-lignin: Supply, extraction processes and use as bio-based material. European Polymer Journal, 112(January), 228–240. doi: 10.1016/j.eurpolymj.2019.01.007

Tsegaye, B., Balomajumder, C., Roy, P. (2019). Microbial delignification and hydrolysis of lignocellulosic biomass to enhance biofuel production: an overview and future prospect. Bulletin of the National Research Centre, 43, 51–67. doi: 10.1186/s42269-019-0094-x

Van Der Meel, R., Sulheim, E., Shi, Y., Kiessling, F., Mulder, W. J. M., Lammers, T. (2019). Smart cancer nanomedicine. Nature Nanotechnology, 14(November), 1007–1017. doi: 10.1038/s41565-019-0567-y

Wang, H., He, J., Cao, D., Zhang, M., Li, F., Tam, K. C., Ni, P. (2015). Synthesis of an acid-labile polymeric prodrug DOX-acetal-PEG- acetal-DOX with high drug loading content for pH-triggered intracellular drug release. Polymer Chemistry, 6, 4809–4818. doi: 10.1039/C5PY00569H

Xu, L., He, Z., Zhang, H., Wu, S., Dong, C., Fang, Z. (2021). Production of aromatic amines via catalytic co-pyrolysis of lignin and phenol-formaldehyde resins with ammonia over commercial HZSM-5 zeolites. Bioresource Technology, 320, 124252. doi: 10.1016/j.biortech.2020.124252

Yan, Q., Arango, R., Li, J., Cai, Z. (2021). Fabrication and characterization of carbon foams using 100% Kraft lignin. Materials and Design, 201, 109460. doi: 10.1016/j.matdes.2021.109460

Zerpa, A., Pakzad, L., Fatehi, P. (2018). Hardwood Kraft Lignin-Based Hydrogels: Production and Performance. ACS Omega, 3(7), 8233–8242. doi: 10.1021/acsomega.8b01176

Zhou, Y., Han, Y., Li, G., Yang, S., Xiong, F., Chu, F. (2019). Preparation of Targeted Lignin – Based Hollow Nanoparticles for the Delivery of Doxorubicin. Nanomaterials, 9, 188. doi: 10.3390/nano9020188

INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD DE DEFORMACIÓN EN UN ACERO INOXIDABLE AISI 316L CON CARGA ELECTROLÍTICA DE HIDRÓGENO

Mariano N. Inés[1], Graciela A. Mansilla[1]

[1]Línea de Metalurgia Física, Departamento Metalúrgica/DEYTEMA.
Facultad Regional San Nicolás, Universidad Tecnológica Nacional.
Colón 332, San Nicolás de los Arroyos (2900), Pcia. Buenos Aires. Argentina
Correo Electrónico (autor de contacto): mines@frsn.utn.edu.ar

Resumen

Cuando los aceros inoxidables se someten a condiciones de servicio inadecuadas (altas temperaturas y atmósferas de trabajo agresivas), se puede generar hidrógeno, producto de reacciones de corrosión. Éste ingresa, difunde y queda atrapado en sitios concentradores de tensión de la red metálica, como ser dislocaciones y vacancias, y también en bordes de granos, partículas de carburos de cromo y fases intermetálicas. La interacción entre el hidrógeno, los átomos de la red y las condiciones operativas puede tener diversas consecuencias en el material. Esto incluye el desarrollo y crecimiento de fisuras, la reducción de la vida útil en fatiga y la ocurrencia de fracturas frágiles, máxime cuando hay involucradas tensiones mecánicas. El hidrógeno es fácilmente transportado por las dislocaciones en la deformación plástica, acrecentado los problemas de fragilización por hidrógeno.

Este trabajo analiza la influencia de la velocidad de deformación en ensayos de tracción aplicados a un acero inoxidable austenítico AISI 316L cargado electrolíticamente con hidrógeno. Para lograr una microestructura susceptible, se aplicaron previamente tratamientos térmicos de solubilización y sensibilización microestructural, y luego sobre un grupo de estas muestras se llevaron a cabo cargas electrolíticas de hidrógeno. Para finalizar, se realizaron ensayos de tracción sobre el total de las muestras, empleando velocidades de deformación variables, esto es, $3x10^{-3}$ s^{-1}, $3x10^{-4}$ s^{-1} y $3x10^{-6}$ s^{-1}, respectivamente.

Resultados preliminares dejan en evidencia una reducción sustancial (fragilización) en el alargamiento a rotura de muestras con tratamiento térmico (sensibilizadas) y cargadas con hidrógeno considerando la menor velocidad de deformación, esto es, $3x10^{-6}$ s^{-1}. También, se avaluó el índice de fragilización por hidrógeno, para cada condición de tratamiento y velocidad de deformación, correspondiendo valores disímiles, poniendo de manifiesto la dependencia existente entre el movimiento y transporte de hidrógeno por las dislocaciones durante la deformación plástica.

Palabras Clave: Resistencia Mecánica, Carburos, Tratamientos Térmicos, Hidrógeno, Fragilización.

Introducción

El acero inoxidable austenítico AISI 316L es ampliamente utilizado en aplicaciones industriales y biomédicas debido a su excelente resistencia a la corrosión, buena tenacidad y biocompatibilidad. Sin embargo, su comportamiento bajo condiciones de solicitaciones mecánicas en presencia de hidrógeno es un área crítica de investigación debido a la susceptibilidad a la fragilización por hidrógeno (FH) que presenta este acero, pudiendo comprometer la integridad estructural de componentes y estructuras fabricadas con este material.

En el acero inoxidable AISI 316L, la presencia de carburos, principalmente de tipo $M_{23}C_6$ (donde M puede ser Cr, Mo, Fe), influye significativamente en la difusión y acumulación de hidrógeno. Es mucha la literatura asociada con este tema, por ejemplo, algunos autores plantean que una microestructura óptima para resistir la FH es aquella en que las trampas no contribuyen a la fragilización por sí mismas, ni proporcionan una fuente fácil de hidrógeno que pueda contribuir a la fragilización, (Yi-Sheng Chen, 2024). También, se propone el concepto de introducir trampas de hidrógeno para

mitigar la FH, es decir, distingue trampas reversibles, donde la probabilidad que tiene el hidrógeno de salir de ella es alta, de las irreversibles, en donde éstas actúan como un sumidero para el hidrógeno presentando poca probabilidad de escape, (Pressouyre, 1980). Este concepto supone que el hidrógeno atrapado es pasivo y que es el hidrógeno difusible el que conduce a la FH, (Bhadeshia, 2016 – Lynch, 2012 - Nagumo 2023). Sin embargo, se sabe también que la presencia de trampas de hidrógeno aumenta la solubilidad de éste en todas las aleaciones, incluidos los aceros comerciales, y, por lo tanto, estos sitios pueden proporcionar una fuente futura de hidrógeno disponible para fragilización.

Los efectos de la energía térmica sobre los materiales pueden ser varios y producir cambios en muchas de sus propiedades, (Asmus, 2014). La medida de los cambios de energía constituye la base del análisis térmico diferencial (DTA - *Differential Thermal Analysis*) y de la calorimetría diferencial de barrido (DSC - *Differential Scanning Calorimetry*). Así, por ejemplo, el DTA y el DSC indican si una reacción o cambio físico ocurrido a determinada temperatura es endo- ó exotérmico, y a menudo es capaz de medir variaciones energéticas asociadas con el hidrógeno atrapado en los aceros, y que es desorbido a las temperaturas de la prueba. Las técnicas de espectrometría de desorción térmica (TDS –*Thermal Desorption Spectrometry*) son efectivas para obtener información sobre la termodinámica y la cinética de los sistemas metal-atmósfera midiendo el espectro del gas desorbente obtenido al calentar una muestra a una velocidad constante de aumento de temperatura. Además, son eficaces en la identificación de los estados energéticos en general y de atrape de H en los metales en particular, pudiéndose determinar la frecuencia de salto/liberación de un átomo de H mediante la conocida ley de activación.

La influencia de los carburos de cromo (Cr), molibdeno (Mo) y vanadio (V) fue evaluada por autores frente a la resistencia a la FH en aceros martensíticos templados y precargados, determinando que la precipitación de carburos M_7C ricos en Cr no proporcionaba un efecto beneficioso sobre la FH del acero, (Lee, 2019). Por otro lado, hallaron que el VC en forma de placa fina y los carburos de Mo de tamaño nanométrico mejoran considerablemente la resistencia a la FH. Si bien el acero que contiene carburos de V mostró el mejor rendimiento en las pruebas de velocidad de deformación lenta, la gran absorción de H por estos carburos generó dudas sobre su uso en aplicaciones prácticas. Los carburos de Mo fueron indicados como los más prometedores debido a su baja absorción de H del ambiente corrosivo en combinación con un alto contenido de H crítico. Ensayos de tenacidad a la fractura y crecimiento de grietas por fatiga realizados en muestras precargadas con H indicaron que la presencia de carburos finos (V,Mo) disminuyó claramente la susceptibilidad a FH, como fuera indicado en (Peral, 2021). Además, múltiples estudios consideraron el papel del tamaño y la distribución de carburos, señalando que una distribución homogénea de éstos da lugar a una menor susceptibilidad a la HE en comparación con una distribución de carburo heterogénea, (Dos Santos, 2022).

La velocidad de deformación de los aceros es un factor crítico en la evaluación de aspectos relacionados con la FH, particularmente, se sabe que para el acero inoxidable AISI 316L el comportamiento del material frente a la carga de H varía significativamente con la velocidad de deformación aplicada. Distintos trabajos plantean que el tiempo disponible para que el hidrógeno difunda y se ancle en las trampas microestructurales del material es limitado cuando se emplean altas velocidades de deformación en tracción. Esto puede llevar a una menor concentración de hidrógeno en las regiones críticas durante el ensayo, y de esta manera, a una probabilidad menor de propagación de las grietas a causa del H. En contraste, a bajas velocidades de deformación, el hidrógeno tiene más tiempo para difundir hacia las trampas, lo que puede resultar en una mayor concentración de hidrógeno en las regiones de altas tensiones, promoviendo la nucleación y el crecimiento de microfisuras debido a la reducción de la cohesión interatómica inducida por el hidrógeno, mostrando mayor susceptibilidad a la fragilización y una disminución significativa en la ductilidad y la tenacidad del material.

Evidencia experimental obtenida de ensayos realizados en aceros ferríticos y perlíticos han puesto de manifiesto que el hidrógeno disminuye el alargamiento de las muestras cuando se las ensaya a velocidades de deformación inferiores a 10^{-4} s^{-1}, con menos efecto sobre la susceptibilidad a la FH a velocidades de deformación mayores, del orden de 10^{-3} s^{-1} debido a que los átomos de hidrógeno

no tienen el tiempo suficiente para acumularse de manera localizada y así alterar mecánicamente la respuesta del material, (Shiba, 2006 – Doshida, 2014). En otro artículo se expone que ensayos de tracción realizados a distintas velocidades, sobre un acero martensítico, dejan entrever que los mayores efectos en la pérdida de ductilidad se observan en muestras hidrogenadas ensayadas a velocidades del orden de 10^{-5} s^{-1}, frente a sus pares ensayadas a 10^{-3} s^{-1}, (Yang Gu, 2023). Esto pone de manifiesto la gran influencia del H en la respuesta mecánica de los aceros. Es por esto que, la literatura consultada reporta el uso del índice de fragilización por hidrógeno (I_{HE}), (Yang Gu, 2023). Este se designa para indicar la sensibilidad a la fragilización por hidrógeno, y contempla los alargamientos de las muestras ensayadas en tracción, con (δ_H) y sin (δ_0) carga de hidrógeno, respectivamente, según la expresión (1).

$$I_{HE}(\%) = \frac{\delta_0 - \delta_H}{\delta_0} \times 100 \quad (1)$$

Materiales y métodos

Se trabajó con un acero inoxidable austenítico AISI 316L, de procedencia finlandesa, cuya composición química otorgada por el fabricante se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición química del acero inoxidable AISI 316L

Elemento	Fe	C	Si	Cr	Mn	Ni	Mo	P	S	N
% Masa	Bal.	0,032	0,65	17,2	1,50	10,7	2,57	0,032	0,010	0,044

Posteriormente, se llevaron a cabo recocidos de solubilización a una temperatura de 1100°C, durante 60 minutos y templando las muestras en agua. El propósito perseguido con el tratamiento fue el de disolver carburos y regenerar la microestructura del material en condición de partida. Luego de éstos, a las muestras solubilizadas se les realizó tratamiento térmico de sensibilización (650°C y mantenimiento de 360 minutos, con enfriamiento lento en horno). Este tratamiento final permitió generar las condiciones de difusión adecuadas para la precipitación de partículas submicroscópicas de carburos de cromo y distintas fases intermetálicas, de acuerdo con las condiciones de servicio a las que son sometidos estos aceros en servicio.

En el análisis microestructural de muestras en condición *as-received* del acero inoxidable AISI 316L, se determinó por microscopía óptica un tamaño de grano austenítico de 35,3 μm, con presencia de precipitados de carburo de cromo (identificadas como $Cr_{23}C_6$ según DRX) en posiciones duales, es decir, inter- y transgranular, Figura 1a. También, se detectaron escasa cantidad de inclusiones de geometría poligonal. Ahora bien, como consecuencia del tratamiento térmico aplicado, se obtuvo una distribución de carburos y fases intermetálicas mayormente en bordes de grano austeníticos, Figura 1b. La mayoría de ellos se corresponden con carburos tipo $Cr_{23}C_6$, $MnMoN_2$, $(Fe,Ni)_{23}C_6$ y $(Cr,Mo)_2(C, N)$, entre otras, en base al análisis obtenido por DRX. Esta distribución diferente de distintos tipos de carburos de cromo en la muestra con tratamiento térmico respecto de *as-received* podría dar lugar, eventualmente, a mayor cantidad de sitios de captura de H.

a) b)

Fig. 1. Micrografías ópticas de: a) Muestra *as-received*, y b) Muestra tratada térmicamente.

Luego, y previo a los ensayos mecánicos de tracción uniaxial, sobre estas muestras se llevó a cabo carga electrolítica de hidrógeno, mediante el método de permeación electrolítica con ánodo de grafito y densidad de corriente constante de 35 mA/cm^2 durante 3,5 h. Se utilizó una solución electrolítica 1N H_2SO_4, con el agregado de 0,25 g/L de $NaAsO_2$. Seguidamente, se consideraron dos grupos de muestras (por condición) que fueron ensayadas en una máquina de tracción universal, empleando velocidades de deformación variables, esto es, 3x10^{-3} s^{-1}, 3x10^{-4} s^{-1} y 3x10^{-6} s^{-1}, respectivamente.

Una vez finalizados los ensayos mecánicos de tracción, se realizó estudio fractográfico de las superficies de fractura por microscopía electrónica de barrido (SEM, LEITZ AMR 1000).

Finalmente, se analizó el comportamiento de desorción de H mediante ensayos de transferencia térmica en un calorímetro diferencial de barrido Shimadzu modelo DSC-60, desde temperatura ambiente hasta 600ºC, empleando una velocidad de calentamiento de 5ºC/min y una frecuencia de muestreo de 1 ºC s^{-1}.

Resultados y discusiones

En este apartado se harán explícitos los resultados de las principales propiedades mecánicas determinadas en las muestras de este trabajo, y se podrá establecer el rol que desempeña el H en la respuesta mecánica evidenciada.

En la Fig. 2 se muestra un resumen de la variación del límite elástico convencional (R_p) y de la resistencia a la tracción (R_m) con la velocidad de deformación, según sea la condición de la muestra. Para esto, se consideró un promedio de dos ensayos por muestra para cada velocidad de deformación, esto es, de 3x10^{-3} s^{-1}, 3x10^{-4} s^{-1} y 3x10^{-6} s^{-1}. Las muestras se identificaron como: AR3, AR4 y AR6 (muestras *as-received*), AR3H, AR4H y AR6H (muestras *as-received* con carga electrolítica de H). Luego, muestras TT3, TT4 y TT6 (muestras con tratamiento térmico), y finalmente, muestras TT3H, TT4H y TT6H (muestras con tratamiento térmico y posterior carga de H). El número que acompaña a cada identificación de muestras representa el valor del exponente de la base 10 con respecto a la velocidad de deformación, por ejemplo, la muestra AR3H se corresponde con una del tipo *as-received*, cargada electrolíticamente con H y ensayada en tracción a una velocidad de 3x10^{-3} s^{-1}.

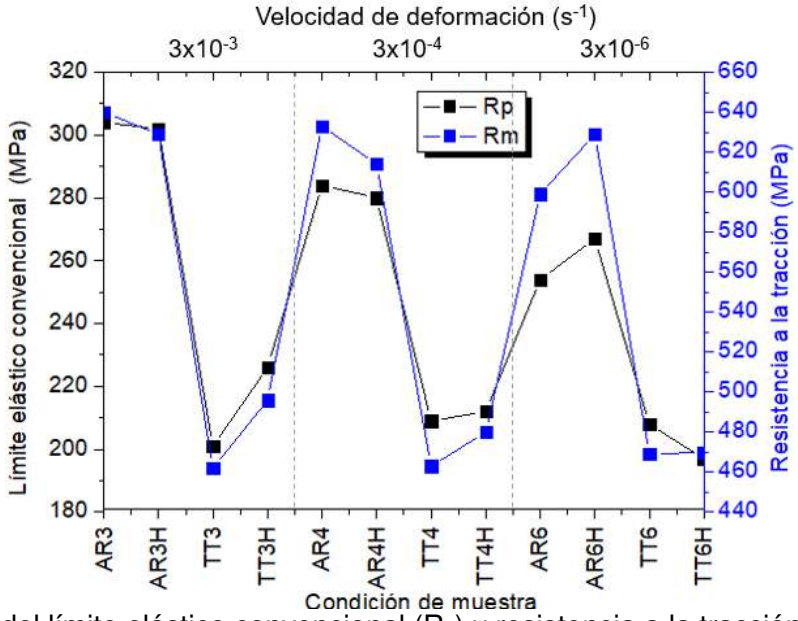
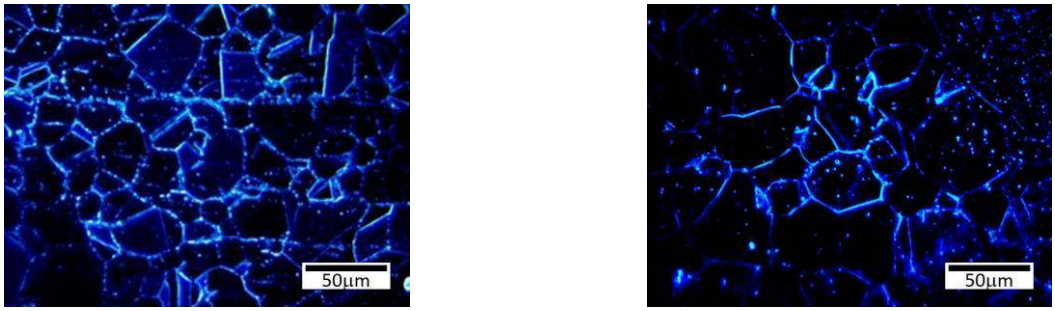


Fig. 2. Variación del límite elástico convencional (R_p) y resistencia a la tracción (R_m) del total de muestras ensayadas, considerando velocidades de deformación de 3x10^{-3} s^{-1}, 3x10^{-4} s^{-1} y 3x10^{-6} s^{-1}.

En primer lugar, haciendo un análisis de los resultados obtenidos del R_p y R_m, se observa que los valores de éstos para muestras en condición *as-received* (con y sin carga de H), son superiores a los que presentaron las muestras con tratamiento térmico (con y sin carga de H), independientemente de la velocidad de deformación considerada. Ahora, si se analiza la respuesta del material *as-received* con y sin carga de H se aprecia que al ensayar a la más baja velocidad de deformación (esto es, $3x10^{-6}$ s^{-1}) los valores de R_p y R_m de la muestra hidrogenada (AR6H) son un 5% superiores a los exhibidos por su par sin H (AR6). En cambio, en aquellas muestras hidrogenadas ensayadas a mayores velocidades, es decir, considerando velocidades de $3x10^{-4}$ s^{-1} y $3x10^{-3}$ s^{-1} (muestras AR4H y AR3H, respectivamente), los valores de R_p y R_m mostraron valores inferiores a los presentados por el material sin carga electrolítica de H (AR4 y AR3). Distinto es el comportamiento de las muestras con tratamiento térmico, los valores de R_p y R_m son menores en estas muestras respecto de aquellas en condición de *as-received*, independientemente de la velocidad de deformación, obedecen claramente a la acción del tratamiento térmico impuesto en el material.

En la Fig. 3b se observa mediante luz polarizada la menor cantidad de partículas de precipitados en bordes de grano austenítico en aquellas muestras con tratamiento térmico de sensibilización respecto del material en condición de partida (*as-received*), Fig. 3a.



a) b)

Fig. 3. Micrografía con luz polarizada en: a) Muestra *as-received*, y b) Muestra tratada térmicamente

Esta variación en la cantidad de precipitados podría haber dado origen a una disminución de los parámetros mecánicos considerados en estas muestras. Entonces, si se analiza la respuesta del material tratado térmicamente con carga de H respecto de su par sin carga, con respecto a los valores R_p y R_m, se aprecia que, a diferencia de lo que ocurre en muestras *as-received* (con y sin carga de H), aquí hay un aumento de los parámetros de R_p y R_m con las mayores velocidades de deformación, esto es, $3x10^{-3}$ s^{-1} y $3x10^{-4}$ s^{-1}. Sin embargo, cuando las muestras se ensayan a la velocidad más baja (esto es, $3x10^{-6}$ s^{-1}), el límite elástico convencional de la muestra con carga de H (TT6H) disminuye frente a su par sin H (TT6), y a su vez, la resistencia mecánica se mantiene prácticamente inalterada para ambas condiciones. Entonces, a modo de resumen, las mayores discrepancias en los valores de R_p y R_m (en condición *as-received* y con tratamiento térmico, con y sin carga de H) se determinaron para la velocidad de deformación más baja, esto es, $3x10^{-6}$ s^{-1}. Son varios los trabajos que reportan la dependencia de la velocidad de deformación con la respuesta mecánica de muestras de acero inoxidable autenítico AISI 316, con carga de H. Es así que, con velocidades de deformación altas, se inhibe la pérdida de elongación inducida por hidrógeno en muestras de este grado de acero inoxidable debido a la supresión del transporte de hidrógeno por las dislocaciones durante la deformación plástica, (Peral, 2021). Por el contrario, este mismo autor aclara que a baja tasa de deformación ($6x10^{-5}$ s^{-1}), el transporte de hidrógeno por las dislocaciones favorece la deformación local mejorada por hidrógeno (HELP – Hydrogen –Enhanced Local Plasticity mechanism) y provoca una fractura prematura de las muestras.

Otro de los parámetros determinados a partir de los ensayos mecánicos de tracción fue el alargamiento a la rotura (A) por condición de muestra (con y sin carga de H). De su análisis se pudo determinar que algunas muestras perdieron ductilidad por la presencia de H (es decir, se fragilizaron), y otras ganaron en plasticidad (ductilidad), como se aprecia de la Fig. 4.

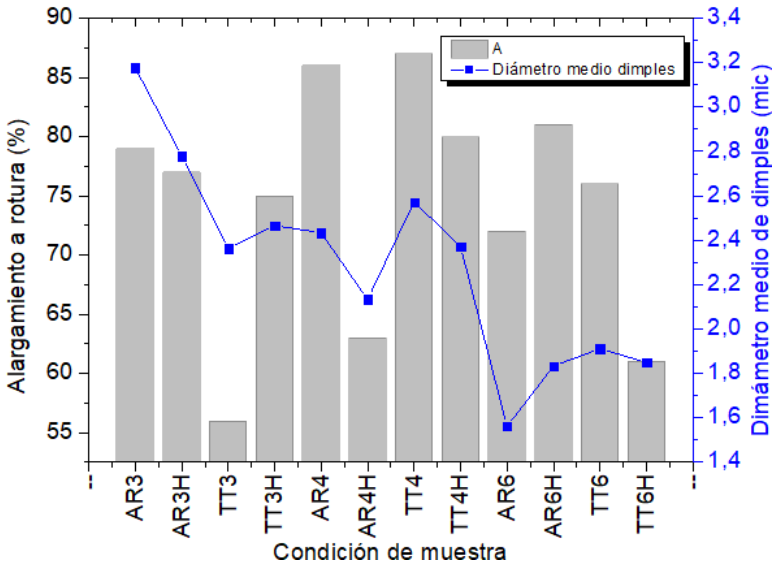


Fig. 4. Variación del alargamiento a la fractura con el tamaño medio de los dimples

Con relación a este último, tal es el caso de las muestras TT3H y AR6H respecto a sus pares sin H (TT3 y AR6). Ambas mostraron un aumento del alargamiento a la rotura, y por microscopía electrónica SEM se vincularon con las correspondientes superficies de fracturas que resultaron ser mayormente dúctiles, acompañadas por gran cantidad de dimples bien desarrollados, que crecieron y coalescieron bajo la carga de tracción hasta producir las típicas decohesiones microestructurales que originan la falla final del componente– Fig. 5 (a-b-c-d). Además, como se aprecia en estas imágenes, hay partículas de carburos determinadas por análisis EDS dentro de dimples, que habrían colaborado en el desarrollo del tipo de fractura hallado. Este aumento de la plasticidad ocasionado por la presencia del H también quedó evidenciado por un índice de fragilización por H con valor negativo, claro indicador de la ganancia en plasticidad adquirido por las muestras. Con respecto a las interacciones altamente complejas entre el hidrógeno y los defectos, el hidrógeno puede interactuar con vacancias (Nagumo, 2019 – Sugiyama, 2021), dislocaciones (Barnoush, 2010 - Wang, 2014) y bordes de grano (Wang 2016). Estas interacciones con vacancias y dislocaciones conducen a la activación de varios mecanismos de fragilización por hidrógeno “mediados por plasticidad” (Djukic, 2019), como, por ejemplo, la vacancia inducida por deformación mejorada por hidrógeno (HESIV) (Nagumo, 2023 – Nagumo, 2019) y la plasticidad localizada mejorada por hidrógeno (HELP) (Robertson, 2009), entre otros.

Tabla 2. Índice de fragilización por hidrógeno (I_{HE}) en las muestras ensayadas.

Velocidad de deformación (s^{-1})	ID Muestra	I_{HE} (%)
$3x10^{-3}$	AR3H	3
	TT3H	-34
$3x10^{-4}$	AR4H	27
	TT4H	8
$3x10^{-6}$	AR6H	-13
	TT6H	20

Sin embargo, con excepción de la muestra AR3H que no presentó prácticamente modificación del alargamiento respecto de su par sin H (AR3), en el resto de las muestras hidrogenadas, esto es, AR4H-TT4H-TT6H, se exhibió una brusca disminución del valor del alargamiento (aumento de la fragilización) a la rotura respecto de sus pares sin carga de H (AR4-TT4-TT6). Este comportamiento quedó definido por valores positivos y crecientes del índice de fragilización obtenido para cada una

de las condiciones analizadas, Tabla 2. Además, las superficies de fractura visualizadas con SEM mostraron fallas mixtas, del tipo dúctil-frágil en todas ellas (Fig. 5 e-f-g-h-i-j), donde si bien se identificó coalescencia de *voids* y *microvoids* en regiones del centro de las muestras con carburos asociados, en los bordes se determinó menor cantidad de éstos y evidencia de superficies planas de clivaje, que justificarían los menores valores de alargamiento en estas muestras hidrogenadas. En este sentido, de acuerdo con la literatura consultada, la formación de esos *voids* podría estar vinculada a un bajo contenido localizado de H en esas zonas de la muestra en aceros, sin embargo, para aleaciones de hierro, cromo y níquel, ese patrón podría estar relacionado con una disminución de la ductilidad provocada por H, (Caskey, 1981). Además, en todas estas muestras con carga de H, se observaron dimples poco profundos en la superficie de fractura, evidencia que justifica la presencia e interacción del H con la microestructura del acero inoxidable AISI 316L de este trabajo, aspecto que coincide con el manifestado por (Zhanh, 2012) en su trabajo acerca de la fragilización por H en aceros inoxidables austeníticos del tipo 316.

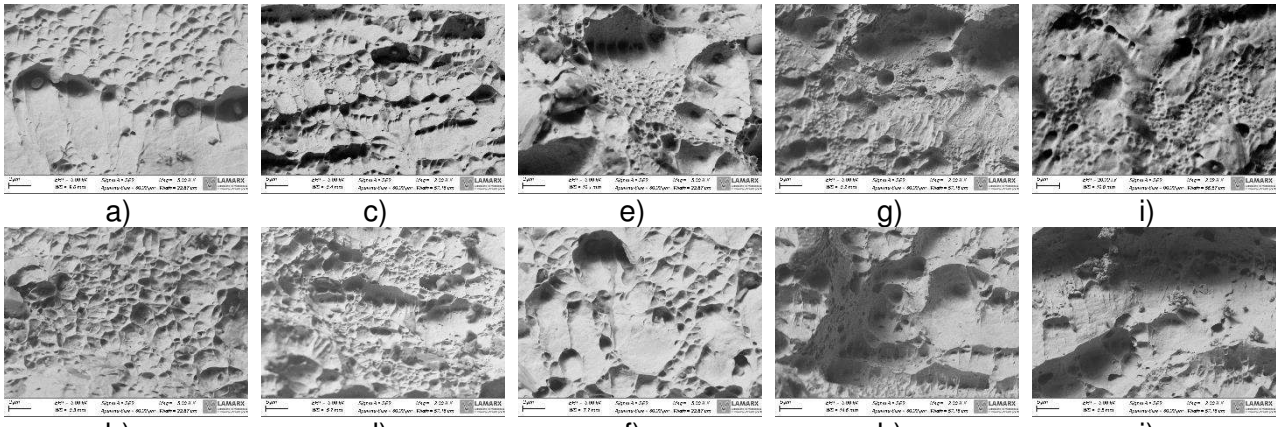


Fig. 5 – Imágenes SEM de la superficie de fractura de muestras: a) TT3 – b) TT3H, c) AR6 – d) AR6H, e) AR4 – f) AR4H, g) TT4 – h) TT4H, i) TT6 – j) TT6H.

Resulta interesante destacar que, además de la correlación hallada entre la fractografía y el índice de fragilización, también se determinó una importante relación entre el tamaño de los dimples y la presencia de H en las muestras. Aquí se pudo comprobar que, las muestras hidrogenadas (TT3H y AR6H), que exhibieron mayor ductilidad frente a sus pares sin carga de H (TT3 y AR6), presentaron un valor medio de dimples más grande. Y, por el contrario, aquellas muestras hidrogenadas con aumento de la fragilidad (AR4H-TT4H-TT6H), mostraron valores más chicos del tamaño de éstos con relación a sus pares sin H. La literatura consultada avala el efecto de que existe una variación en el tamaño y profundidad de los dimples en muestras con carga de H (Thompson, 1976), y que se suele acompañar de dimples poco profundos, evidencia que demarca la reducción en la ductilidad originada por el H en la microestructura del acero, (Jones de Guzman, 2017).

Además de toda la evidencia experimental aportada por este trabajo respecto de la acción del H frente al comportamiento mecánico del acero inoxidable AISI 316L, se pudo determinar que, en líneas generales, a medida que disminuye la velocidad de deformación, también lo hace el tamaño medio de los dimples, Fig 6. Este comportamiento se alinea con el manifestado por la literatura, para un acero inoxidable austenítico AISI 304LN.

Entonces, a los efectos de poder interpretar los sitios donde el H se encuentra atrapado, es decir la trampas de la red donde estuvo retenido/ocluido, se efectuaron ensayos de calorimetría diferencial de barrido en las muestras AR y con TT, ambas con y sin carga electrolítica de H. Posteriormente, se realizó la diferencia entre los valores de energías obtenidos entre las muestras ARH y AR, y luego entre TTH y TT, para poder dilucidar solamente los efectos del hidrógeno atrapado en estas muestras y se graficaron ambas, Fig.8.

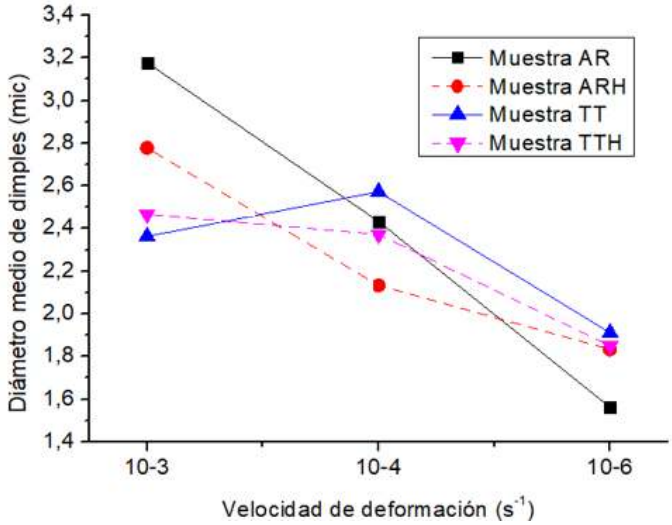


Fig. 6. Variación del tamaño de los dimples con la velocidad de deformación.

Del análisis de la Fig. 8a (muestra ARH) se distinguen zonas con picos de muy poca amplitud energética de desorción del H. Si ahora se considera la curva indicada como diferencia entre los valores energéticos entre ARH y AR, se aprecia que estos picos se encuentran a 200°C, 450°C y luego en el intervalo 500°C-600°C, sin embargo, es poca la energía de ligazón del H para con esas trampas asociadas, tal como se observa en la Fig. 8a. En contraposición, en la Fig. 8b, más precisamente en la curva que indica la diferencia de energías entre TTH y TT, se aprecia una gran similitud de temperaturas de desorción del H respecto de las encontradas en el material AR, pero en cambio, en las muestras con TT se pone en evidencia que estos picos (vinculados con el H atrapado) poseen mayores amplitudes, denotando esto, energías superiores a las presentadas por el H en las trampas del material AR. Es decir, y a modo de resumen, se distinguen tres zonas con presencia de picos bien marcados de absorción y desorción de energía en muestras tratadas térmicamente: de baja temperatura (entre 175°C y 240°C), moderada temperatura (entre 380ºC y 450ºC), y alta temperatura (entre 500°C y 600°C). De acuerdo con la literatura consultada, estas zonas se corresponden con distintos tipos de trampas, lugares donde el H queda anclado y luego afecta al comportamiento mecánico del acero inoxidable en servicio. Estas trampas se relacionan con liberación de H en: dislocaciones (picos de baja temperatura) y vacancias (moderada temperatura), (Fengjiao, 2021 – Todoshchenko, 2013).

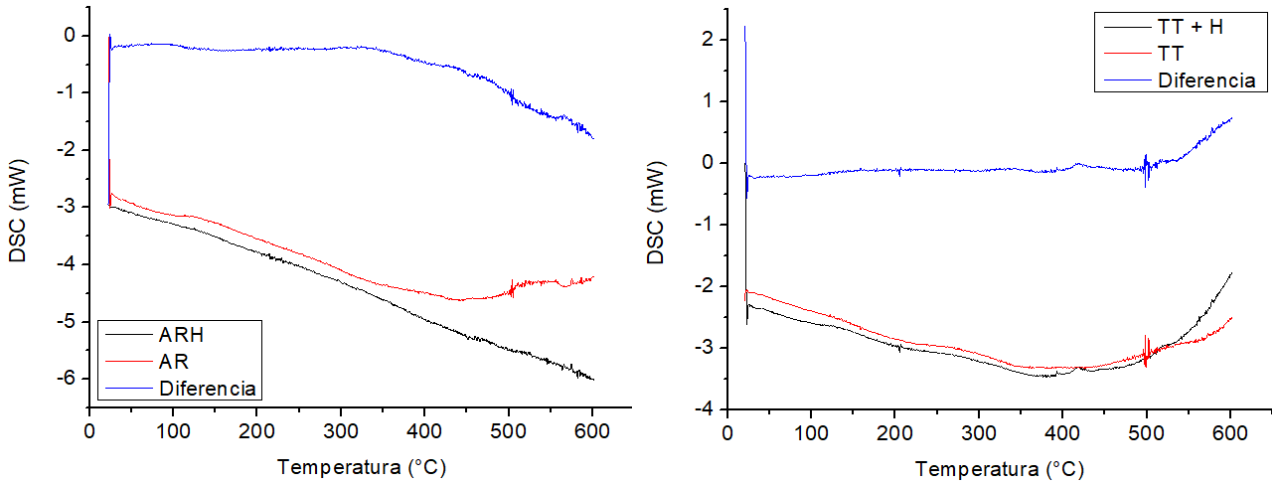


Fig. 8. Picos de absorción y desorción de energía para muestras con y sin H, en: a) Muestra AR, y b) Muestra TT.

Respecto de la zona de alta temperatura, se presentan picos de desorción, que según la literatura consultada sobre aceros inoxidables austeníticos, los autores atribuyen a carburos precipitados,

(Bacher, 2003). La interfaz entre los precipitados y la red de acero inoxidable es muy rica en sitios donde el H puede quedar atrapado. Los resultados que se muestran en la Fig. 8 permiten atribuir los picos hallados en la zona de mayores temperaturas a la eliminación del atrapamiento de hidrógeno por parte de los distintos tipos de carburos, carbonitruros y nitruros en las muestras de acero inoxidable austenítico AISI 316L tratadas térmicamente.

Para finalizar, se determinaron las energías asociadas con la desorción del H para los tres tipos de trampas en función de las condiciones del tratamiento de las muestras, empleando software del equipo de DSC. En la Tabla 3 se observa que las mayores energías de desorción están vinculadas con las partículas de precipitados (que de acuerdo con el análisis de DRX realizado, podrían ser $Cr_{23}C_6$, $MnMoN_2$, $(Fe,Ni)_{23}C_6$ y $(Cr,Mo)_2(C, N)$) y las dislocaciones.

Tabla 3. Energías asociadas con trampas de H.

Tipo de trampa	Zona de temperatura del espectro DSC	Energía (KJ/mol)
Dislocaciones	Baja	0,0017
Vacancias	Moderada	0,0011
Carburos	Alta	0,0023

Los resultados presentados hasta aquí, representan un elemento más para decir que el H alojado en el interior del material podría conducir a las variaciones de resistencia mecánica y al alargamiento con respecto al material en estado *as-received*. Esto sería así pues la más baja velocidad de deformación en tracción ($3x10^{-6}$ s^{-1}) permitiría una mayor difusión del H en la red de la austenita hacia regiones internas del material, comportamiento que coincide con el análisis fractográfico realizado a las muestras de este trabajo, en donde vinculó a las muestras hidrogenadas con superficies planas de clivaje, que justificarían los menores valores de alargamiento. Entonces, el H ingresado facilitaría el movimiento de las dislocaciones ocasionando plasticidad inducida por hidrógeno. Como resultado, el H atrapado y transportado por las dislocaciones aumentaría la concentración del mismo en las cercanías de los carburos, transformándose estas partículas en barrera para las dislocaciones, es decir acumulación de H, promoviendo entonces la formación de grietas, y posterior fractura del material.

Conclusiones

Se determinó que la presencia de H en las muestras (con y sin tratamiento térmico) indujo mayormente a problemas de fragilización, esto es, disminución del alargamiento a la rotura, comportamiento acorde con las imágenes SEM obtenidas con claros indicadores de fractura a través de planos de clivaje. Además, éstas presentaron índices positivos de fragilización y exhibieron un tamaño medio de *voids* sensiblemente menor (y menos profundo) al de sus pares sin carga de H. Esta modificación en la forma y tamaño de los dimples en muestras hidrogenadas podría corresponderse con la transición a un modo de fractura más frágil, como el evidenciado en gran parte de las muestras de este trabajo.

Referencias

Asmus, C. A. Inés, M. N., Mansilla, G. A. (2014). Determinación de la desorción térmica y liberación de hidrógeno en un acero de alta resistencia. Avances en Ciencias e Ingeniería, 5(1), 31-39. ISSN: 0718-8706.

Bacher, J. P., Benvenuti, C., Chiggiato, P., Reinert, M. P., Sgobba, S., Brass, A.-M. (2003). Thermal desorption study of selected austenitic stainless steels. J. Vac. Sci. Technol. A 21(1). 10.1116/1.1527953.

Barnoush, A., Vehoff, H. (2010). Recent developments in the study of hydrogen embrittlement: hydrogen effect on dislocation nucleation. Acta Mater, 58 (16), 5274–85. https://doi.org/10.1016/j.actamat.2010.05.057.

Bhadeshia, H. K. D. H. (2016). Prevention of hydrogen embrittlement in steels. ISIJ International, 56, 24–36. https://WOS:000370582400003.

Caskey, G. R. Microstructural Science, 9, 413-419, 1981.

Djukic, M. B., Bakic, G. M., Zeravcic, V. S., Sedmak, A., Rajicic, B. (2019). The synergistic action and interplay of hydrogen embrittlement mechanisms in steels and iron: Localized plasticity and decohesion. Engineering Fracture Mechanics. https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2019.106528.

Doshida T., Takai, K. (2014). Acta Mater. 79, 93.

Dos Santos, T. A. A., De Lima, M. M., Dos Santos, D. S., Buono, V. T. L. (2022). Effect of nano Nb and V carbides on the hydrogen interaction in tempered martensitic steels. International Journal of Hydrogen Energy, 47, 1358-70. 10.1016/j.ijhydene.2021.10.051

Fengjiao, Y., Te, Z., Kazuhiro, M., Qiu X., Yamin S., Qianqian, W., Runsheng, Y., Baoyi, W., Xingzhong Cao. (2021). Effects of dislocations and hydrogen concentration on hydrogen embrittlement of austenitic 316 stainless steels. Journal of Alloys and Compounds 876 160134. https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2021.160134.

Jones de Guzman, J. (2017). The Influence of Hydrogen on MS980, MS1180, MS1300 and MS1500 Martensitic Advanced High Strength Steels Used for Automotive Applications. The University of Queensland. Australia.

Lee, J., Lee, T., Mun, D. J., Bae, C. M., Lee, C. S. (2019). Comparative study on the effects of Cr, V, and Mo carbides for hydrogen-embrittlement resistance of tempered martensitic steel. Scientific Reports, 9, 5219. 10.1038/s41598-019-41436-2.

Lynch, S. (2012). Hydrogen embrittlement phenomena and mechanisms. Corrosion Rev 30, 105–23. https://WOS:000305586200002.

Nagumo, M. (2023). Fundamentals of hydrogen embrittlement. https://doi.org/10.1007/978-981-10-0161-1.

Nagumo, M., Taka,i K. (2019). The predominant role of strain-induced vacancies in hydrogen embrittlement of steels: Overview. Acta Mater, 165:722–33. https://doi.org/10.1016/j.actamat.2018.12.013.

Nagumo, M., Takai, K. (2019). The predominant role of strain-induced vacancies in hydrogen embrittlement of steels: Overview. Acta Mater 165:722–33. https://doi.org/10.1016/j.actamat.2018.12.013.

Peral, L. B., Fernández-Pariente, I., Colombo, C., Rodríguez, C., Belzunce, J. (2021). The Positive Role of Nanometric Molybdenum–Vanadium Carbides in Mitigating Hydrogen Embrittlement in Structural Steels. Materials 14(23):7269. 10.3390/ma14237269

Pressouyre, G. M. (1980). Trap theory of Hydrogen embrittlement. Acta Metall, 28. https://doi.org/10.1016/0001-6160(80)90106-6.

Robertson, I., Birnbaum, H., Sofronis, P. (2009). Hydrogen effects on plasticity. Dislocations in solids 15, 249–93. https://doi.org/10.1016/S1572-4859(09)01504-6.

Sheng Chen, Y. et al. (2024). International Journal of Hydrogen Energy. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.04.076.

Shiba, K., Hirose, T. (2006). Fusion Eng. Des. 81, 1051.

Sugiyama, Y., Kurihara, N., Matsumoto, Y., Takai, K. (2021). The effects of interstitial hydrogen and carbon atoms and aging temperature on annihilation behavior of hydrogen-enhanced strain-induced vacancies in iron. Scripta Mater 202, 114031. https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2021.114031.

Thompson, A. W. (1976). Effect of hydrogen on behavior of materials, ed. by A. W. Thompson and I. M. Bernstein, TMS-AIME, 467.

Todoshchenko , O., Yagodzinskyy, Y. and Hänninen, H. (2013). Thermal Desorption of Hydrogen from AISI 316L Stainless Steel and Pure Nickel. Defect and Diffusion Forum Vol. 344 (2013) pp 71-77 Trans Tech Publications, Switzerland. doi:10.4028/www.scientific.net/DDF.344.71.

Wang, S., Martin, M. L., Sofronis, P., Ohnuki, S., Hashimoto, N., Robertson, I. (2014). Hydrogen-induced intergranular failure of iron. Acta Mater 69:275–82. https://doi. org/10.1016/j.actamat.2014.01.060.

Wang S, Martin ML, Robertson IM, Sofronis P. Effect of hydrogen environment on the separation of Fe grain boundaries. Acta Mater 2016, 107:279–88. https://doi. org/10.1016/j.actamat.2016.01.067.

Zhang, L., Imade, M., An, B., Wen, M., Iijima, T., Fukuyama, S., and Yokogawa, K.(2012). Internal Reversible Hydrogen Embrittlement of Austenitic Stainless Steels Based on Type 316 at Low Temperatures. ISIJ International, Vol. 52, No. 2, pp. 240–246.

ESTUDIO DEL IMPACTO SOBRE LA CALIDAD DEL AIRE DE CÓRDOBA DEBIDO A LAS MEDIDAS SOCIALES ASOCIADAS A LA PANDEMIA COVID-19

Cristian R. Ceberio[1], Franco Borghi[2], Eduardo G. López[2], Roberto C. Pepino Minetti[2]

[1]Facultad Regional San Francisco, Universidad Tecnológica Nacional,
Av. De la Universidad 501, 2400

[2]Centro de Investigación y Transferencia en Ingeniería Química Ambiental (CIQA),
Facultad Regional Córdoba, Universitaria Tecnológica Nacional,
Maestro López esq. Cruz Roja Argentina, X5016ZAA, Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina.

*Autor correspondiente: cristianceberio@gmail.com
Autores contribuyentes: elopez@ciqa.com.ar; rpm@ciqa.com.ar; franborghi01@gmail.com

Resumen

La pandemia por COVID-19, propició un escenario único de estudio ya que las medidas de confinamiento tomadas por muchos gobiernos para minimizar los contagios del SARS-CoV-2, generaron una disminución de la actividad antropogénica y, por ende, de la emisión de compuestos químicos a la atmósfera.

Con el propósito de evaluar el impacto de estas medidas sobre la calidad del aire de la ciudad de Córdoba, se estudiaron las fluctuaciones de las concentraciones de diferentes compuestos químicos (NO, NO_2, CO y O_3). Los mismos fueron analizados por una estación de monitoreo homologada por US-EPA perteneciente al Centro de Investigación y Transferencia en Ingeniería Ambiental (CIQA) de la FRC-UTN.

Según reportes emitidos por Google, durante la pandemia del 2020 se observó una disminución de la concurrencia a espacios públicos en torno al 80%. Debido a que estudios preliminares sobre la ciudad han demostrado un alto aporte de contaminantes provenientes de fuentes móviles, fue de relevancia caracterizar los cambios producidos sobre la calidad del aire bajo este nuevo escenario. Comparando las concentraciones anuales y tomando como base el año 2019 (pre-pandemia), se verificó una disminución en el NO_x del 39% en 2020 (pandemia) y del 40% en 2021 (post-pandemia) explicadas por fuentes móviles. Mientras que el CO se incrementó un 9% en 2020 y luego disminuyó un 5% en 2021. Sin embargo, se observó un incremento sostenido del O_3 de 26% en 2020 y de 47% en 2021, a pesar de lo ocurrido con sus precursores. El consumo natural de O_3 se produce al reaccionar NO para formar NO_2. Como la principal fuente de emisión de NO son los vehículos, al decretarse el aislamiento social, decreció la emisión de éste lo cual podría explicar la acumulación de O_3. Esto se validó con lo ocurrido en otros centros urbanos en el mundo.

Palabras clave: Córdoba, COVID-19, Contaminación atmosférica, Calidad de aire, Ozono.

Introducción

La contaminación del aire es una de las principales causas de riesgos para la salud, ya que incrementa la morbilidad y mortalidad de la población cada año. De acuerdo a un reporte emitido por la OPS en 2019 alrededor de 380.000 muertes prematuras en América se atribuyeron a esta problemática (OPS, 2019). Sus impactos ambientales incluyen episodios de lluvias ácidas, smog urbano, pero lo que es más importante y significativo, afecta la salud humana aumentando los casos de enfermedades cardiovasculares y respiratorias. La emisión de gases a la atmósfera por parte de las fuentes antropogénicas, son la principal causa de contaminación en ámbitos urbanos. Los principales contaminantes liberados a la atmósfera son los productos de combustión incompleta por parte de las fuentes móviles, donde el oxígeno en aire es insuficiente para oxidar a todo el combustible generando compuestos de oxidación intermedios y trazas de otros

contaminantes como los óxidos de nitrógeno (NO_x), hidrocarburos no quemados (HC), monóxido de carbono (CO) y, según la composición del combustible, pueden aparecer óxidos de azufre (SO_x) (Mateos et al., 2019). En este sentido, las Directrices de la Organización Mundial de Salud (WHO, por sus siglas en inglés) publicadas en 2021 sobre calidad del aire ofrecen una orientación general relativa a umbrales y límites para contaminantes atmosféricos claves que entrañan riesgos sanitarios. Estas Directrices se aplican en todo el mundo y se basan en la evaluación realizada por expertos de las pruebas científicas actuales concernientes a: material particulado fino y respirable ($PM_{2.5}$ y PM_{10}, respectivamente), ozono (O_3), dióxido de nitrógeno (NO_2), dióxido de azufre (SO_2) y CO (WHO, 2021). A su vez, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, considera a estos mismos contaminantes para establecer los estándares de aire ambiente que protegen la salud.

Por lo indicado previamente, debido a que los principales contaminantes atmosféricos se encuentran relacionados a las emisiones de fuentes móviles, resultó de interés científico evaluar el impacto de las medidas de confinamiento asociadas a la pandemia causada por el COVID-19 sobre la calidad del aire de la ciudad de Córdoba, Argentina.

La WHO notificó por primera vez la existencia del virus SARS-CoV-2 causante de la enfermedad COVID-19 el 31 de diciembre de 2019 en la ciudad de Whuan, China. Tiempo después, más precisamente el 7 de marzo de 2020, la WHO caracterizó dicha enfermedad como pandémica lo que representó un gran desafío para las autoridades para poder hacer frente a este virus que cobró la vida de muchas personas (WHO, 2020). La pandemia declaró una emergencia sanitaria mundial por lo que las autoridades se vieron motivadas a imponer medidas de bloqueo en las actividades, es decir, restricciones en el contacto social, negocios no esenciales, movilidad, etc. para aplanar la curva epidemiológica de contagio. Estas medidas de bloqueo tuvieron un gran impacto en la rutina diaria de las personas, como en el nivel de actividades de las industrias, lo que produjo una disminución en el tráfico vehicular y, en consecuencia, una reducción significativa en los niveles de contaminación del aire en todo el mundo durante el 2020 (Bherwani et al., 2020).

En Argentina, los primeros casos comenzaron a aparecer al iniciar el mes de marzo de 2020, ante lo cual, el Presidente Alberto Fernández anunció el decreto 297/2020 de necesidad y urgencia el 19 de marzo por lo que el país ingresó en una etapa de aislamiento social preventivo y obligatorio. Esta medida llevó a una reducción de la actividad productiva generando además una crisis financiera. Ante esta situación, la movilidad se redujo notablemente, lo cual quedó evidenciado en los informes aportados por Google, donde se puede encontrar el incremento o reducción de visitas a determinados lugares según la ubicación (Google COVID-19 Community Mobility Report, 2020). En la Figura 1 se puede observar la disminución en la concurrencia a distintos lugares en la ciudad de Córdoba tomando como línea de base enero-febrero 2020.

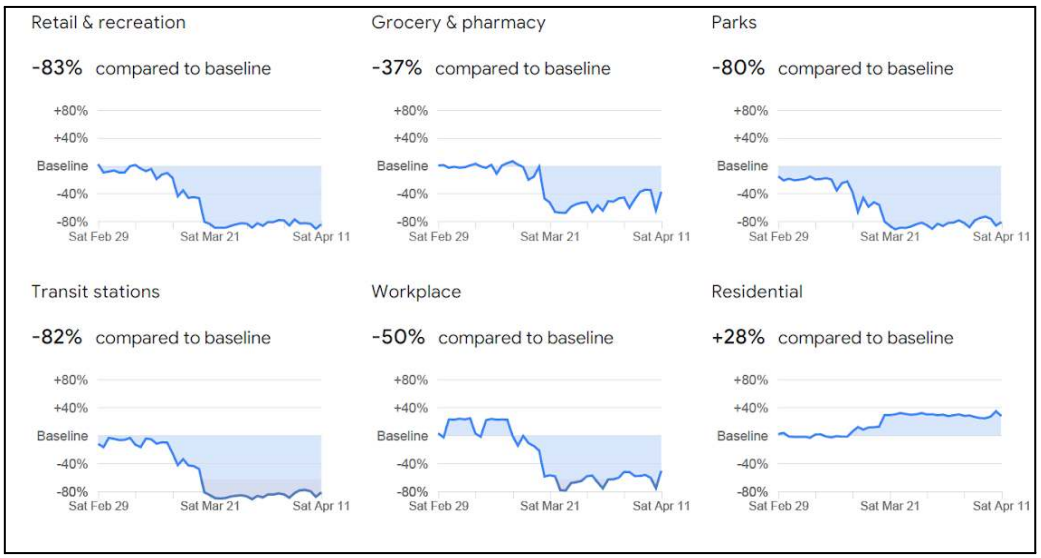


Fig. 1. Tendencia de la asistencia a diferentes lugares desde febrero hasta abril 2020 en Ciudad de Córdoba (fuente: Google, COVID-19 Community Mobility Report, 2020).

A nivel país, también se encontraron valores similares, con una disminución de 84 % de concurrencia a lugares de esparcimiento, 34 % en farmacias y almacenes, 80 % en parques, 67 % en estaciones de colectivos y 52 % en lugares de trabajo. En ambos casos, hubo un incremento en la movilidad residencial, siendo para Argentina en su conjunto un aumento del 27 % (Google COVID-19 Community Mobility Report, 2020).

Para el caso de la industria, según la Unión Industrial de Córdoba (UIC), en julio de 2020 la actividad tuvo una caída del 64 % comparado con el mismo período de 2019 (UIC, 2020). A nivel país, si se analizan datos aportados por CAMMESA, también se observó una disminución en el consumo energético de las industrias lo que está estrechamente relacionado con el nivel de actividad. En la Figura 2 se presenta comparativamente el mes de Julio de 2020 y 2019 según el tipo de actividad. En todos los casos hubo una reducción (CAMMESA, 2020). De hecho, en julio de 2020 se registró el menor consumo energético de los últimos 7 años previos al 2020 tal como se muestra en la Figura 3 (CAMMESA, 2020).

RAMA	jul-20	jul-19	Variación GWh	Variación %
ALIMENTACIÓN, COMERCIOS Y SERVICIOS	1019	1146	-127	-11.1%
INDUSTRIAS (sin ALUAR)	1142	1299	-157	-12.1%
PETROLEOS Y MINERALES	179	196	-17	-8.7%
TOTAL (sin ALUAR)	**2340**	**2640**	**-301**	**-11.4%**

Fig. 2. Variación de consumo energético de Julio 2020 vs. Julio 2019 por rama (fuente: Reporte Cammesa, 2020).

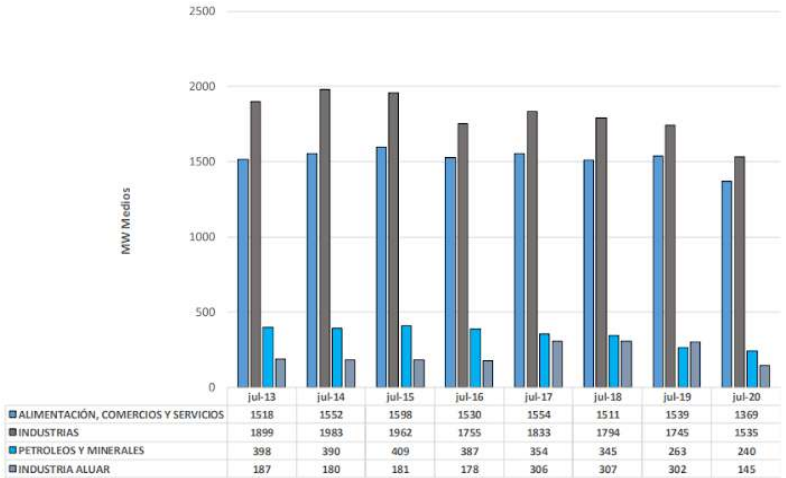


Fig. 3. Comparación de la demanda de Julio por rama desde 2013 a 2020 (fuente: Reporte Cammesa, 2020).

En las Figuras 1, 2 y 3 se muestra claramente una caída de la actividad antropogénica en su conjunto lo que supone una disminución en el aporte de contaminantes a la atmósfera. Esto fue evaluado y cuantificado mediante los datos generados por la estación de calidad de aire del centro CIQA en el período 2019-2021.

Muchos estudios realizados en diferentes partes del mundo han mostrado que la reducción de la actividad antropogénica colaboró en la mejora de la calidad de aire, de hecho, reportes

realizados a partir de observaciones satelitales (teledetección) de la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio de Estados Unidos y la Agencia Espacial Europea, han mostrado reducciones de las emisiones superiores al 30% en algunos epicentros (Rodríguez- Urrego, D. y Rodríguez-Urrego, L., 2020). La Alianza de Salud Pública Europea afirmó, por ejemplo, que en Italia y Francia se redujeron las emisiones de NOx como resultado de la disminución de la actividad económica y el transporte (Camargo-Caicedo et al, 2021).

Materiales y Métodos

El estudio se llevó a cabo con datos registrados por la estación de monitoreo continuo de la calidad de aire perteneciente a CIQA-FRC-UTN. Se discriminaron los datos en tres períodos: uno previo a la pandemia desde el 01 de enero de 2019 hasta el 29 de febrero de 2020, luego el periodo asumido como pandemia desde el 01 de marzo al 31 de diciembre de 2020 y un periodo posterior a la pandemia de COVID-19 comprendido para el año 2021. El objetivo de ello fue analizar diferentes estadios del aislamiento y compararlos tomando al año 2019 como línea base.

La estación de calidad de aire utilizada por CIQA se encuentra ubicada en el centro de la ciudad de Córdoba y cuenta con diversos instrumentos de medición que permiten analizar una amplia gama de compuestos (véase Figura 4 y 5). La estación se instaló en agosto de 2018 y una vez puesta en marcha de manera adecuada, comenzó sus mediciones a finales del año 2018. En la actualidad sigue operativa registrando las mediciones en una base de datos que acumula los promedios hora a hora. Se destaca que, para el caso del material particulado en suspensión, la estación midió desde su origen la fracción respirable (PM10) hasta julio de 2021 donde se adaptó el mismo equipo para medir la fracción fina (PM2,5), por lo que en la actualidad solamente se dispone de mediciones de PM2,5.

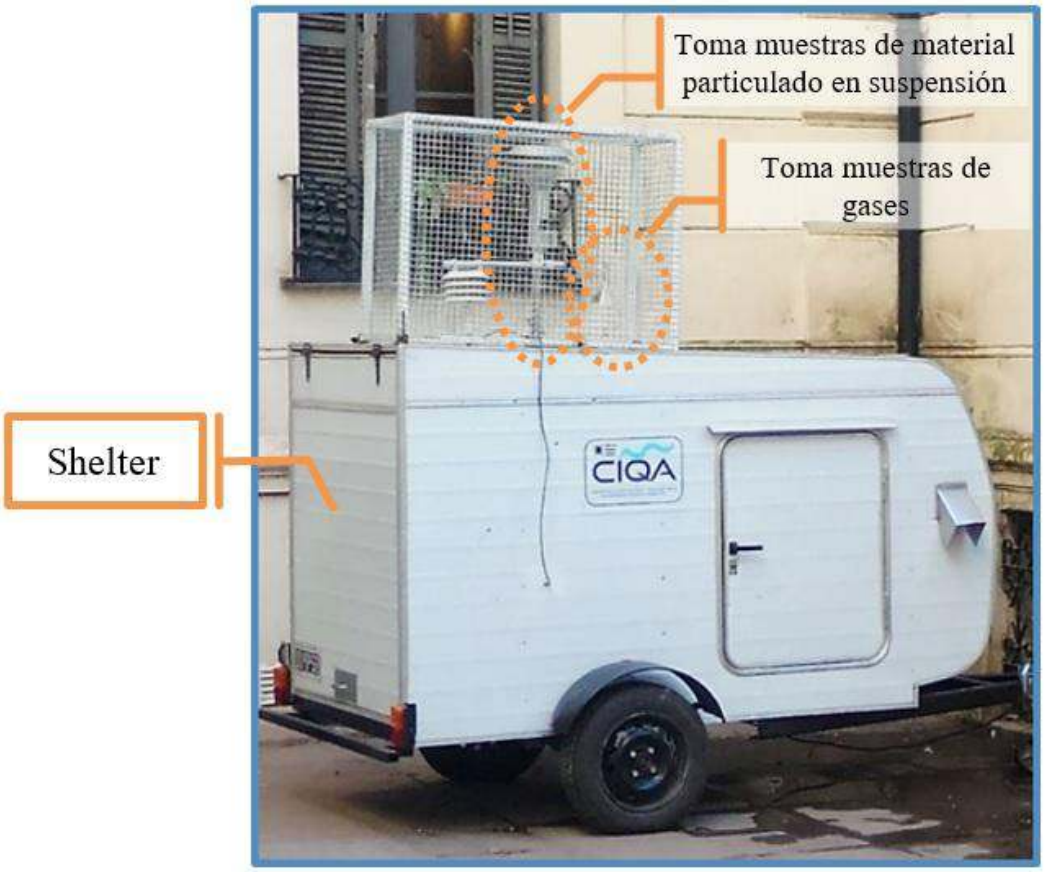


Fig. 4. Estación de monitoreo de Calidad de Aire en Córdoba. (Fuente: Pepino Minetti, 2020)

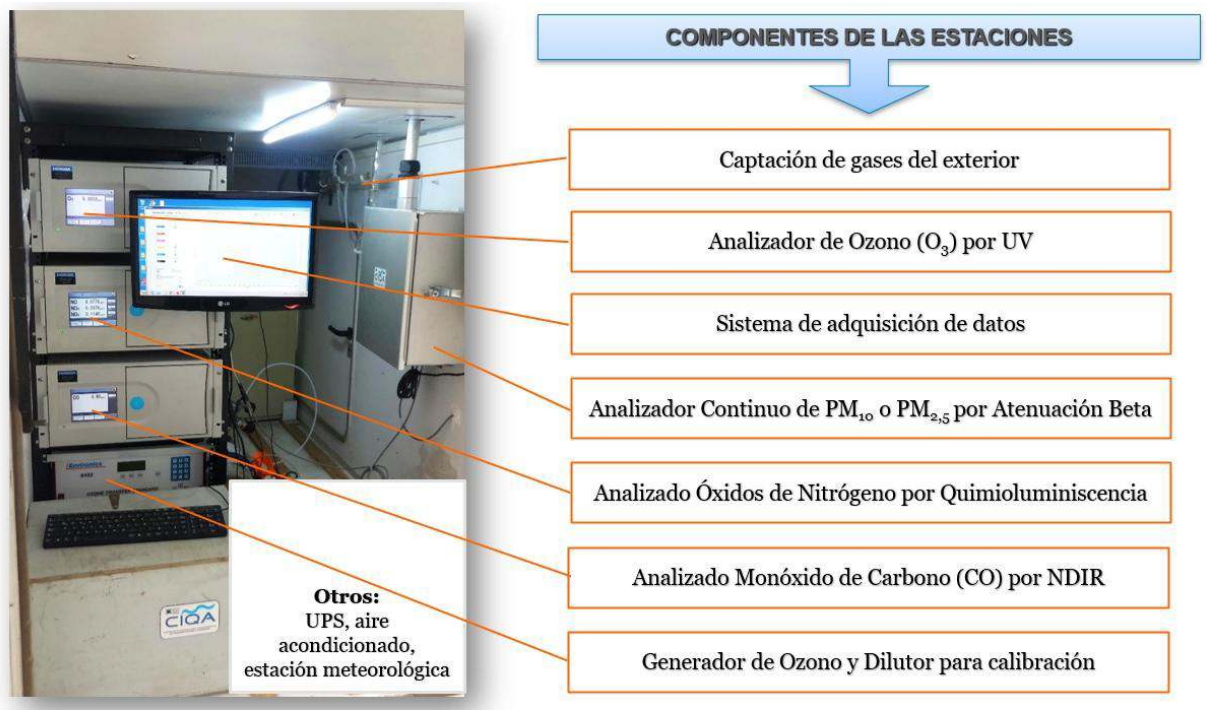


Fig. 5. Componentes de la Estación de monitoreo de Calidad de Aire en Córdoba. (Fuente: Pepino Minetti, 2020)

Los datos aportados por la estación se procesaron con herramientas estadísticas con el objetivo de estudiar el comportamiento de la química atmosférica en la ciudad de Córdoba bajo las tres condiciones indicadas, las cuales poseen diferentes niveles de actividad antropogénica.

Resultados y discusiones

En la Figura 6 se puede observar la evolución de los NOx en los períodos pre-pandemia, pandemia y post-pandemia. El gráfico representa la concentración promedio mes a mes, notando un claro descenso en 2020 que se mantiene al siguiente año.

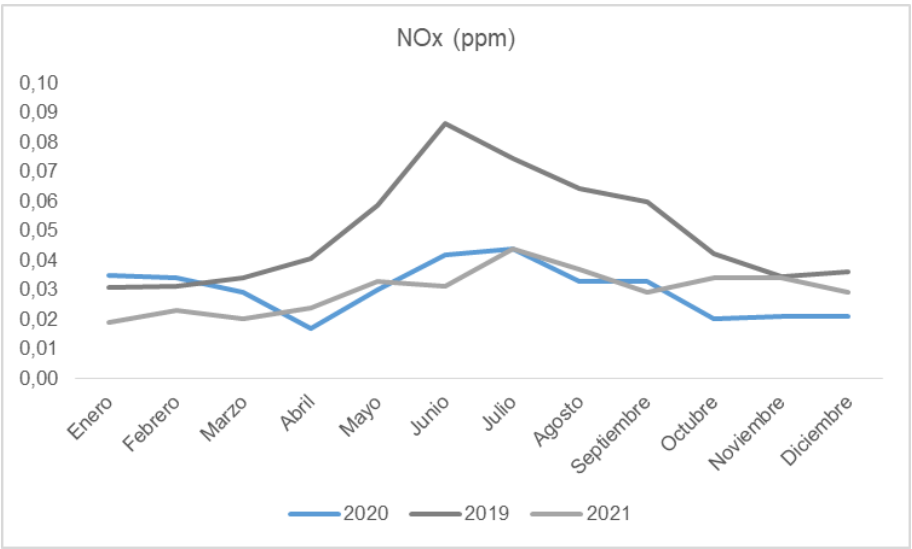


Fig. 6. Concentraciones promedios de NOx en la ciudad de Córdoba.

Tomando como línea de base el año 2019, la concentración de los NOx disminuyó un 39% en 2020 y un 40% en 2021. Con respecto a CO, se observa un leve incremento en 2020 con respecto a 2019 y en 2021 una disminución. La Figura 7 muestra la concentración de CO en los diferentes períodos. La vida media ambiental de los NOx se encuentra en la escala de horas a días mientras

que el CO asciende a escala de semanas. Por ello, la estación de monitoreo registró rápidamente la disminución en las concentraciones de NOx. Se infiere que la disminución de NOx disponible evitó la pronta oxidación de CO permitiendo su posterior acumulación. A ello se suma que el año 2020 registró el récord de eventos de incendios y áreas afectadas en la provincia de Córdoba (La Voz, 2024). Durante la quema forestal se produce una combustión ineficiente a bajas temperaturas lo que propicia la formación de CO sin presencia de NOx como producto. Esto podría estar influenciando el aumento visualizado en la Figura 7.

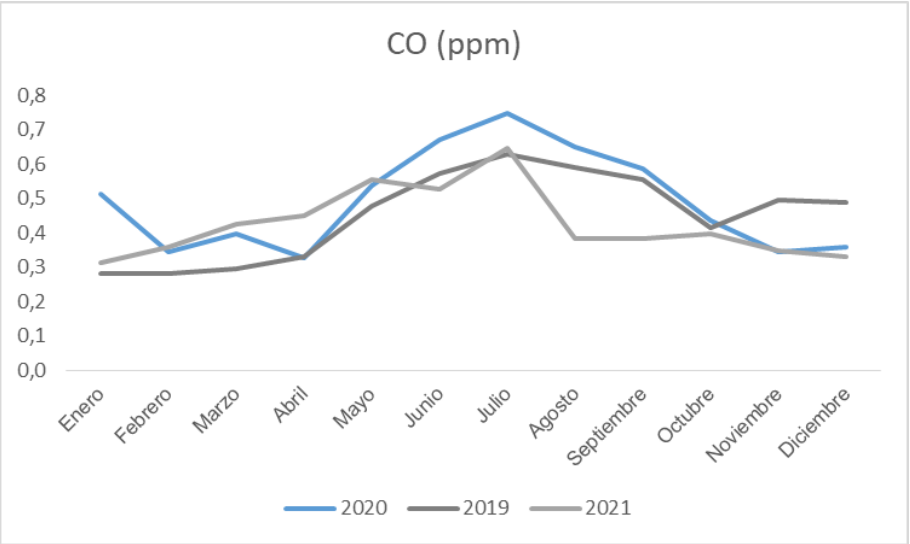


Fig. 7. Concentraciones promedios de CO en la ciudad de Córdoba.

Con respecto al O_3, a pesar de la disminución alcanzada por sus precursores, se observó un incremento del 26% en 2020 y del 47% en 2021 con respecto al año base 2019. En la Figura 8 se grafica su concentración promedio mensual. Dado que su aumento se mantiene a pesar de la disminución de NOx, indica que existen otros mecanismos que estén aportando a su formación.

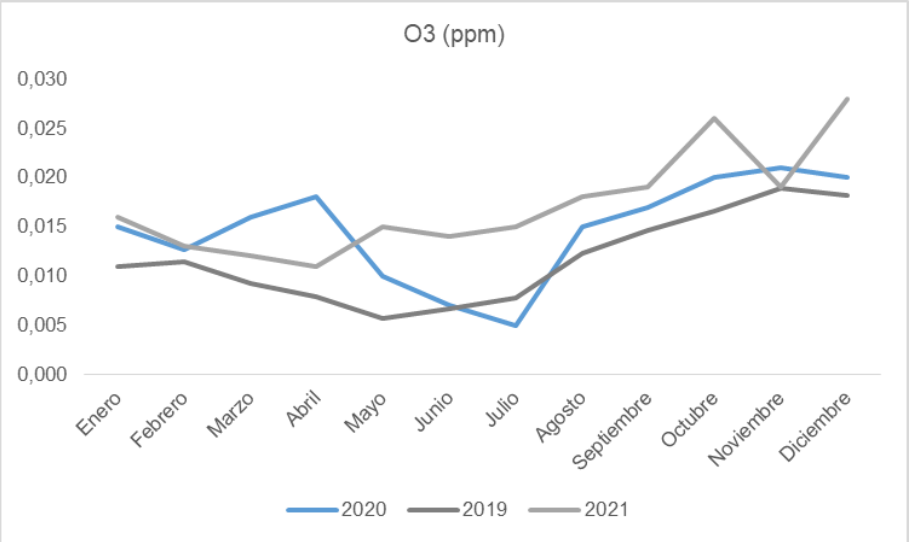


Fig. 8. Concentraciones promedios de O_3 en la ciudad de Córdoba.

Para establecer si existen diferencias estadísticas en los diferentes años con respecto a las especies químicas aquí analizadas, se realizó una prueba z. Para ello se analizan 2 hipótesis que se oponen, la hipótesis nula y la alternativa:

H_0: la hipótesis nula consiste en la igualdad de las medias en las muestras.

H_1: la hipótesis alternativa consiste en el rechazo de la hipótesis nula.

H_0: $\mu_1 = \mu_2 \Rightarrow \mu_1 - \mu_2 = 0$

H_1: $\mu_1 \neq \mu_2 \Rightarrow \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Para esta prueba se debe calcular:

$$z: estadístico\ de\ prueba = \frac{x_1 - x_2}{\sqrt{\frac{Sc^2}{n_1} + \frac{Sc^2}{n_2}}}$$

donde:

$$Sc^2: varianza\ común: Sc^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

$x_{1,2}$: $promedio\ de\ las\ muestras$

n: $cantidad\ de\ elementos\ de\ cada\ muestra$

S^2: $varianza$

gI: $grados\ de\ libertad = n_1 + n_2 - 2$

α: $probabilidad = 0.05$

$z_{(1-\alpha/2).(n1+n2-2)}$ = valor crítico

Si z (estadístico de prueba) > $z_{(1-\alpha/2).(n1+n2-2)}$(valor crítico), se rechaza H_0

Si p-valor>0.05, se rechaza H_0

Para el procesamiento de datos se utilizó Infostat, un software estadístico desarrollado por la Universidad Nacional de Córdoba. Dicho programa permite evaluar vastas bases de datos lo cual fue útil en el presente estudio ya que se dispone de valores horarios día a día durante los tres años evaluados. En la Tabla 1, se resumen los resultados obtenidos con Infostat.

Tabla 1. Prueba 'z' sobre las especies químicas en estudio utilizando Infostat.

Variable	Grupo I	Grupo II	n(1)	n(2)	Media (1)	Media (2)	p-valor	H_0
NOx (ppm)	2019	2020	7975	7970	0,048	0,03	<0,0001	Rechazada
NOx (ppm)	2019	2021	7975	7045	0,048	0,03	<0,0001	Rechazada
O_3 (ppm)	2019	2020	8329	8446	0,012	0,015	<0,0001	Rechazada
O_3 (ppm)	2019	2021	8329	6759	0,012	0,017	<0,0001	Rechazada
CO (ppm)	2019	2020	8329	8446	0,452	0,494	<0,0001	Rechazada
CO (ppm)	2019	2021	8329	7219	0,452	0,433	<0,0001	Rechazada

Con los resultados obtenidos, se concluyó que existen diferencias estadísticas con un intervalo de confianza del 95% entre los valores de concentraciones de los componentes químicos en el período en estudio. Considerando como base el año 2019, en el caso de los NOx, se observó una disminución de la concentración media de 37% tanto en 2020 como en 2021. Para el CO, se encontró un incremento de alrededor del 9% en 2020 y una disminución del 4% en 2021. Curiosamente en el caso del O_3, los resultados mostraron un incremento del 25% en 2020 y 42% en 2021, a pesar de lo sucedido con uno de sus precursores. En este sentido, Shi et al. (2021) señalaron que los niveles de O_3 a nivel del suelo aumentaron entre un 2% y un 30% en 11 ciudades del mundo durante la pandemia.

Para entender esta particularidad resulta importante analizar la formación del O_3 a nivel troposférico, que se produce a través de la oxidación de CO y VOC´s, y cuyo mecanismo involucra la formación de NO_2 (Brasseur and Jacob, 2017):

$$CO + OH \longrightarrow CO_2 + HO_2$$

$$HO_2 + NO \longrightarrow NO_2 + HO^-$$

$$NO_2 + O_2 \xrightarrow{h\nu} NO + O_3$$

Para el caso de VOC´s la secuencia de reacción es similar, pero con radicales RO_2 reaccionando con NO.

De acuerdo con este proceso de formación, resulta interesante ver lo que sucede con el O_3 durante la etapa de pandemia y pos pandemia a pesar de observarse un marcado descenso en uno de sus precursores, los NOx. Para poder explicar este comportamiento se debe tener en cuenta las reacciones químicas que intervienen en el descenso del ozono troposférico:

$$O_3 + h\nu\,(\lambda < 320nm) \rightarrow O^* + O_2$$

$$O^* + H_2O \rightarrow 2OH$$

$$O_3 + OH \rightarrow HO_2 + O_2$$

$$O_3 + HO_2 \rightarrow OH + 2O_2$$

Aquí juegan un papel fundamental los radicales oxidrilos que compiten con NO para formar peróxidos en lugar de ozono:

$$HO_2^* + HO_2^* + M \longrightarrow H_2O_2 + M$$

donde M es una molécula inerte tal como O_2 o N_2.

En esta situación la concentración del ozono depende linealmente de la concentración de NO_x (régimen limitado por NO_x).

Por otro lado, en regiones donde la radiación UV es baja o se encuentran altos niveles de NO_x (régimen limitado por VOC´s) la formación de ácido nítrico conlleva a una disminución de los radicales oxidrilos:

$$NO_2 + OH + M \longrightarrow HNO_3 + M$$

En la Figura 9 se puede observar el modelo de cálculo de la concentración de ozono en función de las concentraciones de NO_x y VOC´s.

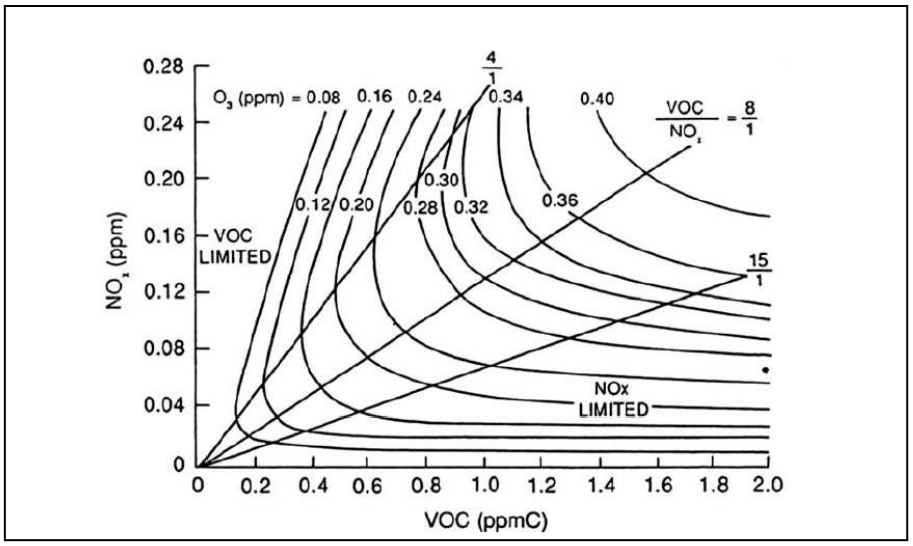


Fig. 9. Diagrama de isopletas de ozono que muestra la dependencia de su concentración con NOx y VOC´s. (Fuente: Brasseur and Jacob, 2017)

Lograr distinguir entre la región sensible a NOx y la región sensible a VOC´s es una de las mayores incertidumbres a la hora de realizar predicciones en cuanto a la relación entre el O_3 y sus precursores (Sanford Sillman, 2003). Campbell et al. (2021) indicaron que la disminución de las emisiones de contaminantes del aire en Estados Unidos, especialmente de NOx, produjeron disminuciones generalizadas en las concentraciones de O_3 en las regiones rurales que están limitadas por NOx, pero también algunos aumentos en centros urbanos que están limitados por VOC's.

Conclusiones

Se logró evaluar el impacto de la pandemia asociada al COVID-19 sobre la calidad del aire de la ciudad de Córdoba. Las restricciones generadas durante la pandemia por el virus SARS-CoV-2 redujeron notablemente las actividades antropogénicas, especialmente el transporte vehicular. Como consecuencia, en función de los óxidos de nitrógeno, la calidad del aire mejoró en Córdoba. Estos resultados fueron coincidentes con los reportados en otras partes del mundo según varios estudios realizados en torno a la pandemia.

En detalle, se halló que las concentraciones de NOx durante la pandemia cayeron un 37% respecto al 2019. Al año posterior, la tendencia se mantuvo representando en promedio un 37% menos del 2019. Esto demostró diferencias significativas ($p<0.05$) entre las medias de los años correspondiente a la pandemia y al año consecutivo.

El CO tuvo un aumento significativo en la pandemia ($p<0.05$). Se infirió que la mayor cantidad de eventos de incendios y el decaimiento del poder oxidante de la atmósfera (por disminución de los NOx) puede haber influenciado sobre ello. Luego, en el 2021, el CO decreció a valores similares a los pre-pandémicos. Aún así no fue suficiente para encontrarse dentro de las concentraciones correspondientes al intervalo de confianza del 95% para el año 2019.

En cuanto al O_3, sus niveles crecieron tanto en la pandemia como en el año posterior a pesar que los óxidos de nitrógeno, uno de los precursores de su formación, disminuyeron. Este fenómeno puede tener relación con las reacciones químicas producidas en el aire que involucran otros contaminantes como los VOC´s, de cuales se desconoce su concentración para predecir la región de sensibilidad química del ozono que predomina en la ciudad de Córdoba.

Referencias

- Bherwani, H., Nair, M., Musugu, K. et al. (2020). Valuation of air pollution externalities: comparative assessment of economic damage and emission reduction under COVID-19
- Brasseur, G., Jacob, D. (2017). Modeling of atmospheric Chemistry.
- Camargo-Caicedo, Y., Mantilla-Romo, L., Bolaño-Ortiz, T. (2021). Emissions reduction of greenhouse gases, ozone precursosr, aerosols and acidifying gases from road transportation during the COVID-19 lockdown in Colombia.
- Campbell, P., Tong, D., Tang, Y., Baker, B., Lee, P., Saylor, R., Stein, A., Ma, S., Lamsal, L., Qu, Z. Impacts of the COVID-19 economic slowdown on ozone pollution in the U.S. Atmospheric Environment, Volume 264, 2021.
- Cammesa (2020). Publicado en: https://microfe.cammesa.com/static-content/CammesaWeb/download-manager-files/Covid-%20Hist/EVOLUCI%C3%93N%20DE%20LA%20DEMANDA%20POR%20RAMA%20Y%20ACTIVIDAD%20-%20Julio%202020.pdf
- Google (2020). COVID-19 Community Mobility Report.
- La Voz (2024). Publicado en https://www.lavoz.com.ar/ciudadanos/incendios-en-cordoba-se-quemaron-41-mil-hectareas-en-2023-y-suman-12-millones-en-15-anos/#:~:text=Cotejando%20por%20a%C3%B1os%2C%20las%2041,de%20las%20%C3%BAltimas%20tres%20d%C3%A9cadas
- Mateos AC, Amarillo AC, Tavera Busso I, Carreras HA. (2019). Influence of Meteorological Variables and Forest Fires Events on Air Quality in an Urban Area (Córdoba, Argentina). Archives of Environmental Contamination and Toxicology.; 77(2):171-9.
- Organización Panamericana de la Salud (2019). Calidad de Aire. Publicado en https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire#:~:text=Los%20datos%20del%20Observatorio%20Mundial,en%20las%20Am%C3%A9ricas%20en%202019%20
- Pepino Minetti, R. (2020). Apuntes de clase Maestría en Ingeniería Ambiental, UTN.
- Rodríguez-Urrego, D., Rodríguez-Urrego L. (2020). Air quality during COVID-19: $PM_{2.5}$ analysis in the 50 most polluted capital cities in the world.
- Sanford Sillman (2003). Ozono troposférico, smog y sensibilidad del ozono a NOx y VOC´s.
- Shi, Z., Song, C., Liu, B., Lu, G., Xu, J., Van Vu, T., Elliott, R.J.R., Li, W., Bloss, W.J., Harrison, R.M. Abrupt but smaller than expected changes in surface air quality attributable to COVID-19 lockdowns. Sci Adv. 2021.
- World Health Organization. (2021). WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization. https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329.

HARPER v2: REDISEÑO DE PLATAFORMA DE HARDWARE PARA INVESTIGACIÓN EN AUDÍFONOS DE RANGO EXTENDIDO

Fermín Scaliti[1,*], Fabián C. Tommasini[1], Diego A. Evin[1,2], R. Martín Guido[1], Tomás Ramírez[1]

[1]Centro de Investigación y Transferencia en Acústica (CINTRA), CONICET, Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Córdoba, Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina.
[2]Laboratorio de Sistemas de Información, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Entre Ríos, Ruta Prov. 11 km 10, Oro Verde, Paraná, Entre Ríos, Argentina.
*fscaliti@frc.utn.edu.ar

Resumen

Los audífonos comerciales actuales presentan algunas deficiencias en la inteligibilidad del habla en ambientes sonoros complejos y en la localización espacial de fuentes sonoras. En el CINTRA, CONICET, UTN FRC, Argentina se comenzó con el desarrollo de una plataforma de hardware que brinde las prestaciones necesarias para realizar diferentes investigaciones sobre algoritmos que mejoren dichos aspectos aún no resueltos. Recientemente se presentó una primera versión de esta plataforma (llamada HarPer) con prestaciones superiores a las de los audífonos estándar: respuesta en frecuencia plana entre 200 y 16000 Hz, capacidad de capturar sonido mediante 8 canales analógicos de entrada, digitalizarlos, comunicarse con una unidad de procesamiento basada en un microcontrolador y reconvertir las señales procesadas a analógicas para su reproducción en 2 canales de salida (mediante auriculares). Sin embargo, luego de pruebas intensivas, ha evidenciado algunos comportamientos no deseados como ruido en banda de audio debido al modo de bajo consumo de modulación por frecuencia de pulsos y falla de arranque debido a la presencia de tensión positiva temprana, producidos, en parte, por limitaciones del circuito integrado inversor utilizado. Además, se encontraron dos errores de offset: en la entrada debido a una corriente de polarización elevada y luego del filtro correspondiente a la etapa de entrada. En el presente trabajo se muestra una optimización de dicha plataforma de hardware (HarPer v2) que, a través de un rediseño, permitió solucionar dichos problemas, añadir protecciones y nuevas funcionalidades. Esta versión cuenta con protecciones adicionales contra tensiones fuera del rango seguro de operación del conversor analógico-digital, se mejoraron las prestaciones en la salida de audio y se incorporó la capacidad para utilizar auriculares de salida de distintas impedancias.

Palabras Clave: Audífonos, electroacústica, procesamiento de señales de audio.

Introducción

El uso de audífonos es la forma más común de mitigar el efecto de pérdidas auditivas leves y moderadas. Sin embargo, los audífonos que actualmente se comercializan presentan algunas deficiencias, principalmente con lo relacionado a la inteligibilidad del habla en ambientes sonoros complejos y en la localización espacial de fuentes sonoras (Denk et al., 2018).

Algunos algoritmos propuestos en la literatura que podrían solucionar estos problemas requieren de características de hardware que no se encuentran presentes en los audífonos estándar, como por ejemplo, mayor número de canales de entrada/salida de sonido para algoritmos de estimación de la dirección de llegada del sonido basados en beamforming (Rascon & Meza, 2017), o una respuesta en frecuencia de un mayor rango. Por lo tanto, para poder investigar y realizar pruebas de la aplicación de dichos algoritmos en audífonos, resulta imprescindible contar con una plataforma de hardware que actúe como interfaz de sonido multicanal y posea capacidades de procesamiento con baja latencia.

En esta dirección, se ha publicado recientemente una primera versión de un desarrollo, llamado HarPer (Scaliti et al., 2023), que posee características que no se encuentran en los audífonos estándar: respuesta en frecuencia plana entre 200 y 16000 Hz, capacidad de capturar sonido de 8

canales analógicos de entrada, digitalizarlos, comunicarse con una unidad de procesamiento basada en un microcontrolador de STMicroelectronics y reconvertir las señales procesadas a analógicas para su reproducción en 2 canales de salida (mediante auriculares). Sin embargo, luego de pruebas intensivas, ha evidenciado algunos comportamientos no deseados.

En el presente trabajo se muestra una optimización de dicha plataforma de hardware (HarPer v2) que, a través de un rediseño, permitió solucionar dichos problemas, añadir protecciones y también nuevas funcionalidades.

Diseño de la plataforma de hardware

En general, la plataforma Harper posee una etapa de entrada, que para cada uno de los 8 canales está compuesto por la cadena esquematizada en la Fig. 1. Si bien esta etapa es similar para los 8 canales, dado que dos de los micrófonos son de tipo electret y los restantes seis de tipo MEMS (microelectromechanical systems), hay diferencia en las arquitecturas del amplificador y adaptador usados para ambos grupos. La etapa de salida se muestra en la Fig. 2, que se repite para cada uno de los canales (izquierdo y derecho) de unos auriculares. Además, cuenta con una etapa de potencia (Fig. 3) y una etapa de interfaz con el microcontrolador.

Fig. 1. Diagrama en bloques de la etapa de entrada.

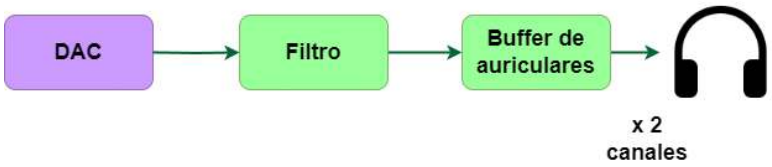


Fig. 2. Diagrama en bloques de la etapa de salida.

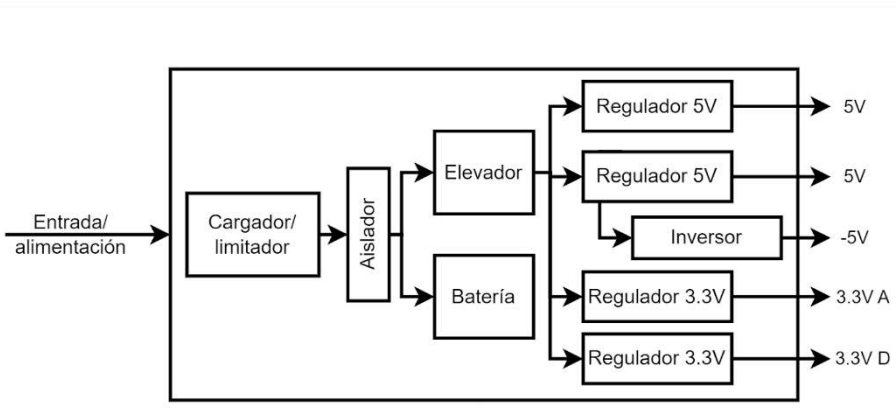


Fig. 3. Diagrama en bloques de la etapa de potencia. Extraída de Scaliti et al. (2023).

Como se mencionó, luego de realizar mediciones eléctricas, se han evidenciado algunos comportamientos no deseados que afectan la calidad y la precisión de los resultados.

Principales comportamientos no deseados y sus soluciones

Limitaciones con el inversor

El circuito integrado (IC, integrated circuit) inversor LM2776 de Texas Instruments, perteneciente a la etapa de potencia, presentó problemas de arranque. Aunque se desconoce la razón técnica, se ha podido corroborar que, cuando se alimentan amplificadores operacionales, la tensión positiva que llega a estos operacionales puede fugarse a través de la alimentación negativa de los mismos. Al estar esta entrada de alimentación directamente conectada a la salida negativa del inversor, puede forzar un valor positivo en esta salida, lo que puede ocasionar daños permanentes al LM2776.

Además, otro problema observado durante las mediciones fue la presencia de una componente no deseada en ~7 kHz que produce una distorsión armónica total de 24,8% en 1 kHz (Fig. 4). Esta señal podría estar relacionada con circuitos que trabajen en forma conmutada, como el elevador de tensión implementado mediante el circuito integrado IC MT3608 o los inversores basados en el mencionado LM2776.

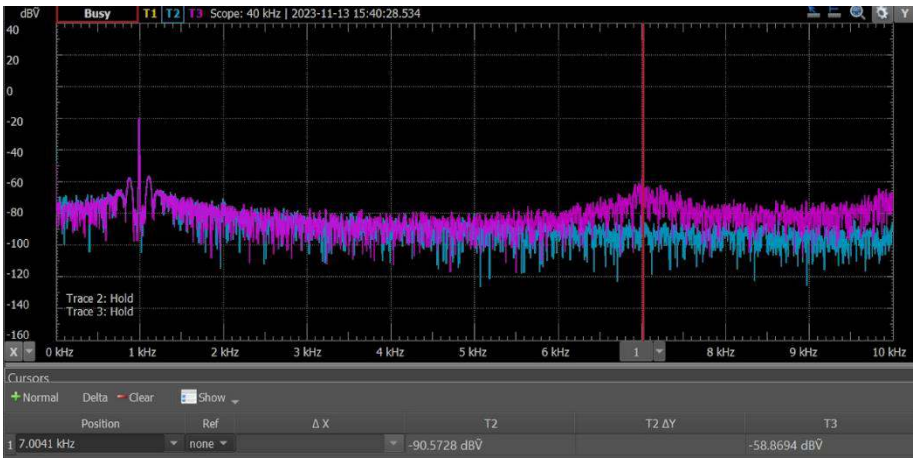


Fig. 4. Espectro de frecuencias de una señal de 1 kHz medida a la salida de la adaptación de impedancias. Se observa la importante componente de distorsión en ~7 kHz.

Dado que el MT3608 tiene una frecuencia de conmutación entre 0,8 y 1,2 MHz, no debería afectar a la banda de audio (20-20000 Hz). Sin embargo, el IC LM2776, que trabaja a una frecuencia de conmutación típica de 2 MHz, posee un modo de operación de bajo consumo realizando una modulación por frecuencia de pulsos (PFM, pulse-frequency modulation). Según el fabricante cuando la corriente de salida es inferior a cierto valor, la frecuencia de operación baja, y puede caer en el rango de frecuencias de audio (Texas Instruments, 2017). A medida que aumenta la carga, la frecuencia de pulsación aumenta hasta que vuelve a la frecuencia constante de 2 MHz. Para evitar el modo PFM se debe cambiar de IC por alguna opción que no tenga este modo de bajo consumo o que, en caso de presentarlo, su frecuencia esté limitada a un valor mayor a 20 kHz para no afectar la banda de audio.

Dado los problemas mencionados, en la nueva versión de diseño se optó por cambiar de IC inversor. Una de las soluciones recomendadas para evitar los problemas de arranque es utilizar otro IC con arranque seguro, por ejemplo, la familia TPS6040x. El diodo Schottky integrado en estos dispositivos evita que la salida se eleve por encima de GND durante el arranque, proporcionando un arranque definido y ahorrando espacio en la placa. La Fig. 5 muestra la corriente en una carga típica a una tensión dada.

Para evitar también el segundo problema indicado, se seleccionó el IC TPS60403, que opera a una frecuencia fija de 250 kHz y no utiliza PFM. Además, ofrece una salida regulada con bajo

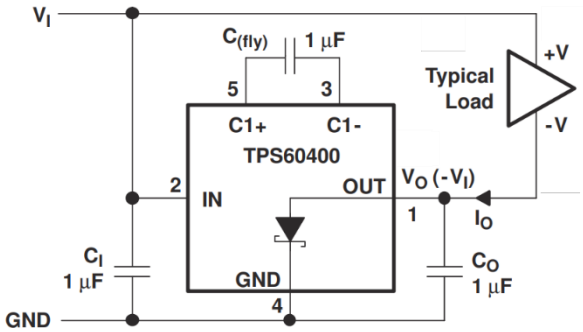


Fig. 5. Carga típica para un TPS6040x y diodo Schottky integrado para arranque seguro.

ripple. La única desventaja es su baja corriente de salida, por lo que la solución de compromiso implica usar más ICs que la alternativa con LM2776.

Offset de entrada por corriente de polarización

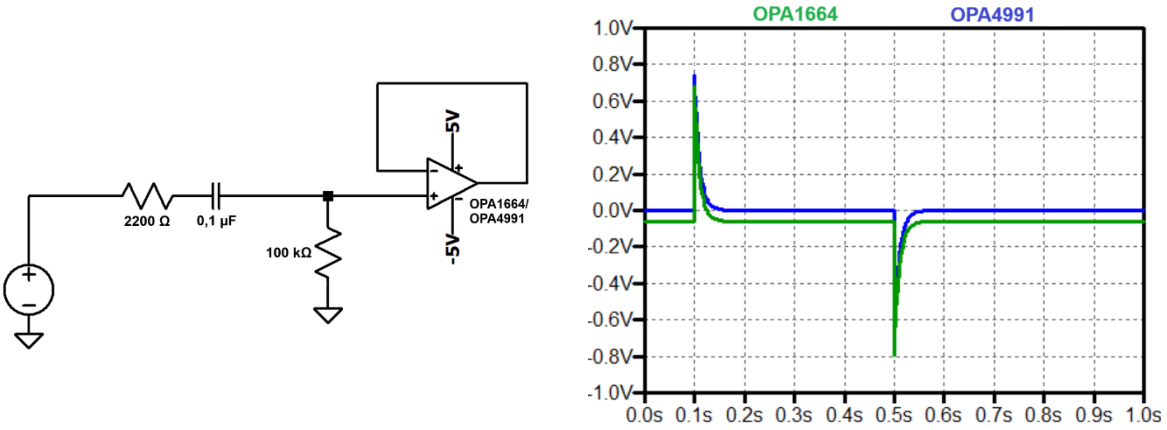
Los amplificadores operacionales con entradas basadas en transistores bipolares tienen relativamente una gran corriente de polarización de entrada fija. En el caso de los OPA1664 utilizados en el diseño anterior estas corrientes son de 600 nA. La corriente de polarización atraviesa impedancias externas y al hacerlo produce tensiones, lo que aumenta el error del sistema. De hecho si se utilizara un acoplamiento capacitivo sin ninguna resistencia para que esta corriente drene, el circuito no funcionaría, o si la corriente de polarización resultara suficientemente baja, podría funcionar momentáneamente mientras el capacitor se carga pero dejaría de funcionar al completarse la carga.

En el diseño anterior la resistencia que fija la impedancia de entrada del sistema (bloque de adaptación de impedancias de la etapa de entrada) era de 100 kΩ lo que provocaba una tensión debido a corrientes de polarización de 60 mV (600 nA * 100 kΩ). Este offset es crítico en este punto, dado que posteriormente se amplifica, introduciendo un error y disminuyendo el rango dinámico.

La solución a este problema es utilizar amplificadores operacionales con menor corriente de polarización de entrada, típicamente basados en tecnología CMOS (complementary metal-oxide-semiconductor). Considerando, además, el rango dinámico de entrada y salida, la cantidad de amplificadores operacionales por IC, la disponibilidad y el precio, se eligió el OPA4991, que tiene una corriente de polarización de entrada de ±10 pA.

En la Fig. 6a y 6b se observa el circuito y comportamiento del búfer de entrada implementado mediante el OPA1664 (diseño anterior) y mediante el OPA4991 (nuevo diseño) para un pulso que simula el encendido y apagado de un micrófono con tensión de offset de 0,69 V sin señal. Los valores del nivel de continua obtenidos de la simulación son de -59,5 mV para el OPA1664 y de 124 µV para el OPA4991.

Como se observa en la simulación de la Fig. 6b, los capacitores se cargan a nivel de corriente continua (DC), pero cuando se apaga el micrófono, liberan una carga negativa de igual amplitud a la tensión de operación de los micrófonos. Esta descarga puede potencialmente dañar el ADC. Por lo tanto, es recomendable implementar protecciones de rango dinámico de entrada para dicho componente, como una trampa Schottky (Schottky clamp) para cada entrada del ADC (Fig. 7). La resistencia entre el búfer y la trampa Schottky funciona como limitadora de corriente y su valor es una relación de compromiso entre la limitación de corriente sobre los diodos y el requerimiento de una baja impedancia de fuente vista por el ADC. En este caso se utilizó una resistencia de 82 Ω. Teniendo en cuenta que la diferencia de potencial en conducción del diodo es aproximadamente 0,3 V, las tensiones se recortan entre -0,3 V (GND - 0,3 V) y 3,6 V (3,3 V + 0,3 V).



(a) (b)

Fig. 6. a) Circuito de adaptación de impedancias implementado mediante un amplificador operacional OPA1664 y OPA4991. b) Simulaciones de los circuitos del OPA1664 y OPA4991 para un pulso de duración 0,4 s y de amplitud 0,69 V. Se observa la diferencia en el nivel de reposo dado por los diferentes offsets debido a corrientes de polarización de entrada distintas.

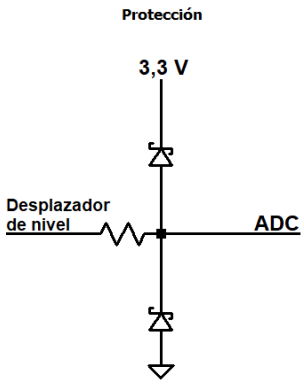
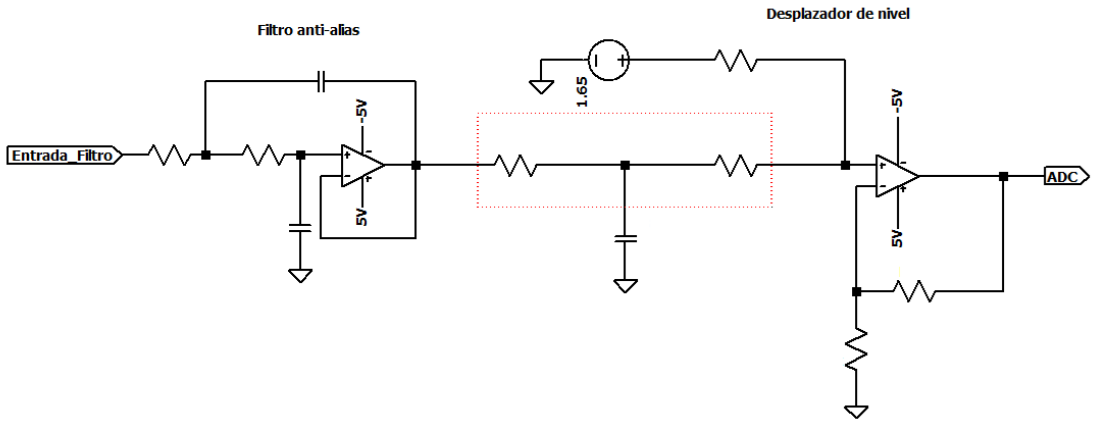


Fig. 7. Trampa Schottky para protección de rango dinámico del ADC. Las tensiones que recibe este último se limitan al rango comprendido entre -0,3 V hasta 3,6 V.

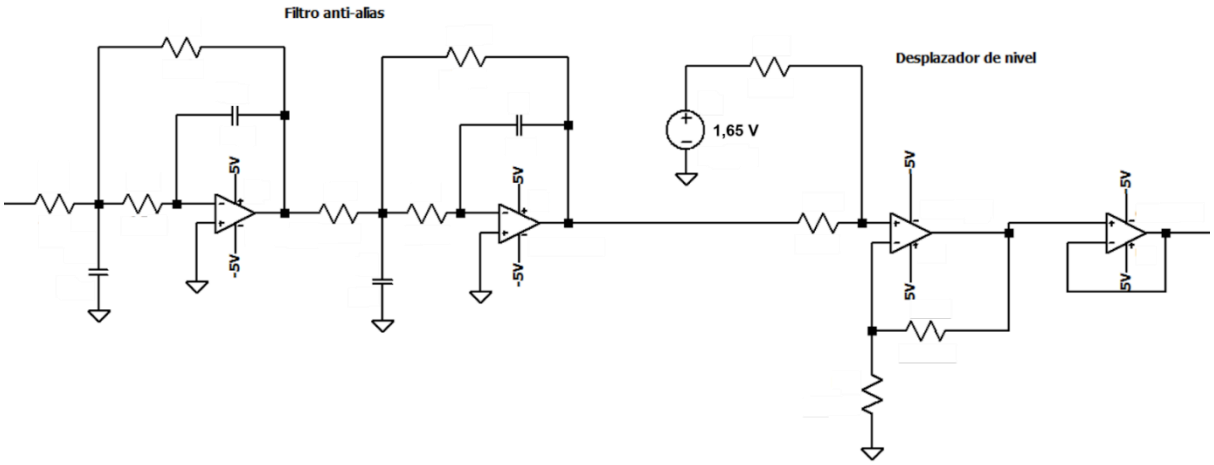
Offset a la salida del filtro de entrada

Otro problema detectado en la etapa de entrada durante las mediciones fue la presencia de un error de offset entre el filtro de entrada y el desplazador de nivel. El filtro de entrada de orden 3 estaba implementado mediante un filtro activo de orden 2 y un filtro pasivo (sin búfer). Este offset se producía porque la resistencia de salida del filtro, al estar conectada en serie, interactuaba con las resistencias del desplazador de nivel implementado mediante un amplificador sumador no inversor. Dado que las dos señales que se suman son la señal de audio y una señal continua de 1,65 V este cambio de resistencias provocaba un cambio en los pesos de la etapa sumadora, haciendo que el offset establecido deje de ser 1,65 V y que la ganancia neta de la señal de audio a la salida del sumador deje de ser 1. Además se producía un divisor resistivo entre las resistencias mencionadas con la tensión continua, agregando otro error de offset entre el filtro y el desplazador de nivel.

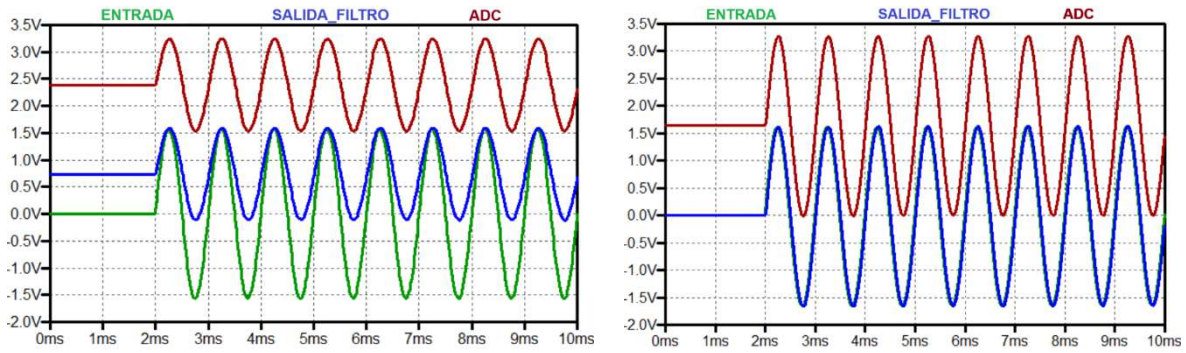
Para solucionar este problema se decidió usar una configuración en donde la señal de salida del filtro esté controlada por un amplificador operacional. Este es el caso para un filtro de orden cuatro que cumple con criterios específicos: ~30 dB de atenuación en la banda de rechazo (a partir de 48 kHz). En la Fig. 8 se compara la versión anterior (sin búfer y con filtro de orden 3) con el nuevo diseño (con búfer y un filtro de orden 4), junto a sus respectivas simulaciones.



a)



b)



c) d)

Fig. 8. a) Circuito de la versión anterior sin búfer entre filtro y desplazador de nivel y b) circuito de la versión actual con filtro de orden 4 con salida por amplificador operacional . c) Simulación con niveles de continua erróneos del anterior diseño. d) Simulación con niveles de continua corregidos. La señal “ENTRADA” es la señal que entra al filtro luego de ser amplificada, la señal “SALIDA_FILTRO” es la señal entre el filtro y el desplazador de nivel y la señal “ADC” es la señal antes de las protecciones de rango dinámico.

Otros comportamientos no deseados y sus soluciones

Cambio DAC por DAC de audio

En el diseño previo se utilizó un DAC de propósito general, específicamente el DAC8564 de Texas

Instruments. No obstante, en el rediseño se decidió implementar un DAC de audio con salida de corriente, el PCM1798 (Texas Instruments). En los DAC diseñados específicamente para audio, las características dinámicas, especialmente dentro de la banda de audio, son cruciales, mientras que las especificaciones de corriente continua adquieren una importancia secundaria. Además, se mantuvo la flexibilidad para agregar un DAC de audio PCM1793 (Texas Instruments) con salida por tensión. Ambas opciones pueden seleccionarse mediante la soldadura de resistencias de 0 Ω o “solder bridges” que forman el bloque selector. El diagrama de la etapa de salida de la plataforma HarPer v2 se puede observar en la Fig. 9.

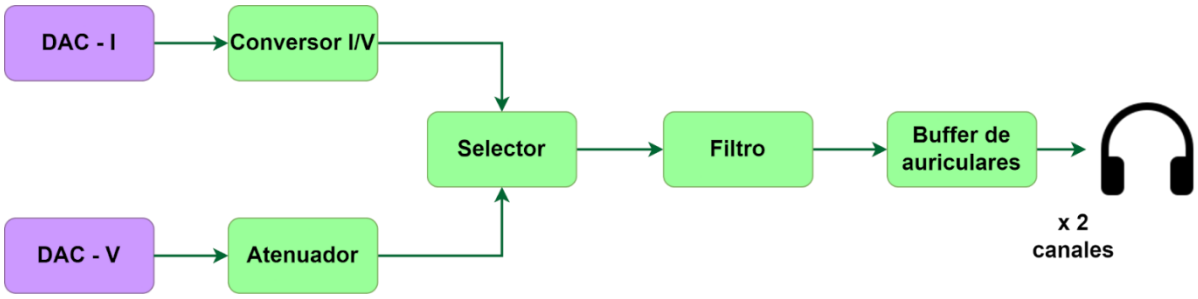


Fig. 9. Diagrama en bloques de la etapa de salida de la plataforma HarPer v2.

En la etapa de salida del DAC con salida de corriente (PCM1798), se requiere un conversor I/V para obtener el valor de tensión. Este conversor se implementa mediante el amplificador operacional NE5534, recomendado por el fabricante. La resistencia de realimentación se calcula para lograr una señal de 100 dB en la salida de auriculares cuando la salida del DAC está en su nivel máximo. Además, esta etapa funciona como una etapa de prefiltrado pasa-bajos con una frecuencia de corte aproximada de 59 kHz. También se incluye una derivación en paralelo que permite reducir la ganancia y mantener la frecuencia de corte de filtrado para casos en los que se desee utilizar auriculares con una impedancia cercana a 16 Ω en lugar de la impedancia típica de 64 Ω, seleccionable mediante un jumper.

Por otro lado, en el caso del PCM1793, se incorpora un atenuador calculado para obtener una señal de 100 dB en la salida de auriculares cuando la salida del DAC está al máximo. También se incluye una derivación que permite usar auriculares de menor impedancia, seleccionable mediante un jumper.

Rango de micrófonos

El rango dinámico de los micrófonos MEMS es de 71 dB, abarcando desde los 29 dB SPL (determinados por la relación señal-ruido) hasta los 100 dB SPL. Este último valor se ha determinado como el límite máximo de presión sonora que el dispositivo podrá soportar sin saturación. En el caso de los micrófonos Electret, el rango dinámico es de 76 dB, con un umbral inferior de 24 dB SPL y el mismo límite superior de 100 dB SPL sin saturación.

En la versión anterior, no se imponía este límite, por lo que la totalidad de los bits de digitalización del ADC se aplicaban sobre un rango mayor, perdiendo resolución en los niveles de interés.

Búfer en la salida del desplazador de nivel

Un cambio que se puede apreciar en el desplazador de nivel (Fig. 8) es el agregado de un búfer entre la salida del mismo y las protecciones del ADC.

En aplicaciones de ADC multiplexados sin búfer, es crucial mantener una baja impedancia de fuente a la entrada. La alta impedancia de fuente puede afectar el tiempo de carga del capacitor

de muestreo, lo que, a su vez, puede incrementar el error porcentual en las mediciones y provocar *crosstalk* entre canales adyacentes durante la conversión (Texas Instruments, 2004). Esta situación se puede mejorar colocando un búfer de tensión entre el desplazador de nivel y el ADC. El fabricante recomienda bajar la impedancia de entrada al ADC a decenas de Ohms (Microchip, 2021).

Nuevas funcionalidades y optimizaciones

Entrada opcional para micrófono digital

Una de las novedades más importantes fue la posibilidad de conectar un micrófono digital tipo INMP441 mediante la interfaz I2S. Esto amplía las capacidades del sistema y permite la captura directa de señales de audio.

Referencia de tensión

En cuanto a la referencia de tensión, se abandonó el enfoque previo basado en un divisor resistivo y un búfer. En su lugar, se implementó un circuito integrado de referencia de tensión de baja deriva. Este componente proporciona una fuente estable de 3,3 V, que se utiliza como referencia para los circuitos analógicos de los ADC, DACs y micrófonos. Además, este IC cuenta con una salida de tensión de 1,65 V que permite alimentar el desplazador de nivel. De esta manera, se logra que la señal de audio sea simétrica con respecto a este valor antes de ser digitalizada y que tanto el cero como la referencia de conversión sean estables.

Capacitores sin efecto piezoeléctrico

También se realizó un cambio crucial en los capacitores utilizados en el recorrido de la señal de audio. Se reemplazaron los capacitores con dieléctricos de clase 2 por capacitores con dieléctrico de clase 1. Los primeros presentaban el inconveniente del efecto piezoeléctrico, es decir, la capacidad de ciertos materiales para generar una carga eléctrica cuando se les aplica una variación mecánica o sonido, o, inversamente, deformarse e incluso emitir sonido cuando se les aplica un campo eléctrico. En contraposición, los capacitores clase 1 son estables frente a la temperatura y no sufren el mencionado efecto piezoeléctrico.

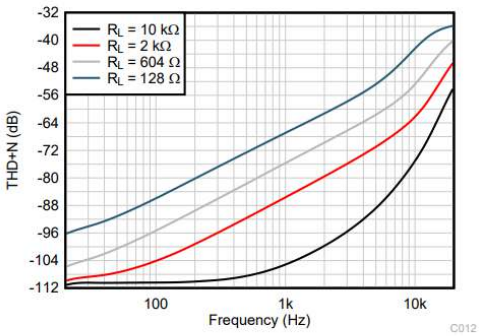
Driver de salida

Ante impedancias de carga más bajas, la distorsión aumenta, aunque no lo hace de la misma forma en un circuito con búfer implementado mediante un amplificador operacional de propósitos generales que en un circuito implementado con un IC específico para búfer de auriculares. La Fig. 10a muestra el desempeño de distorsión de un driver implementado mediante un amplificador operacional OPA4991, mientras que la Fig. 10b lo hace de un driver implementado mediante un OPA1656 seguido del buffer BUF634A. Se puede observar que la distorsión de este último es sensiblemente menor para bajas impedancias de salida.

Conclusiones

En este trabajo, se presentó la optimización de la plataforma de hardware denominada HarPer v2. Su función principal es recibir señales provenientes de 2 micrófonos electret y 6 micrófonos MEMS analógicos. A través de un proceso de rediseño exhaustivo, se lograron solucionar problemas previamente identificados y se incorporaron nuevas funcionalidades con el objetivo de mejorar su desempeño.

Uno de los desafíos iniciales estaba relacionado con el ruido en la banda de audio y la falla de arranque. Para resolver estos problemas, se reemplazó el circuito integrado por uno sin PFM y con arranque seguro.



BW = 80 kHz, V_{OUT} = 1 V_{RMS}

Figure 6-21. THD+N Ratio vs Frequency

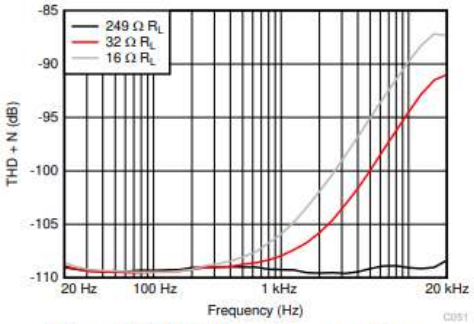


Figure 8-7. THD+N vs Frequency for a 5-V_{PP} (1.77-V_{RMS}) Input Signal

(a) (b)

Fig. 10. a) Distorsión armónica vs frecuencia para diferentes impedancias de carga de un búfer implementado mediante un OPA4991. b) Distorsión armónica vs frecuencia para diferentes impedancias de carga de un búfer implementado mediante OPA1656 seguido de BUF634A. Extraídas de Texas Instruments (2021, 2022).

Otro aspecto crítico era el error de offset en la señal de entrada. La corriente de polarización elevada generaba un offset no deseado. La solución consistió en sustituir el amplificador operacional por uno con una corriente de polarización significativamente menor.

Además, se abordó el offset a la salida del filtro antialias. Las resistencias del filtro interactuaban con el desplazador de nivel, provocando un offset en la señal de salida. Teniendo en cuenta la necesidad de cumplir con nuevos requisitos de atenuación en la banda de rechazo, la solución fue aumentar el orden del filtro a 4, de modo que la salida quedara controlada por un amplificador operacional, aislando así las resistencias y evitando el offset no deseado.

En cuanto a las mejoras y nuevas funcionalidades, se implementaron protecciones contra tensiones fuera del rango seguro del ADC. También se incorporó un búfer de salida de auriculares para optimizar las prestaciones de audio, garantizando una reproducción con baja distorsión aún para bajas impedancias de carga. Además, se reemplazó el DAC de propósito general por uno específico para audio. La ganancia del amplificador se ajustó para optimizar el rango dinámico del sistema. Adicionalmente, se incorporó un circuito integrado de referencia de tensión, más estable que la configuración de divisor resistivo seguido de búfer usada en la versión anterior. Por último, se reemplazaron capacitores con dieléctricos clase 2 por capacitores con dieléctricos clase 1 para evitar el efecto piezoeléctrico.

En resumen, la versión optimizada de HarPer v2 logra un mejor rendimiento, una mayor protección y versatilidad en la reproducción de audio. Estas optimizaciones permitirán futuros estudios sobre algoritmos destinados a mejorar el desempeño de audífonos y aplicaciones relacionadas.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Lucía D'Amelio por el apoyo técnico brindado. Este trabajo ha sido financiado por la Universidad Tecnológica Nacional, Argentina (PID 8663); el Ministerio de Ciencia y Tecnología de la Provincia de Córdoba, Argentina (Programa Jóvenes en Ciencia 0279-012610/2022) y la Acoustical Society of America (EE.UU.) a través del ASA International Student Grant.

Referencias

Denk, F., Hiipakka, M., Kollmeier, B., & Ernst, S. M. A. (2018). An individualised acoustically transparent earpiece for hearing devices. *International Journal of Audiology*, *57*(sup3), S62-S70. https://doi.org/10.1080/14992027.2017.1294768

Microchip. (2021). *MCP3464 Eight-Channel, 153.6 ksps, Low Noise, 16-Bit Delta-Sigma ADC* [Datasheet]. https://ww1.microchip.com/downloads/aemDocuments/documents/APID/ProductDocuments/DataSheets/MCP3461-2-4-Two-Four-Eight-Channel-153.6-ksps-Low-Noise-16-Bit-Delta-Sigma-ADC-Data-Sheet-20006180D.pdf

Rascon, C., & Meza, I. (2017). Localization of sound sources in robotics: A review. *Robotics and Autonomous Systems*, *96*, 184-210. https://doi.org/10.1016/j.robot.2017.07.011

Scaliti, F., Galfré, A. M., Dogliani, M., Salvanera, M. J., Guido, R. M., Evin, D. A., & Tommasini, F. C. (2023, diciembre 6). Plataforma de hardware para investigación en audífonos de rango extendido. *Actas del XVIII Congreso Argentino de Acústica AdAA 2023*.

Texas Instruments. (2004). *SPNA061—ADC Source Impedance*. https://www.ti.com/lit/an/spna061/spna061.pdf

Texas Instruments. (2017). *LM2776 Switched Capacitor Inverter* [Datasheet]. https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2776.pdf?ts=1723581339861

Texas Instruments. (2021). *BUF634A 36-V, 210-MHz, 250-mA Output, High-Speed Buffer* [Datasheet]. https://www.ti.com/lit/ds/symlink/buf634a.pdf?ts=17235644093103

Texas Instruments. (2022). *OPAx991 40-V Rail-to-Rail Input/Output, Low Offset Voltage, Low Noise Op Amp* [Datasheet]. https://www.ti.com/lit/ds/symlink/opa4991.pdf?ts=1723847861209

ESTRUCTURA DE PROCEDIMIENTO DE UNA UNIVERSIDAD INTELIGENTE SOSTENIBLE EN UNA RED SISTÉMICA INTERCONECTADA DE LA UNLP

Iván U. Ledoux[1]
Tutor: Ing. Luis C. Marrone[2]

[1]Facultad de Informática, UNLP, 50 esq. 115 s/n
[2]LINTI, Facultad de Informática, UNLP, 50 esq.120 s/n
iledoux@exactas.unlp.edu.ar

Resumen

En la actualidad el uso eficiente de energía es vital para el desempeño de las ciudades en crecimiento debido al gran consumo de recursos que estas requieren, es por ello que se invierte gran cantidad de capital en innovación tecnológica para su logística de producción, transporte, residuos, etc., debiendo de garantizar una calidad urbana medioambiental acorde a los tiempos actuales y en proyección a un futuro deseable. Es por ello que proyectamos la creación de una red virtual dentro de un sistema físico dependiente de la trama urbana de La Plata, con el fin de constituir una estructura que establezca las bases de una universidad inteligente sostenible que se perpetre en el tiempo.
Dicha red nos proveerá de información útil relacionada no solo a lo relativamente académico, sino también a información relevante de uso cotidiano para el desempeño de diversas actividades.

Palabras Clave: Universidad Inteligente de La Plata, Smart Campus, Optimización y Eficiencia Energética, TICs - IoT, Open Data

Introducción

Debido al salto tecnológico de las últimas décadas y a la disposición de los materiales necesarios para llevar adelante una propuesta que abarque todas las escalas, es que podemos elaborar una propuesta acorde a la proyección de la ciudad de la plata y de la cual tomamos parte, para mejorar la calidad de vida de la comunidad (innovando su eficiencia, revirtiendo el uso desmedido de recursos y previniendo la degradación ambiental) haciéndola participe activa de esta iniciativa.

El desarrollo de una universidad inteligente y sostenible dentro de una red virtual que se aferre a la trama urbana existente por medio del transporte público, nos da la premisa de impulsar una infraestructura sostenible con una base de control medioambiental, un acorde uso de recursos y la opción de incentivar a la comunidad a formar parte activa de las iniciativas que contribuyan del mejor modo posible con el medio, logrando abarcar todos los principios de un Smart & Sustentaible Campus; Los cuales se agrupan en los siguientes ejes: Gobierno, Economía, Medio Ambiente, Infraestructura, Recursos y Sociedad.

Para ello lo que haremos será monitorizar todos los datos obtenidos por medio de TICs-IoT (Tecnología de la Información y las Comunicaciones – Internet de las Cosas) y separarlos en 2 grupos; uno de Información que se brindará a la comunidad universitaria por medio de una PWA (Aplicación Web Progresiva) que se adecuara a cada móvil, tableta, pc. u otro; y otro de Mantenimiento a fin de optimizar una infraestructura que otorgue una mejoría en la calidad de vida de los usuarios.

Esto se realizara ofreciendo a la comunidad universitaria la información necesaria requerida para el desarrollo de las diversas actividades, así como la opción de ser partícipes activos de ellas, las cuales se desarrollaran en la universidad y fuera de ella con actores de la misma comunidad, ya que el desarrollo de economías alternativas en el ámbito universitario propondrá no solo la oportunidad de solventar algún gasto a los usuarios sino que también contribuiría con el medio ambiente, involucrando a toda la comunidad platense en su conjunto.

Análisis del Sector FODA

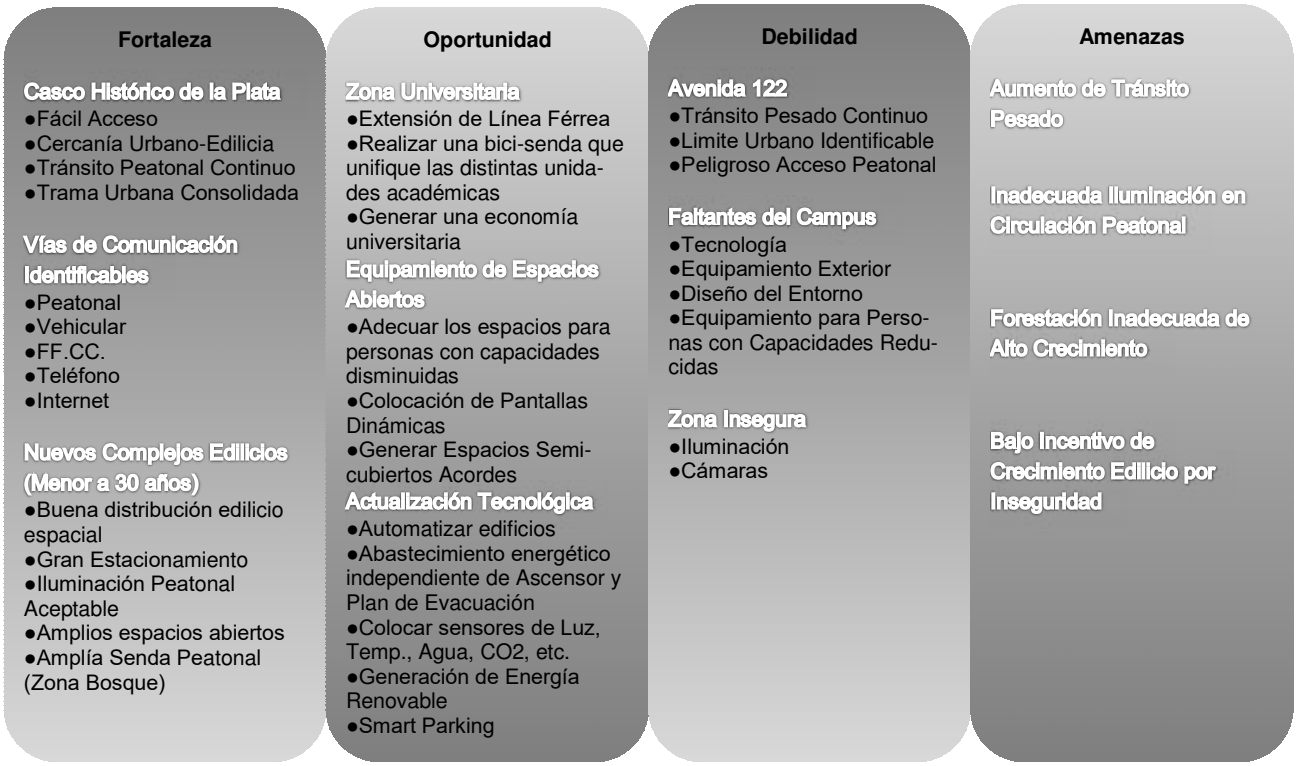


Fig. 1. Análisis FODA – Elaboración Propia

Objetivo

Realizado el FODA, el siguiente proyecto se centra en la estructuración de una red que se desprende del recorrido realizado por el transporte público (Línea Universitaria y Tren Universitario), conectando todas las unidades académicas situadas dentro del casco urbano a fin de establecer las interrelaciones de las distintas intervenciones a desarrollar dentro de la configuración de un espacio virtual, el cual se sustenta con la toma de grandes volúmenes de datos de los diferentes componentes que la conforman para desplegar los objetivos propuestos.

Destacamos el uso de tecnología para el desarrollo de cada proyecto individual no solo desde el punto de vista de la automatización, sino también del uso y generación de energía (para así poder emitir a la red la energía generada en momentos de receso). Si bien existen varios desarrollos de proyectos, los cuales forman parte de un todo que nos posibilita hacer uso de la tecnología a fin de establecer los parámetros de sostenibilidad mejor adoptados, nos centraremos en el desarrollo de uno de ellos, haciendo mención de los restantes ya que todos se encuentran asignados al mismo proyecto; y sus interrelaciones son de necesidad para avanzar en el desarrollo del propósito de un Smart & Sustentaible Campus (S&S CAMPUS).

Proyectos Conductuales S&S CAMPUS

- PWA S&S CAMPUS
- Extensión de Línea Férrea
- Generar una bici-senda conectora
- Nuevo recorrido de Línea Universitaria
- Generación de Energía Renovable
- Smart Parking dentro del Campus
- Optimización energética edilicia y de exterior
- Programa de Separación y Tratamiento de Residuos
- Promover actividades de Economías Alternativas

- Nuevo Rectorado Administrativo Inteligente
- Re significar Edificios Patrimoniales según Objetivo Sostenible

Estos proyectos se centran en los tres factores destacables de la innovación a fin de promover un desarrollo eficiente para una superior gestión, basada en el progreso de la actual tecnología y de la concientización en el tratamiento medioambiental.

- ✓ Gestión: La adecuación en los procesos informáticos nos permitirá agilizar y elaborar nuevas metodologías de trabajo dentro y fuera de la UNLP.
- ✓ Tecnología: La actualización de la infraestructura, optimización de recursos y generación energética priorizarán el nuevo modelo de universidad propuesto.
- ✓ Sostenibilidad: El tratamiento del entorno de los proyectos se fundamenta en la mitigación de CO2 dando lugar a regenerar una mejor calidad medio ambiental.

Habiendo elaborado los proyectos conductuales en relación a los propósitos programados, es necesario observar con un enfoque más amplio que nos proporcione una visión de la cualidad tecnológica, relacionando los objetivos y demostrando cómo se integran y combinan desde de las distintas trazas a la estructura de red.

Desarrollo de Objetivos Propuestos

Visto que la arquitectura conformada para este trabajo será la columna vertebral del mismo, abordaremos la propuesta PWA S&S CAMPUS a fin de explicar su desarrollo e interrelaciones ya que el objetivo de dicho trabajo corresponde tanto a la innovación tecnológica como a su sostenibilidad energética apoyada en una optimización de recursos que contribuya con el medioambiente y su entorno, adoptando las políticas internacionales actuales para tal cometido.

Toda programación relacionada a la automatización y/u optimización deberá de ser monitoreada de igual modo que los nodos sensores, los cuales se encontraran ubicados en los predios del S&S CAMPUS así como en la trama urbana de recorrido para transporte público; a su vez cada dependencia poseerá las facultades necesarias para permitir el ingreso de los vehículos que considere pertinentes.

Metodología de Aplicación de la Programación

Para llevar adelante la programación, se establece el uso de una plataforma con cuatro capas bien definidas, las cuales garantizaran el ingreso y egreso de datos confiables y seguros de *Cloud Computing* a fin de establecer un modelo a disposición de las aplicaciones y dispositivos conectados a Internet en una plataforma de servicios para mejorar el procesamiento, almacenamiento y análisis de los datos.

Desde *Fog Computing* o computación en la niebla (modelo de arquitectura distribuida) se busca extender las características del Cloud Computing, para acercar servicios, plataformas y capacidades de procesamiento y almacenamiento a los bordes de la red y a los nodos finales, procesando y almacenando en dispositivos y servidores ubicados en redes de la periferia o más lejanas. Genera una capa intermedia entre la red de borde privada y la nube pública, que sirve para obtener una respuesta del sistema más rápida y eficiente, debido a la reducción de las latencias de comunicación.

Con Respecto al *Edge Computing* (computación en el borde), este busca aprovechar la potencia de cómputo de los dispositivos que están en el borde de la red para colaborar con los nodos finales que generan los datos y aliviar las tareas de procesamiento de los servidores de capas superiores, ya que los servicios de la capa de Edge Computing son desplegados y configurados en routers, gateways y/o servidores, siendo su características: Procesamiento, Gestión de redes, Seguridad, Bases de datos, Plataformas y Visualización.

El *End Device* (dispositivo final) interactúa con el entorno físico en el que está desplegado. Estos dispositivos (nodo final, nodo IoT, nodo sensor, etc.) recolectan datos del ambiente y los envían.

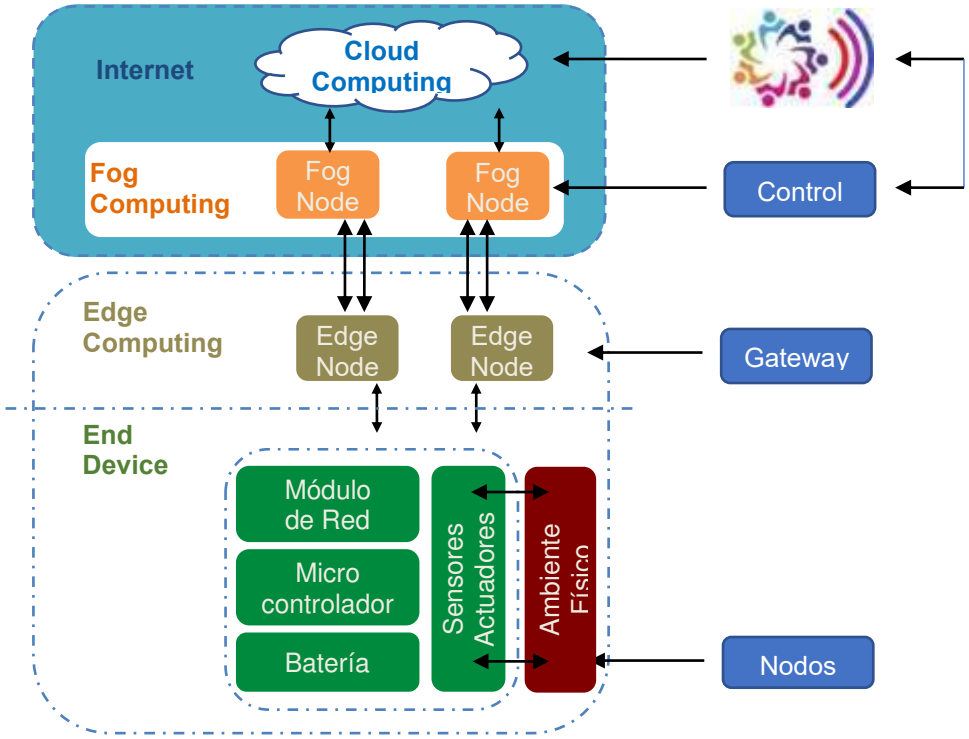


Grafico 1. Diagrama de Flujo de Datos

Tecnología de Innovación

Utilizaremos la herramienta Cupcarbon para el modelado basado en los datos obtenidos por los nodos IoT ubicados en el FF.CC. a fin de concertar el tiempo de llegada a las distintas estaciones, también se colocaran nodos IoT en los buses y paradas de colectivo de la línea universitaria para establecer su recorrido y tiempo de llegada a cada zona del casco. En iguales circunstancias se colocaran nodos IoT sobre las Avenidas y Calles con la intención de estar en conocimiento de la cantidad de vehículos que circulan cada X cantidad de segundos y conocer así su estado de congestionamiento.

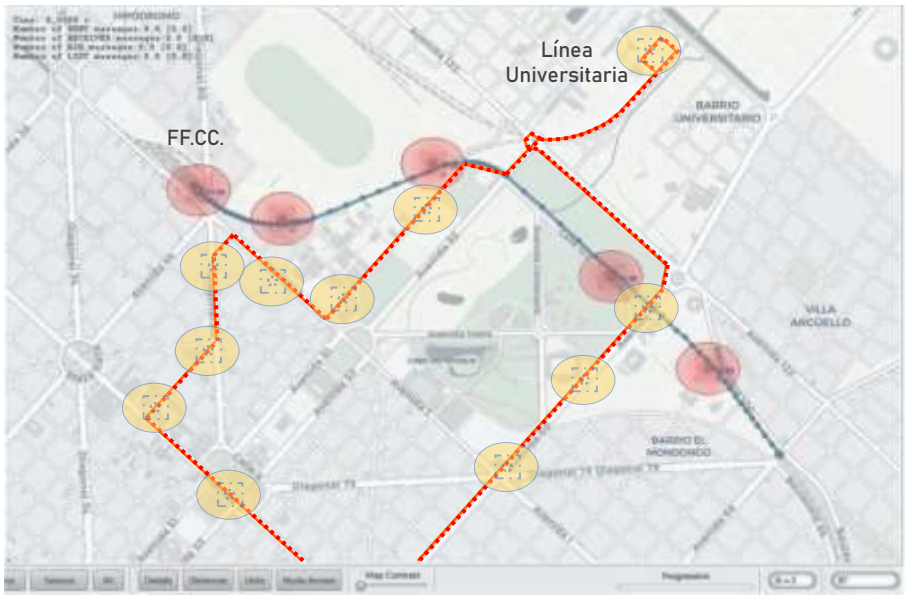


Fig. 2. Proyección y Simulación en Cupcarbon

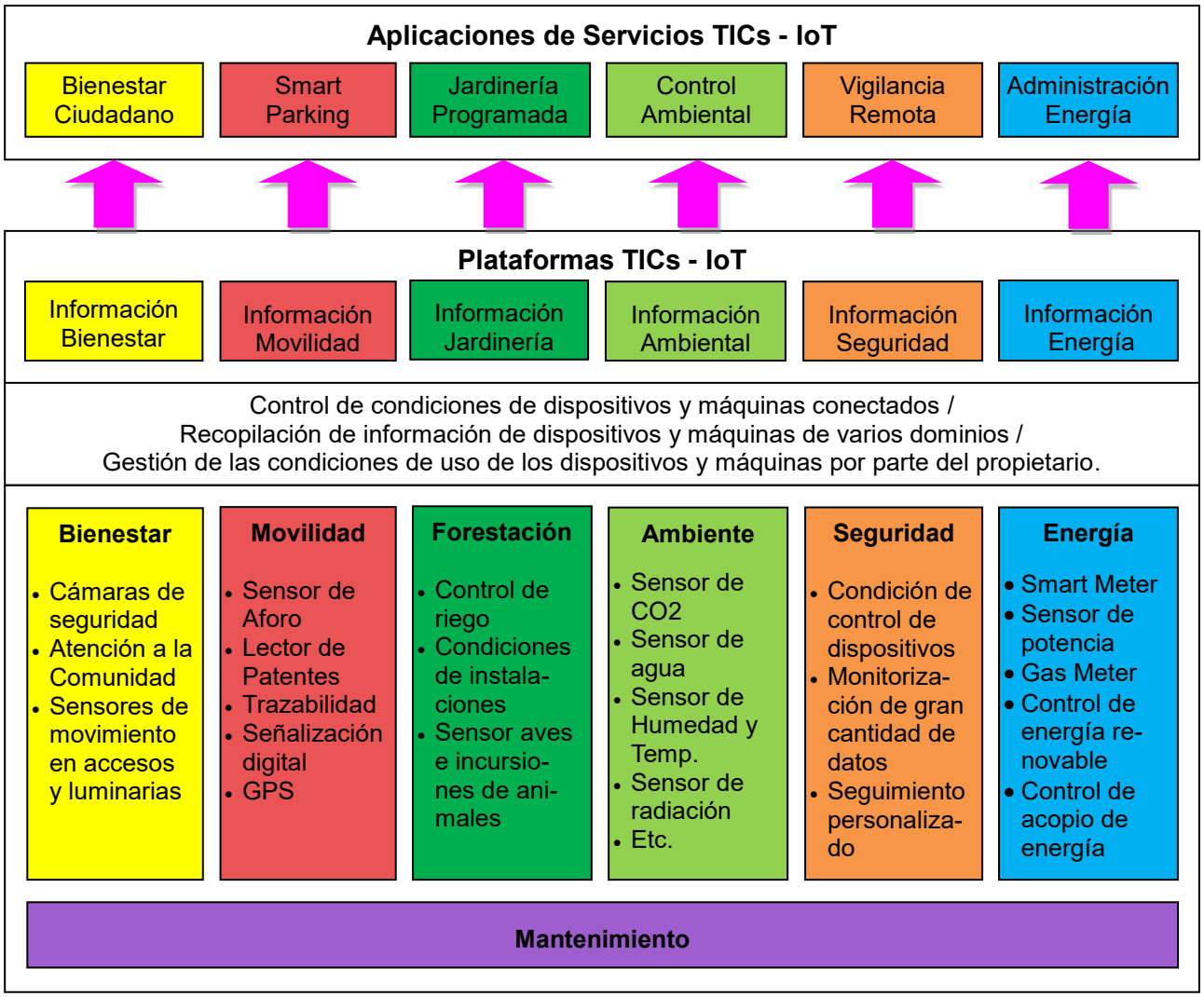
Características del S&S CAMPUS

Dentro del S&S CAMPUS algunos de los edificios existentes se erigieron junto con la ciudad de La Plata desde su fundación convirtiéndose en hito histórico patrimonial, por otro lado también existen edificios modernos a los cuales se les proyecta una intervención de piel verde vegetal con especies coloridas y aromáticas que nos amiguen con el entorno; además se planea sobre una cubierta vegetal, una series de paneles solares a fin de poder concebir su propia energía y de este modo emitir a la red la energía sobrante y la generada en tiempos de receso académico.

Proyecto de Innovación S&S CAMPUS

Proponemos el uso de la tecnología por medio de nodos de variadas características a fin de conformar una gran cantidad de datos (de circuito cerrado), los cuales serán visualizados en las pantallas dinámicas de información que se erigirán en el predio y PWA de uso personal, que serán de utilidad para los comensales.

Tabla 1 – Diagrama de Servicios TICs - IoT



Otro énfasis de la propuesta es mejorar la calidad edilicia a fin de que esta no consuma recursos innecesariamente, tratando su envolvente, programando su uso y función, y que a su vez perdure en el tiempo del modo más óptimo. Es por ello que identificamos las distintas plataformas que requerirán de los datos adquiridos por los distintos dispositivos IoT para el desempeño de las diversas necesidades en el predio, las cuales serán de mantenimiento e información.

Se diseñará la PWA para la funcionalidad del S&S CAMPUS y se accederá por medio de un Ícono distinguible o al acceder a la red Wi-Fi de la universidad, visualizado la misma por medio de pantallas dinámicas situadas dentro de la universidad con el objetivo de informar sobre las actividades más destacadas de cada unidad académica, y concientizar sobre el uso de recursos. Para ello desarrollaremos una PWA que posea datos de interés general para todas las facultades, así como la publicación de datos abiertos al público; de los datos de sistemas de sostenibilidad del campus, de los sitios seguros -Puntos de Encuentro- para casos de emergencia; así como las actividades de integración social.

Desde el S&S CAMPUS realizaremos el trabajo de integracion social abocandonos a 3 de los pilares fundamenales de una Smart City, los cuales seran: Economia, Medio Ambiente y Sociedad. De estas interrelaciones obtendremos una Economia Naranja –equitativo-, una Economia Colaborativa –viable-y un Uso Racional de los Recursos –vivible-, desarrollando un modelo sotenible.

Fig. 3 – Propuesta de Integración Social

Método de Aplicación del Proyecto S&S CAMPUS

Para que esta propuesta sea consistente debe de poseer ciertas características, las cuales regirán para cada unidad académica - Gobierno -:

- Designar a una autoridad, la cual autorizará la publicación de los datos
- Otorgar los permisos pertinentes para publicar los datos
- Constituir un cuerpo de seguimiento de la información
- Verificar la veracidad de la información.

Visto que para generar un movimiento interno de diversos usos económicos tendremos que adoptar medidas que garanticen la seguridad y veracidad de la información, esta será evaluada con un tiempo estimado previo a fin de otorgar datos certeros para los usuarios.
Dado que la economía genera una relación de oferta y demanda, los usuarios serán quienes den valor y otorguen créditos de confiabilidad para futuras transacciones, generando así una seguridad interna a la hora de llevar adelante un intercambio de bienes y/o servicios brindados.

Si bien cualquier usuario pudiese publicar un bien y/o servicio, se establece que prioritariamente se le dé lugar e incentivo a quienes pertenezcan a dicha comunidad (alumnos, docentes y no docentes) ya que ello blindaría cualquier especulación que pudiese dañar la confianza del proyecto. Esto se generaría por intermedio de una autorización con designación de usuario, la cual deberá de solicitarse a la facultad -Gobierno- por intermedio del SIU Guaraní en caso del alumnado y vía correo institucional en caso de Docentes y No Docentes.

Una vez establecidos los requisitos, se dará lugar a publicar la información de relevancia para la comunidad universitaria, la cual se verificará continuamente ya que la misma será brindada por la misma comunidad abarcando los puntos abajo mencionados.

Economía Naranja (Equitativa) concerniente al arte y cultura

- Bienes Creativos -Pinturas, Artesanías, Diseños, etc.-
- Artes Visuales -Teatro, Cine, etc. -
- Arte Sonora -Conciertos, Milongas, Peñas, etc.-

- Servicios Creativos -Yoga, Reflexoterapia, Danza, etc.-
- Gastronomía, etc.

Economía Colaborativa (Viable) concerniente a bienes y servicios
- Compartir Conocimientos
- Prestamos entre pares (económico y no económico)
- Trueque y/o venta de bienes -Libros, Noteboock, etc.-
- Carsharing -Uso compartido de vehículo, moto, etc.-
- Alquiler de departamentos y cocheras

Uso Racional de Recursos (Vivible)
- Datos de consumo energético -Luz, Agua, Gas-
- Datos de generación de energía eléctrica
- Datos de calidad del aire en el predio
- Datos de especies forestadas
- Etc.

Visualización del S&S CAMPUS

La PWA nos permite y posibilita obtener todo tipo de información del campus, ya que la misma posee gran interactividad así como enlaces de ingreso a la UNLP y Facultades. Su dinamismo y sencillez permite al usuario obtener la información buscada rápidamente, a su vez esta interfaz también nos otorga posibilidades de interacción por intermedio de los datos ya que al cruzarse estos se hace inevitable un recorrido por toda la PWA.

Fig. 4 PWA Interactiva

Fig. 5 Economía Naranja

Habiendo seleccionado el Icono correspondiente a Equitativo -Economía Naranja-, este nos brindará la información más relevante, haciendo mención primeramente a las actividades sociales según el estado y la cantidad de usuarios que se haya suscripto a esta; De este modo garantizaremos la participación de toda la comunidad en aquellas actividades notables dentro del campus, así como la integración social que define el propósito del proyecto.

Fig. 6 Economía Colaborativa

Fig. 7 Uso Racional de Recursos

En lo que respecta al Icono de Viable -Economía Colaborativa-, este poseerá 2 características principales que serán la cantidad de Asistentes y la cantidad de Créditos (los cuales pueden ser positivos o negativos según la experiencia del usuario) a la vez que se visualizará la cantidad de estrellas que posea en su haber -lo cual será independiente de los créditos obtenidos en el transcurso del tiempo-, de las diversas actividades realizadas.

Por ultimo tenemos el Icono de Vivible -Uso Racional de Recursos- el cual brindará todos los datos concernientes al campus desde una planta en la cual se identifica cada unidad académica, el usuario seleccionará cualquiera de ellas, y esta nos proporcionaría toda la información que se le correspondiere, junto a los enlaces de las pestañas interrelacionadas a fin de llegar a la obtención de otros datos que pudiesen ser de interés.

Una vez seleccionado el edificio de la Facultad, esta mostrará la pestaña correspondiente a los datos energéticos que en él se generan y que luego son volcados a la PWA para que todos puedan tener acceso a ellos. También se vislumbra el trabajo de optimización energética que se lleva adelante desde la generación de energía, tratamiento de envolvente y recolección de agua de lluvias para riego, entre otras.

Conclusiones

La monitorización de los distintos datos e interacciones dentro del predio establecerá una nueva dinámica que permitirá poseer un mayor conocimiento de las variedades de economía que pudiesen allí desarrollarse. Esto nos permite elaborar una proyección a futuro en conjunto con toda la comunidad.

La idealización de poseer un campus eficientemente autosustentable puede llegar a considerarse utópica, pero esto puede concretarse siempre y cuando seamos capaces de invertir en una arquitectura a largo plazo que posibilite la adecuación de sus usos y recursos apoyándose en las nuevas tecnologías y en el cuidado del medio ambiente para garantizar una calidad de vida optima en los usuarios.

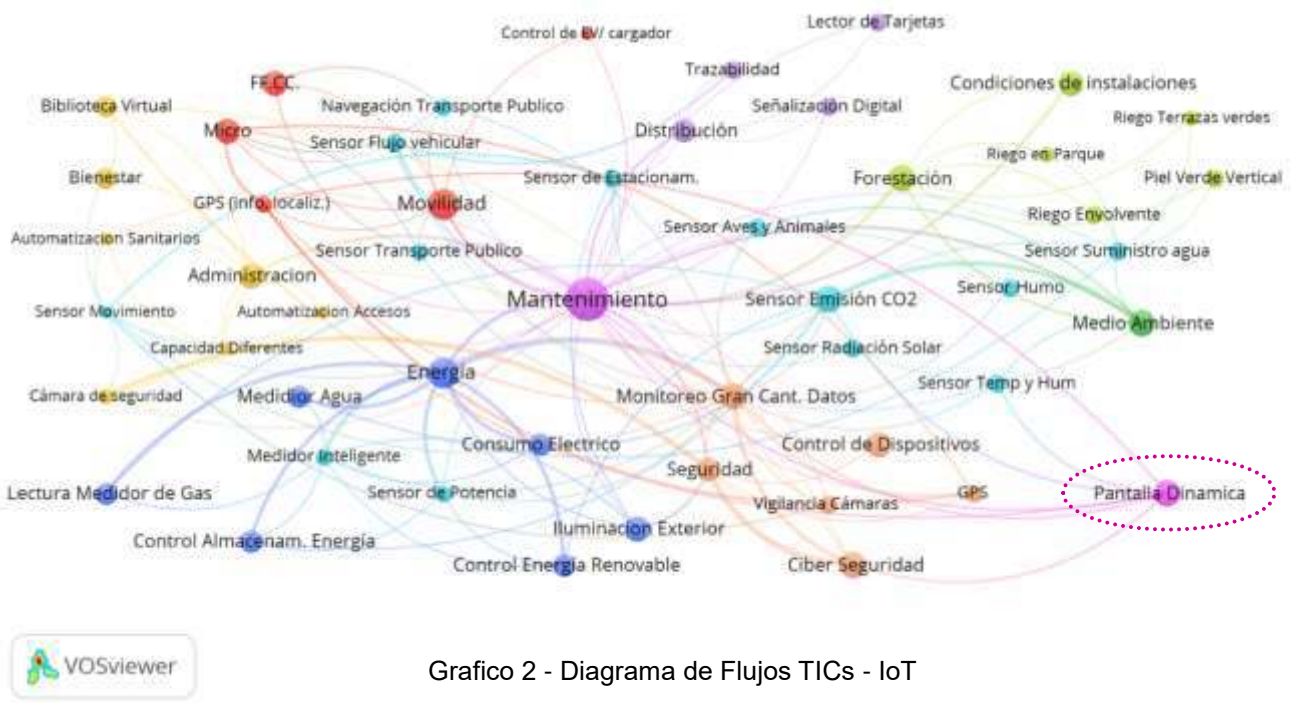


Grafico 2 - Diagrama de Flujos TICs - IoT

Para finalizar podemos garantizar que todos los datos obtenidos se clasificaran y organizaran según la necesidad para brindar la información requerida a fin de establecer un modelo de Smart Cities que tenga como prioridad las interrelaciones sociales dentro del campus a fin de contribuir con la Economía Naranja y Colaborativa.

La información adquirida con relación al tránsito y transporte público será plasmada en las pantallas dinámicas con un monitoreo permanente que sirva de apoyo para los usuarios evitando así la conglomeración vehicular en las adyacencias y fortaleciendo la Economía Colaborativa.
Con respecto al medio ambiente se evaluará la emisión de CO2 de los estacionamientos junto al conteo del flujo vehicular interno, así como del consumo energético que emitirán las distintas edificaciones en sus actividades cotidianas y a la gestión de residuos, lo cual incitará a una mayor concientización en el Uso de Recursos.

Líneas Futuras

Se plantea como objetivo el desarrollar una plataforma Smart Campus en la cual se pudiesen volcar todas las actividades sociales referentes a los usuarios que contribuyan a reforzar su vínculo con la universidad y que sirva de herramienta para resolver situaciones que tengan relación académica y no académica directa entre el usuario y la UNLP en tiempo real.

Otro de los lineamientos de interés seria el generar un foro de usuarios del predio donde los mismos puedan expresar aquellas necesidades de bien común que permitan un mejor desenvolvimiento dentro del campus así como nuevas propuestas aquí no contempladas incentivando a la innovación y actualización de todo tipo de tecnologías.

Agradecimientos

A mi esposa Jazmín Cereceda, Ing. Luis Marrone, Dra. Elsa Estévez, Colegas, Amigos y a todos los contribuyentes que desean una **“Universidad Pública, Gratuita e Irrestricta”** del más alto nivel que enaltezca los estándares de nuestra nación.

Referencias

Libro electrónico completo: Banco Interamericano de Desarrollo (“BID”) y la Fundación Universia (2020). Estrategia y transformación digital de las universidades: un enfoque para el gobierno universitario. Recuperado de: https://publications.iadb.org/es/publications/spanish/viewer/Estrategia-y-transformacion-de-las-univerdades-un-enfoque-para-el-gobierno-universitario.pdf

Libro electrónico completo: Felipe Buitrago Restrepo; Iván Duque Márquez. (2013). La Economía Naranja, Una oportunidad infinita. Recuperado de: https://publications.iadb.org/es/publications/spanish/viewer/La-Econom%C3%ADa-Naranja-Una-oportunidad-infinita.pdf

Libro electrónico completo: Fondo Multilateral de Inversiones; IE Business School (Abril 2016); Economía colaborativa en América Latina. Recuperado de: https://publications.iadb.org/es/publications/spanish/viewer/Econom%C3%ADa-colaborativa-en-Am%C3%A9rica-Latina.pdf

En el punto de mira: Energía y ciudades inteligentes, (13 de Julio 2022) Recuperado de: https://commission.europa.eu/news/focus-energy-and-smart-cities-2022-07-13_en

Tendencias de Tecnologías y Plataformas en Ciudades Inteligentes: Una revisión de vanguardia; Pablo Chamoso, Alfonso González-Briones, Sara Rodríguez, and Juan M. Corchado
BISITE Digital Innovation Hub, Universidad de Salamanca

Habibi, P., Farhoudi, M., Kazemian, S., Khorsandi, S., & Leon-Garcia, A. (2020). Fog computing: a comprehensive architectural survey. IEEE access, 8, 69105-69133.

Khan, W. Z., Ahmed, E., Hakak, S., Yaqoob, I., & Ahmed, A. (2019). Edge computing: A survey. Future Generation Computer Systems, 97, 219-235

Cao, K., Liu, Y., Meng, G., & Sun, Q. (2020). An overview on edge computing research. IEEE access, 8, 85714-85728

Cupcarbon Software;
https://cupcarbon.com/

VOSviewer Software
https://www.vosviewer.com/

LA PERSPECTIVA SOCIAL DE LA SOSTENIBILIDAD, CARACTERISTICA DESEABLE EN UN MODELO DE CALIDAD

Rosana Leo, Carlos H. Salgado, Mario G. Peralta, Alberto A. Sánchez
Departamento de Informática, Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas y Naturales
Universidad Nacional de San Luis

leorosana@gmail.com, csalgado@unsl.edu.ar, mperalta@unsl.edu.ar, alfanego@unsl.edu.ar

Resumen

El software es la herramienta necesaria en las más variadas gestiones en la actualidad, por ello debe cumplir con requisitos de calidad que permitan satisfacer las necesidades de los usuarios. En ese sentido, también podría ser sostenible si aportara beneficios ambientales, sociales y económicos y resguardara la salud pública, el bienestar y el medio ambiente en todo su ciclo de vida.
La sostenibilidad social, una de las dimensiones del desarrollo sostenible planteado en el Informe Brundtland, es la menos estudiada y más difícil de medir por la naturaleza y complejidad de los indicadores.
La Norma ISO 26000 proporciona guías sobre principios de responsabilidad social, pero no se han traducido en características de los modelos aplicables en procesos de gestión de la calidad. En este sentido, dentro del proyecto de investigación “Ingeniería de Software: Estrategias de Desarrollo, Mantenimiento y Migración de Sistemas en la Nube”, en el Laboratorio de Calidad en Ingeniería del Software de la UNSL, se trabaja sobre métricas, indicadores, modelos y métodos de evaluación de calidad. Así, se definió un modelo de calidad del software en base a la Norma ISO 25010, con la sostenibilidad como característica transversal al mismo, se definieron y analizaron métricas para evaluar qué atributos de las características del modelo se relacionan con la dimensión social de la sostenibilidad y así tener referencia de cómo contribuye el software a la EDI (Equidad, Diversidad, Inclusión) y en qué medida, en línea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible definidos por las Naciones Unidas.
Para ello, fue necesario tener en cuenta atributos orientados a un software sostenible relacionado a la igualdad social, evaluando la contribución del software a la Equidad (justicia e igualdad), la Diversidad (reconocer y aceptar distintos perfiles de usuario) y la Inclusión (garantizar acceso para todos a recursos, servicios y oportunidades).

Palabras Clave: Modelo de Calidad, ISO 26000, Sostenibilidad Social, Medioambiente, Experiencia de Usuario

Introducción

En el contexto actual, la calidad en la industria del software no se limita a la eficiencia técnica y funcionalidad de un producto, sino que trasciende a consideraciones más amplias como la sostenibilidad; ésta, entendida como la capacidad de un sistema para perdurar en el tiempo sin comprometer los recursos futuros, surge como un aspecto importante en la evaluación del software. Se tienen en cuenta las diferentes dimensiones que componen la sostenibilidad: técnica, económica, ambiental y social. El análisis desde una perspectiva social agrega una capa adicional de complejidad, pues implica considerar el impacto humano y comunitario de las decisiones de desarrollo de software como del producto terminado.

Los aspectos sociales de la sostenibilidad implican consideraciones como accesibilidad, equidad, inclusión, diversidad, valores éticos y humanos. Si bien lograr la sostenibilidad del software requiere que los desarrolladores adopten enfoques que respalden las dimensiones de la sostenibilidad, sigue habiendo una falta de enfoques concretos para abordar los aspectos sociales durante el desarrollo del software (de Souza, Cruzes, Jaccheri, Krogstie, 2024). En esta propuesta, Los autores buscan facilitar la integración de los aspectos sociales en el proceso de desarrollo de software mediante la

identificación de enfoques relacionados con la sostenibilidad social en la ingeniería de software. Al incorporar estos enfoques se garantiza que el software no solo sea técnicamente sostenible, sino también socialmente responsable.

Por lo antes mencionado, teniendo en cuenta la sostenibilidad social como característica de calidad del software, profundizando en sus componentes, hacemos referencia al libro “Guía de Recomendaciones para Diseño de Software centrado en el Usuario” (Diaz, Arari, Amadeo, 2013), en el cual se analiza una componente fundamental, la “Interfaz de Usuario”.

Mientras los objetivos en general de la aplicación son la eficiencia, la portabilidad, la seguridad, entre otros, la interfaz del usuario tiene otros objetivos especiales relacionados con fatores humanos mas que con cuestiones técnicas, por ejemplo, simpleza, amigabilidad, naturalidad, flexibilidad, etc. La conjunción de todas estas cualidades se sintetiza en la “Usabilidad”, la cual tiende a mejorar la calidad de las interfases a fin de lograr la satisfacción y conformidad del usuario, que conlleva a la productividad y una extensa vida útil del software.

En el marco del proyecto de investigación “Ingeniería de Software: Estrategias de Desarrollo, Mantenimiento y Migración de Sistemas en la Nube” y más precisamente en el contexto del Laboratorio de Calidad en Ingeniería del Software (Lacis) de la Universidad Nacional de San Luis, se está trabajando en lo que refiere a Modelos y Métodos de evaluación de Calidad, Métricas e Indicadores. Entre los trabajos que se llevan a cabo se definió un modelo de calidad del software con la sostenibilidad como característica transversal. En este momento se está trabajando en ampliar dicho modelo de calidad profundizando en el estudio y análisis de la dimensión social de la sostenibilidad del software, en línea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) definidos en 2015 por las Naciones Unidas y con vista a conseguirlos en el 2030.

Fue necesario redefinir el modelo de calidad propuesto para tener en cuenta atributos orientados a un software sostenible en relación a la igualdad social, esto es evaluar la contribución del software a la Equidad, la Diversidad y la Inclusión (EDI). La equidad representa la justicia e igualdad, la diversidad es reconocer y aceptar distintos perfiles de usuario y la inclusión es garantizar que esa diversidad tenga acceso a recursos, servicios y oportunidades.

Ese es el objetivo principal de este trabajo, investigar la relación entre sostenibilidad y calidad del software desde una perspectiva social, en línea con Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) que resulten relevantes en términos de la EDI, para así determinar cómo las decisiones de diseño, desarrollo y mantenimiento del software pueden influir en la sociedad.

Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible fue aprobada en septiembre de 2015 en la 70° Cumbre del Desarrollo Sostenible en la Asamblea General de las Naciones Unidas. Se aprobó un documento “Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible”, por 193 jefes de estado. La Agenda tiene 17 objetivos de desarrollo sostenible (ODS) y 169 metas que se deben aplicar en forma universal. Dichos objetivos sirven para orientar a cada uno de los países a lograr un desarrollo que cumpla el mandato de la Agenda: ¨*No dejar a nadie atrás*¨. Tomando dicha premisa, analizamos de qué manera los conceptos de Equidad, Diversidad e Inclusión se relacionan con varios de los ODS, se detallan posteriormente los que consideramos más relevantes a los fines del presente trabajo:

ODS 1: Fin de la Pobreza. La equidad busca garantizar el acceso a oportunidades económicas, recursos y servicios básicos a todas las personas independientemente de su origen o circunstancias. La diversidad y la inclusión aseguran que las políticas de reducción de la pobreza beneficien a todos los grupos sociales, incluyendo minorías y personas en situación vulnerable.

ODS 4: Educación de Calidad. Al asegurar la educación de calidad para todos, independientemente de género, raza, otras capacidades o situación socioeconómica, se promueve la equidad y la inclusión. La diversidad, reconociendo y valorando diferentes formas de aprendizaje y cultura.

ODS 5: Igualdad de Género. Directamente relacionado con la equidad, busca eliminar toda discriminación contra mujeres y niñas. Promueve la inclusión y diversidad de género en todos los ámbitos.

ODS 8: Trabajo Decente y Crecimiento Económico. La equidad en el trabajo es asegurar oportunidades laborales justas y acceso a empleos de calidad para todos. La diversidad y la inclusión fomenta que todas las personas puedan prosperar.

ODS 10: Reducción de las Desigualdades. Con este objetivo se busca reducir la desigualdad dentro y entre los países, promoviendo la equidad en el acceso a recursos y oportunidades. La diversidad e inclusión se tienen en cuenta al garantizar que se consideren, en las políticas y programas, las necesidades de todas las personas.

ODS 11: Ciudades y Comunidades Sostenibles. Promueve las ciudades inclusivas que ofrezcan igualdad de acceso a servicios básicos, transporte y oportunidades de empleo. La equidad y la inclusión aseguraran que hasta los residentes más vulnerables se beneficien de un desarrollo urbano sostenible y resiliente.

ODS 16: Paz, Justicia e Instituciones Sólidas. Al promover sociedades pacificas e inclusivas, se asocia con la equidad. La inclusión y diversidad promueven la participación de todos los grupos.

Se resume que los principios de Equidad, Diversidad e Inclusión aseguran que el progreso hacia el desarrollo sostenible sea inclusivo y justo, beneficiando a todas las personas y respetando diferencias culturales y diversas identidades.

La iteración más hacia el incremento del modelo de calidad que contemple la perspectiva social

Se han propuesto modelos o estándares para asegurar la calidad del software mediante la gestión de atributos en el proceso de construcción, debido a que la concordancia con los requisitos son base de las medidas de calidad establecidas (Callejas Cuervo, Alarcón Aldana, & Álvarez Carreño, 2017). De esta manera, la calidad se convierte en algo concreto ya que se puede planificar, definir y medir.

Como se expone precedentemente, la Norma ISO 26000 (ISO, 2010), preparada por ISO/TMB Grupo de Trabajo sobre Responsabilidad Social, con el aporte de expertos de más de 90 países y 40 organizaciones, es una guía que ayuda a aclarar qué es la responsabilidad social, ayuda a las empresas y organizaciones a traducir los principios en acciones efectivas y comparte las mejores prácticas relacionadas con la responsabilidad social a nivel mundial. Está dirigida a todo tipo de organizaciones, independientemente de su actividad, tamaño o ubicación. Sin embargo, no posee requerimientos formales por lo tanto no es certificable. Y si bien ayuda a operar de manera socialmente responsable, no es factible traducirla a un modelo de gestión de calidad.

Para incorporar la sostenibilidad social en un modelo de calidad del software, debemos partir de la base de un modelo de calidad definido. En este sentido, La Norma Internacional ISO/IEC 25010:2011, de la serie SQUARE (ISO, 2011), presenta modelos de calidad para el producto software, incluyendo características para calidad interna, externa y en uso; define características y subcaracterísticas de calidad a tener en cuenta al momento de la evaluación.

Así, en nuestra línea de investigación, se propone un modelo de calidad del software basado en el definido por dicha norma, con la particularidad de que incorpora conceptos y criterios de sostenibilidad (Fig. 1).

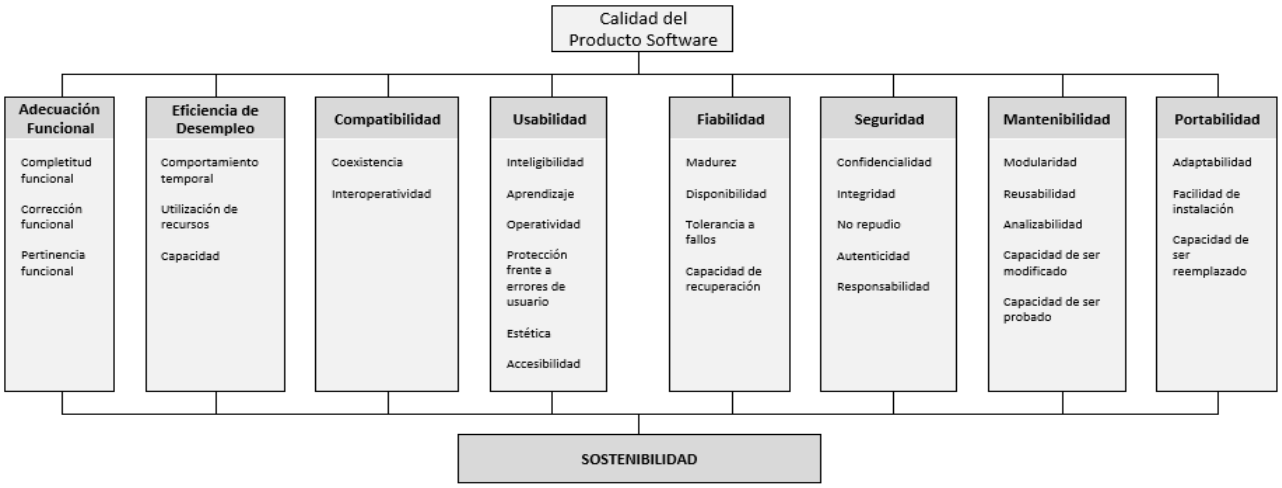


Fig. 1. Modelo de Calidad del Producto Software propuesto

A partir de dicho modelo, se identificaron algunos atributos de las características a evaluar, que pudieran adaptarse para incluir consideraciones de EDI. La tabla de la Fig. 2, ilustra de qué manera se evaluarán los distintos aspectos considerados.

Característica	Subcaracterística	Métrica	Propósito
USABILIDAD	**SATISFACCION DEL USUARIO**	Calificación de satisfacción	Medir la satisfacción de los usuarios con la interfaz
	ACCESIBILIDAD	Facilidad de acceso al sistema	Conocer la accesibilidad al sitio de personas con otras capacidades
MANTENIBILIDAD	**CAPACIDAD DE SER MODIFICADO**	Tiempo de implementación	Tiempo promedio necesario para implementar cambios que mejoren la inclusión y accesibilidad
PORTABILIDAD	**COMPATIBILIDAD**	Compatibilidad Multiplataforma	Conocer si el sistema funciona en diferentes plataformas de software
	REQUISITOS DE SISTEMA	Requisitos mínimos	Conocer las especificaciones mínimas de hardware y software para la ejecución del sistema
SEGURIDAD	**CONFIDENCIALIDAD**	Incidentes de Seguridad	Conocer si hubo incidentes de seguridad relacionados con la privacidad de los datos
	TRANSPARENCIA	Políticas de Seguridad	Evaluar la claridad de las políticas de privacidad y manejo de datos

Fig. 2. Características y métricas

La usabilidad indica la medida en que el software puede ser utilizado por determinados usuarios con efectividad, eficiencia y satisfacción. Con una perspectiva social se consideraría cómo contribuye a la equidad, diversidad e inclusión asegurando que todos los usuarios, independientemente de sus habilidades, cultura o contexto, también lo utilicen de manera efectiva. La satisfacción del usuario evalúa el nivel de aceptación al interactuar con el sistema. Desde el punto de vista de la sostenibilidad social, no solo considera aspectos técnicos (como la facilidad de uso) sino también cómo el sistema responde a distintos perfiles de usuarios, promoviendo la

experiencia inclusiva y equitativa. Algunas de las métricas definidas, asociadas a esta característica, se aplicaron a través de encuestas y cuestionarios, donde la persona que interactúa con el sistema, calificó su nivel de satisfacción.

Respecto de la subcaracterística accesibilidad, es necesario asegurar que los usuarios, independientemente de sus capacidades físicas y/o cognitivas, puedan usar el software promoviendo un entorno digital inclusivo. A estos fines se utilizarán dispositivos tecnológicos como lectores de pantallas y teclados alternativos que permitirán a usuarios con otras capacidades utilizar el sistema.

Si nos referimos a la característica mantenibilidad, a la capacidad de ser modificado, la consideramos un atributo fundamental para garantizar que el software se adapte a nuevos requerimientos para mejorar o facilitar la inclusión y accesibilidad del software.

Los beneficios son muchos, si hablamos desde un punto de vista de la sostenibilidad el beneficio directo es la reducción de la huella de CO2. Pero existen otros beneficios indirectos que no son menores, desde lo que respecta a la calidad del producto, hasta beneficios empresariales. Esto significa la aceptación que tienen los productos y servicios de este tipo, por la creciente conciencia ambiental de la población en general, lo que puede traducirse en perder clientes o usuarios por no cumplir con determinadas normas de calidad ambiental y de inclusión social.

Hoy en día no es común que en nuestro país se construya software que tengan su eje en la sostenibilidad desde las distintas perspectivas. Eso hace necesario la definición de un modelo de calidad que considere de manera horizontal y transversal la sostenibilidad y sobre todo desde la visión social.

Para ello, se hace necesario crear una conciencia de la importancia de la sostenibilidad para este momento en particular, pero aún más pensando en el futuro. La definición del modelo de calidad en su primera versión con el foco en la sostenibilidad del producto software y ahora en este trabajo incremental e iterativo, nos permitió evolucionar el modelo de calidad hacia la perspectiva social de la sostenibilidad.

En base a lo anterior y al trabajo de campo que hemos realizado con los sistemas de la administración pública de una de las provincias de la región de cuyo, se ha instanciado el modelo y aplicado las métricas e indicadores. Además, considerando que trabajamos en educación en distintas carreras de pregrado, grado y posgrado dentro de distintas universidades nacionales, se hace necesario generar buenas prácticas y procesos dentro de las posibilidades para ir creando una cultura de desarrollo de software sostenible. Las prácticas y procesos se pueden traducir a políticas, herramientas, metodologías, estándares, entre otros.

Pensar solo que nuestros egresados puedan tener una primera aproximación a la sostenibilidad hace que las carreras se actualicen a las necesidades deseables y esperables por la sociedad que busca soluciones tecnológicas y organizacionales responsables, sostenibles y equitativas.

Un breve resumen de algunos resultados

Como caso de estudio se investigó sobre los distintos sistemas y subsistemas de la administración pública. La administración pública se encuentra estructurada en ministerios, por ejemplo, el de salud, educación, vivienda, seguridad, entre otros. Se realizó un estudio de los datos e información que tienen los sistemas en busca de conocimiento que permitiera entender a través del uso de las aplicaciones por parte de los distintos usuarios el grado de sostenibilidad social que está presente en el software. En base a esos datos e información recabadas por las métricas se realizó un análisis a través de los grupos de indicadores (salud, educación, población, equidad, vivienda y seguridad), el más relacionado con el ámbito social es el de la equidad; sin embargo, y por tomar un ejemplo, el indicador de "igualdad de género" se mide apelando a la diferencia del promedio salarial entre

hombres y mujeres, sin tener en cuenta otras dimensiones de igualdad, tales como la participación en política, la participación en cargos públicos, la discriminación laboral, etc.

En este sentido, los valores de las métricas Ingresos_Hombre (x), Ingresos_Mujer (x) e Ingresos_Otro (x) se calcula sobre la información registrada en la base de datos e información correspondiente a las distintas reparticiones, como por ejemplo en las inscripciones a viviendas, solicitud de becas y/o ayudas, solicitudes de remedios, etc., donde declaran los ingresos como sueldos, pensiones, ayudas financieras, entre otros. La métrica cant_grupo_familiar (x) calcula la cantidad de familias que se han registrado en los distintos sistemas. Una métrica indirecta que se utilizó es promedio_ingresos que se definió de la siguiente manera:

promedio_ingresos (x) = (Ingresos_Hombre (x) + Ingresos_Mujer (x) + Ingresos_Otro (x))
/cant_grupo_familiar

Las métricas se enfrentan contra indicadores que permiten realizar una interpretación de los valores recabados y poder tomar las decisiones que sean necesarias. A continuación, se presenta un indicador de los propuestos en este trabajo.

CB = Canasta Básica
X= promedio_ingresos (x)

Igualdad de ingresos (x) =	0	si x< CB
	0,4	si CB <= x < 3/2 CB
	0,7	si 3/2 CB < x <= 3 CB
	1	si x >= 3 CB

El indicador de igualdad de ingresos considera un valor 0 si lo que percibe el contribuyente como ingreso es menor a una canasta básica; un valor de 0,4 para un valor de ingreso entre una canasta básica y tres y medias canastas; un 0,7 si el valor del ingreso se encuentra entre tres y medias canastas y tres canastas y un valor de 1 si es mayor o igual a 3 canastas.

Para ellos se evaluaron las métricas que se resumen a continuación:

Muestra	**Métricas**	**promedio_ingresos (x)**
28500	Ingresos_Hombre (x)	$380000
14236	Ingresos_Mujer (x)	$345000
808	Ingresos_Otro (x)	$300000

Estos valores han permitido instrumentar una política de asignación de recursos tanto de salud, como vivienda y educación a través del armado de una tabulación con los distintos promedios de ingresos e ingresos por cada ciudadano, facilitando el acceso más equitativo a los recursos a pesar de distancia de locación, sexo del contribuyente o solicitante.

Además, Se estudió la posibilidad que brinda el sistema de Proveedores y Contratistas del Estado, del área de Contrataciones para que los distintos ciudadanos puedan inscribirse en el Registro y así comercializar con el Estado. En este punto había que ver la accesibilidad del sistema desde diversas perspectivas como son la conexión a la red, dispositivo de conexión, facilidad de uso, etc. para pensar en la igualdad de oportunidades entre personas de distinto grupo etario o nivel de estudios, o poder adquisitivo, por ejemplo.

Dentro de la característica accesibilidad, una de las más importantes para el estado era poder identificar los “Tipos de visitas”, ya que hace referencia a las visitas de los ciudadanos al sitio del organismo, y uno de los principales intereses del gobierno era conocer el grado en que los nuevos visitantes se convertían en nuevos ciudadanos digitales con la transformación digital. Para obtener

una idea de ello, con las herramientas digitales disponibles, se procedió a calcular la métrica indirecta CR.

CR = NVT/NV Para ese cálculo se utilizaron las métricas NVC y NV. Donde NVC son los visitantes que se convierten en ciudadanos digitales y NV son los visitantes a los sistemas de la administración que no realizan ninguna operatoria con la institución.

Estas métricas son de aplicación directa. Pero no alcanzaba solo con conocer la cantidad de cada tipo de visitas, sino que se necesitaba tener una idea más clara de cómo afectaban a la organización dichas visitas. Por lo tanto, se hacía necesario diferenciar entre visitantes o potenciales usuarios de los sistemas de la administración. Se realizó un estudio o análisis de la situación con respecto a la cartera de ciudadanos digitales. Para ello, se tuvo que adaptar las áreas del Estado involucradas con todos los recursos y herramientas e implementar nuevas técnicas o estrategias para hacer frente a la nueva realidad que le tocaba enfrentar a la ciudadanía. En este punto se empezaron a utilizar canales digitales para seguir con la operatoria de trámites.

Considerando los requerimientos de identificar los distintos tipos de visitas “Tipos de visitas” y más precisamente utilizando la métrica indirecta: NV = NVST + NVCT; donde: NVST: número de visitas – NVCT: número de visitas con realización de algún trámite. Se observó que, en 2022, NV = 703 y que NVC = 504. Era llamativo la cantidad de visitas sin la realización de algún trámite (NVST = 199). En este punto se realizaron las consultas a profesionales de marketing y equipo informático y se llegó a la conclusión que la usabilidad en lo que respecta a la entendibilidad y comprensibilidad de las operaciones digitales, no era lo suficientemente clara. La métrica de la evolución de tráfico directo corroboró que había un problema de usabilidad. Resuelto el problema con la mejora del software y adecuación de la usabilidad del mismo, se arribó al siguiente resultado al realizar la medición durante el mismo periodo de 2023 y lo que va transcurriendo del 2024.

2022		
Visitantes (NV)	Ciudadanos Digitales (NVT)	CR = NVT/NV
703	504	0,716
2023		
Visitantes (NV)	Ciudadanos Digitales (NVT)	CR = NVT/NV
735	590	0,802
2024		
Visitantes (NV)	Ciudadanos Digitales (NVT)	CR = NVT/NV
503	288	0,572

Las visitas se incrementaron en el 2023 con respecto al mismo periodo del año 2022 en un 4,55 %. Esto fue chequeado con estadísticas de los tramites llevadas a cabo y las consultas a la sección de atención al público del año 2022. En el año 2023, el número de usuarios frecuentes se incrementó un 17.06% aproximadamente. En lo que va del año 2024 con respecto al año 2023 los usuarios se han incrementado en un 51.19% mientras que las vistas en los periodos 2022-2023 y 2023-2024 van en aumento. Esto vislumbra una mejora sustancial en las interacciones del software con los usuarios.

En la misma línea tenemos el llamado índice de pobreza humana, el cual propone la medición de la pobreza a partir de aspectos como el acceso a los conocimientos, la morbilidad y el acceso a condiciones de vida aceptables. Dichos aspectos, a su vez, son calculados por medio de indicadores sociales como la tasa de analfabetismo, el porcentaje de personas sin acceso a agua apta para el consumo humano, o sin oferta de salud, el porcentaje de niños con desnutrición, etc. Se hace evidente que las cifras apuntan a datos puramente cuantitativos, pero no existen datos que busquen dimensionar las cualidades de estos.

La medición de indicadores sociales presenta un nivel de complejidad alto, y por ello se hace necesario desarrollar la investigación y la implementación de los avances realizados en contextos nacionales y regionales específicos.

Por eso creemos que se hace indispensable la investigación y capacitaciones en lo que refiere a la sostenibilidad estudiada tanto a nivel cuantitativo como cualitativo. Para eso se hace necesario definir distintos instrumentos que permitan apropiarse de esos datos e información para, por ejemplo, mejorar la usabilidad de nuestros sistemas / aplicaciones, para poder tener un mundo más amigable e igualitario en lo que respecta a esa inclusión social como aspecto prioritario para una perspectiva del enfoque de la sostenibilidad.

Conclusiones

Analizar las características del modelo de calidad desde una perspectiva social permitirá que el software asegure la accesibilidad, mantenibilidad, portabilidad y seguridad a fin de mejorar la experiencia de las personas que interactúan con él, adaptarse a nuevas demandas sociales y alinearse con los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

La evaluación de la calidad del software teniendo en cuenta la sostenibilidad como característica transversal del modelo y enfocados desde su perspectiva social, representa un desafío puesto que de esta manera no solo se asegurará el cumplimiento de estándares técnicos, sino que contribuirá a los principios de EDI. Así, la Calidad del Software se amplía a dimensiones sociales que reflejarán valores de una sociedad más justa y sostenible.

La sostenibilidad debería ser en este momento una de las prioridades en las tareas de los seres humanos. Desde el sector de investigación y tecnológico se puede aportar para construir y ejecutar aplicaciones de software sostenibles, que permitan minimizar la huella de carbono como principal medida. Esto puede ser posible a través de la utilización de diferentes modelos, métodos y herramientas aplicados en el ciclo de vida del software. Creemos que aquí es importante la capacitación, investigación o retroalimentación de los distintos actores para generar algunas prácticas o reglas generales que vayan en ese sentido.

Como continuidad de la línea investigación se está trabajando en la aplicación del modelo propuesto en otros sistemas de la administración pública, de manera de establecer el grado de sostenibilidad de dichos sistemas aportando a la intensión del estado de convertir toda la gestión, y en particular sus sistemas de administración, en una gestión sostenible, y determinando el grado en que dicha sostenibilidad afecta la perspectiva social de los usuarios de estos sistemas.

Referencias

Moises de Souza, AC, Soares Cruzes, D., Jaccheri, L., Krogstie, J. (2024). Enfoques de Sostenibilidad Social para el Desarrollo de Software: una revisión sistemática de la literatura. En: Kadgien, R., Jedlitschka, A., Janes, A., Lenarduzzi, V., Li, X. (eds) Mejora de procesos de software centrados en el producto. PROFES 2023. Lecture Notes in Computer Science, vol 14483. Springer, Cham.

Díaz J., Harari I., Amadeo A.P., (2013). Guía de Recomendaciones para Diseño de Software centrado en el Usuario. 1ª Edición – Universidad Nacional de La Plata. EBook: ISBN 978-950-34-1030-1.

https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/

Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible – 2019 eISBN: 978-92-1-047889-2 https://unstats.un.org/sdgs/report/2019/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2019_Spanish.pdf

Callejas Cuervo, M., Alarcón Aldana, A. C., & Álvarez Carreño, A. M. (2017). Modelos de calidad del software, un estado del arte. En: Entramado. *13, no. 1*, 236-250. doi: http://dx.doi.org/10.18041/entramado.2017v13n1.25125

ISO. (2010). ISO 26000. Guía ISO de Responsabilidad Social., from http://www.iso.org/iso/home/standards/iso26000.htm

ISO. (2011). ISO/IEC 25010:2011 Systems and software engineering -- Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) -- System and software quality models.

ANÁLISIS TERMODINÁMICO Y BIOINFORMÁTICO DE LA INTERACCIÓN ENTRE CIBACRON BLUE F3GA Y LISOZIMA

Natalia E. Carmona[1], Ulises A. González[2], Arturo Gomez[1], María del P. Ferraris[1,2]

[1]Laboratorio de Biología Estructural, Área de Biología Molecular, Facultad de Qca., Bioqca. y Farmacia, Universidad Nacional de San Luis, Av. Ej. de los Andes 950, CP 5700
[2]Laboratorio de Procesos Separativos con Membranas, Facultad de Qca., Bioqca. y Fcia, Universidad Nacional de San Luis, Av. Ej. de los Andes 950, CP 5700,
e-mail: pilarferraris05@gmail.com

Resumen

La cromatografía de afinidad es una técnica separativa empleada para la purificación y separación de proteínas debido a que ofrece elevada especificidad y selectividad. Cibacron Blue F3G-A (CBF3GA), es uno de los colorantes más utilizados en la cromatografía de afinidad. En nuestro grupo de trabajo se ha estudiado el uso de CB para la purificación, mediante cromatografía de afinidad, de proteínas como Lisozima (Lis) y Seroalbúmina Bovina (BSA) y Humana (HSA). El objetivo de este trabajo fue estudiar la interacción entre Lis y la molécula ligando CB-F3GA mediante parámetros termodinámicos y software de acoplamiento bioinformático.

Se prepararon adsorbentes de afinidad utilizando células de levadura *Saccharomyces cerevisiae* como microsoporte insoluble, modificadas por tratamiento químico y con la molécula ligando Cibacron Blue acoplada en forma covalente a la pared celular. El adsorbente fue caracterizado mediante la determinación de la constante de afinidad (Ka) e isotermas de adsorción en el equilibrio (Langmuiy Freundlich) utilizando Lis como proteína blanco. Para la caracterización de la unión entre Lis y CB se calcularon parámetros termodinámicos de la reacción de *binding* mediante la ecuación de van't Hoff, por otro lado, los modelos de proteína-ligando se caracterizaron estructuralmente mediante ensayos de acoplamiento bioinformático utilizando los programas AutodockVina y ChimeraX. Se realizaron ensayos de detección por cocristalización por difusión de vapor con Lis y CB.

Los resultados obtenidos a partir del análisis termodinámico de la reacción de *binding* en el rango de temperatura estudiado (7°C, 15°C, 22°C y 37°C) muestran valores negativos para el cambio de energía libre (ΔG) y valores positivos para ΔH y ΔS. El proceso es espontáneo, endotérmico e impulsado por la entropía. Los resultados del acoplamiento bioinformático sugieren modelos de unión para el complejo con fuerzas hidrofóbicas como principales. Se obtuvieron cristales de Lis-CB con características precisas para futuros ensayos cristalográficos de rayos X.

Palabras Clave: Cibacron Blue F3GA, Adsorción, Lisozima, Cristalización, Bioinformática.

Introducción

Lisozima (Lis) es una enzima bacteriolítica que tiene un rol muy importante en los mecanismos de defensa no específicos debido a su capacidad para controlar el crecimiento de bacterias susceptibles (Baron, 2016). La estructura de Lis consiste en una sola cadena polipeptídica de 129 aminoácidos que contiene cuatro enlaces disulfuro, los que hacen a la molécula más compacta y muy estable. A lo largo de la molécula presenta una hendidura lateral dentro de la cual se sitúa el sustrato, un polímero peptidoglicano formado de unidades alternadas de N-acetilglucosamina (NAG) y ácido N-acetilmurámico (NAM). La fuente principal de esta proteína es el albumen (clara) de huevo, de donde se extrae para su uso industrial. Debido al extensivo uso de la enzima, varios métodos han sido desarrollados para su aislamiento y purificación a partir de albumen de huevo. El método más utilizado para su purificación es la cristalización directa (Alderton, 1996), sin embargo, existen otros métodos tales como la cromatografía de intercambio iónico (LiChan, 1986), filtración con membranas (Chiang, 1993) y cromatografía de afinidad (Grasselli, 1999, Shahmohammadi, 2018)

La cromatografía de afinidad que utiliza pigmentos de tipo triazina como ligandos, son consideradas como una de las técnicas más eficientes para la purificación y separación de proteínas, tales como Lisozima (Yimalz, 2005). Cibacron Blue F3GA (CBF3GA), es uno de los ligandos más utilizados en cromatografía de afinidad, ya que se une de manera específica y reversible a la proteína a ser purificada. CBF3GA consiste en un grupo cromóforo unido a un grupo reactivo, contiene tres grupos sulfonatos ácidos y cuatro grupos aminos aromáticos, los cuales unen con cierta especificidad y afinidad a enzimas dependientes de nucleótidos tales como Lis y la albúmina sérica humana y bovina (BSA y HSA). La versatilidad del pigmento es por su combinación de grupos aromáticos (no polares) y grupos sulfonatos (iónicos) en la misma molécula, lo que le permite establecer Interacciones (incluidos enlaces electrostáticos, hidrofóbicos y de hidrógeno) con cadenas laterales de aminoácidos presentes en las proteínas (Seçkin, 2021).

La energía libre de Gibbs representa la descripción termodinámica más importante para la caracterización del mecanismo molecular del *binding* entre moléculas. El modelo de interacción, frecuentemente aplicado, entre una molécula ligando y una proteína involucra la formación de un complejo [P-L] reversible entre, la proteína [P] y el ligando [L], el cual puede ser formulado como: [P] + [L] <—> [P-L].

En el presente estudio, de separación por afinidad, la proteína es el blanco a purificar y el ligando es una molécula biomimética que interacciona en el sitio de *binding* de la misma debido a la semejanza estructural con el ligando natural. El perfil energético del proceso de interacción refleja varios tipos de fuerzas no covalentes que conducen a la formación del complejo proteína-ligando. Estas incluyen contribuciones entálpicas asociadas con efectos electrostáticos, ionizantes, debido a fuerzas de van der Waals, puentes de hidrógeno y contribuciones entrópicas, las cuales, están vinculadas a transiciones configuracionales, hidratación y ganancia o pérdida en grados de libertad como energía de traslación, rotación y vibración del sistema. (Perozzo, 2024).

En el campo del modelado molecular, el docking molecular es un método que predice la orientación preferida de una molécula con respecto a una segunda cuando están unidos entre sí para formar un complejo estable e intervienen muchas fuerzas, incluidas las interacciones hidrofóbicas, de van der Waals o de apilamiento entre aminoácidos aromáticos, enlaces de hidrógeno y fuerzas electrostáticas **(**10**).** La cristalización permite estudiar a nivel atómico la estructura de una proteína, utilizando como paso final la difracción de Rayos X. Así se obtienen importantes datos estructurales que pueden relacionarse con su actividad, con su función y/o con la interacción con otras moléculas. El paso limitante en el estudio por difracción de rayos X es la obtención de cristales puros y de buena calidad.

Ferraris y col. (Ferraris, 2011) observaron un aumento de la cantidad de Lisozima adsorbida sobre un adsorbente de afinidad compuesto por células de levadura, *S. cerevisiae*, con la molécula ligando CBF3GA inmovilizado a la pared celular. Sin embargo, no hay investigaciones suficientes acerca del mecanismo de *binding* de la molécula de CBF3GA inmovilizada y el origen de su selectividad hacia Lisozima. Por lo tanto, predecir el comportamiento del complejo Lis-CBF3GA es de gran importancia para el desarrollo de nuevos sistemas de separación por afinidad más eficientes.

El objetivo de este trabajo fue presentar el análisis *in silico* y experimental del *binding* de Lis a CB-F3GA. Se estudió el perfil energético de la interacción, mediante análisis termodinámico de las interacciones intermoleculares, como fuerzas entrópicas y entálpicas, que están involucradas en la unión y formación del complejo Lis-CBF3GA. Paralelamente, se caracterizó por medio de herramientas bioinformáticas la unión de la enzima con el ligando, a partir de la información desde la base de datos de PDB (Protein Data Base). Alternativamente, se buscó obtener cristales de Lisozima unida al ligando Cibacron Blue por ensayos de co-cristalización a partir de condiciones ya descritas para Lisozima sin el ligando.

Materiales y métodos

1. Preparación del adsorbente de afinidad Célula de levadura-CBF3GA (Cel-CBF3FA): La preparación del adsorbente de afinidad se basó en la modificación química de la pared celular de *Saccharomyces cerevisiae* con etanol y calentamiento a elevada temperatura (Ruckestein, 1998). Luego se inmovilizó por unión covalente el pigmento-ligando Cibacron Blue F3GA a la superficie de la célula-soporte por reacción química por el agregado de NaCl (60 g/l) y Na_2CO_3 (20 g/l) se mantuvo a 80°C con agitación. Los adsorbentes de afinidad se lavaron, centrifugaron y finalmente se colocaron en una placa de Petri para ser liofilizadas.

2. Estudio de la adsorción de Lisozima a Cel-CBF3GA en el equilibrio: Los experimentos de adsorción fueron llevados a cabo en modo batch y se utilizó Lisozima de clara de huevo de alta pureza. Se pesaron 20 mg de adsorbente de afinidad liofilizado Célula de levadura-CBF3GA, se sumergieron en 5 ml de buffer de adsorción (Tris-HCl 0,05M; NaCl 0,05M; pH 8) y se incubaron durante 30 minutos para equilibrar y homogeneizar el medio. Para estudiar el efecto de la concentración inicial de Lis sobre la adsorción, el adsorbente de afinidad se sumergió en 5 ml de buffer de adsorción que contenían concentraciones de Lis desde 0,5 mg/ml hasta 30 mg/ml. La suspensión del adsorbente con la proteína en solución se mantuvo con agitación a 20°C durante 4 horas a 170 rpm. Por último, la suspensión se centrifugó a 5000g durante 10 minutos. Al sobrenadante de cada muestra se midió la absorbancia a 280 nm cuyo valor corresponde a la cantidad de proteína no adsorbida (c*), luego la concentración de proteína adsorbida (q^*) se calculó por balance de masa.

3. Estudio de la adsorción de Lis a Cel-CBF3GA a diferentes pHs: Se pesaron 20 mg de adsorbente de afinidad Célula de levadura-CBF3GA, se equilibró con 5 ml de buffer de adsorción. Luego se centrifugo y se puso en contacto con 5 ml de una solución de Lis a una concentración de 5 mg/ml. La variación de pH empleada fue desde pH 4 a pH10 usando diferentes soluciones buffers: (CH_3COONa-CH_3COOH 0,1M, pH5-6; Tris-HCl 0,05M, pH 7-10). La suspensión del adsorbente con la proteína soluble se mantuvo en agitación durante 4 horas a 20°C a 170 rpm. Luego de la agitación las muestras se centrifugaron a 5000 g durante 10 minutos. Finalmente se midió la absorbancia a 280 nm de los sobrenadantes para determinar la proteína no adsorbida y se calculó por balance de masa la cantidad de Lis absorbida.

4. Análisis Termodinámico del *binding* de Lis a CBF3GA: Se pesaron 20 mg de adsorbente de afinidad Célula de levadura-CBF3GA y se puso en contacto con 5 ml de buffer de adsorción para equilibrar el medio. Posteriormente las muestras fueron centrifugadas y el adsorbente de afinidad se sumergió en 5 ml de solución buffer (Tris-HCl 0,05M; NaCl 0,05M; pH 8) con concentraciones de Lis pura desde 0,2 mg/ml hasta 6 mg/ml; la mezcla fue agitada a 170 rpm durante 2 horas. Los experimentos de adsorción fueron llevados a cabo a diferentes temperaturas: 7°C, 15°C, 20°C y 37°C. Finalizado el proceso de adsorción, las muestras se centrifugaron durante 10 minutos, se midió la absorbancia a 280 nm de la proteína en el sobrenadante de cada muestra y se determinó la cantidad de Lis adsorbida por balance de masa.

5. Ensayos Bioinfomáticos: Se descargó la estructura de la Lisozima de la página PDB (Protein Data Bank) (Berman, 2000), 1GWD (Evans, 2002). Con el programa Pymol (DeLano, 2002), se eliminaron las moléculas de agua, Cloruros, Ioduros y moléculas de Sodio del archivo de estructura. La estructura del ligando Cibacron Blue se descargó desde la página PubChem (Kim, 2023). Su estructura fue convertida a un modelo 3D utilizando el programa AVOGADRO (Hanwell, 2012). La estructura final para los ensayos de docking fue obtenida con AVOGADRO luego de minimizar la estructura tridimensional en función de la energía potencial. Los ensayos de docking entre la proteína y el ligando se realizaron utilizando la plataforma del programa Chimera (Pettersen, 2004) ejecutando el programa Autodock-Vina. Para esto, se abrieron las 2 estructuras (Lisozima y Cibacron Blue) agregando, hidrógenos y carga. El docking propiamente dicho, se hizo ejecutando AutoDock Vina seleccionando una caja cúbica de 49Å3 que abarcaba todo el tamaño de la proteína. Se seleccionó la opción de 10 modelos máximos y luego se observaron los resultados comparando los valores de unión (scores). El programa Pymol, se utilizó para analizar visualmente los resultados obtenidos por el docking y los diferentes tipos de uniones fueron analizadas con el sitio web Plip

(Adasme, 2021). A partir de este análisis se propusieron diferentes modelos de unión de Cibacron Blue F3GA a Lisozima.

6. Co- Cristalización de Lisozima- Cibacron Blue.: Para la co-cristalización de Lisozima junto a su ligando Cibacron Blue se utilizó la técnica de difusión de vapor por el método hanging drop. En el armado de la placa, se colocó 50 µl de Acetato de Sodio 0,1M, NaCl a diferentes concentraciones por duplicado, llevando a un volumen final de 500µl con H2O, manteniendo un pH de 4,7. Luego de armar la placa, se dejó incubar la Lisozima (50mg/ml) con el ligando CBF3GA (0,5mg/ml) por 25 minutos. Posteriormente se prepararon las gotas, las cuales contenían 2µl de lo incubado y 2 µl de la solución en la placa (volumen final de la gota de 4µl). Las placas se incubaron a temperatura ambiente. Los resultados se observaron inmediatamente, a las 24hs, 48hs y a la semana bajo la lupa.

Resultados y discusiones

Estudio termodinámico de la adsorción de Lis a CB3FGA

1. Estudio de la adsorción de Lis a célula de levadura-CBF3GA en el equilibrio

Para estudiar el mecanismo molecular de la interacción proteína-ligando (Lis-CBF3GA) en primera instancia, se analizó las interacciones entre la proteína y los sitios de *binding* del adsorbente. Se obtuvieron datos experimentales de la adsorción como constante de disociación (K_d) y capacidad máxima de adsorción (q_m), las cuales fueron analizados por dos modelos de adsorción, isotermas de Langmur y Freundlich. Este ensayo permite saturar con la proteína de manera progresiva los sitios de unión presentes en la superficie del adsorbente Cél-CBF3GA hasta alcanzar la capacidad máxima de adsorción del mismo. La cantidad de proteína adsorbida se calcula como la diferencia entre la concentración inicial de proteína y la concentración de la proteína en el sobrenadante luego del batch.

En el modelo de Langmuir el proceso de adsorción puede ser descripto mediante la Ec.1:

$$q^* = \frac{c^* q_m}{K_d + c^*} \quad (1)$$

Donde las constantes q_m y K_d indican la capacidad de adsorción y constante de disociación-afinidad, respectivamente. Estos dos parámetros termodinámicos se pueden considerar como parámetros de eficiencia del proceso.

En el modelo de Freundlich el proceso de adsorción puede ser descripto mediante la Ec. 2

$$q^* = K_f (C^*)^{1/n} \quad (2)$$

Donde las constantes K_f y n son indicadores de la capacidad de adsorción e intensidad de la adsorción respectivamente.

A partir de las transformaciones lineales de la ecuación Langmuir (c^*/q^* vs c*) y de Freundlich (log q^* vs log C^*) se calcularon las constantes q_m y K_d (Langmuir) y K_f y n (Freundlich) mediante la Ec. 3 y 4 a partir de la pendiente y el intercepto (Tabla 1):

$$\frac{c^*}{q^*} = \frac{1}{q_m} c^* + \frac{K_d}{q_m} \quad (3)$$

$$\log q^* = \log K_f + (1/n) \log C^*$$

Tabla 1. Constantes de Langmuir y Freundlich para la adsorción de Lis a Cél-CBF3GA.

Constantes de Langmuir		Constantes de Freundlich		Coeficientes de correlación	
q_m (mg/g)	K_d (M)	K	n	Langmuir	Freundlich
315	$7{,}8 \times 10^{-6}$	239,06	3,135	R^2=0,999	R^2= 0,92

La linealidad de la gráfica semirrecíproca (R^2=0,999, coeficiente de correlación cercano a 1) es indicativo que el complejo Cél-CBF3GA-Lis responde al modelo de Langmuir en el rango de concentración analizado (Tabla 1). El modelo de Langmuir se basa en la homogeneidad de la adsorción y en la suposición de que las fuerzas ejercidas en la interacción del ligando con la proteína no se extienden más que a una sola molécula adsorbida (Wu, 2006). Con la ordenada al origen y la pendiente se calcularon q_m y K_d (Tabla 1). Según los resultados se observa una fuerte afinidad (K_d= $7{,}8 \times 10^{-6}$) y una elevada capacidad de adsorción (q_m= 315 mg Lis/g de adsorbente) del adsorbente Cel-CBF3GA por Lis.

Lis es una enzima NAD^+ dependiente, es decir requiere del cofactor Nicotinamida Adenina Dinucleótido (NAD^+) y la fuerte interacción entre el ligando Cibacron Blue y Lis se atribuye a que Lis se une por adsorción pseudo-bioespecífica a la molécula ligando (biomimética) a causa de la semejanza estructural electrónica de superficie entre el NAD^+ y el pigmento Cibacron (Garg, 1996). En la unión los anillos de los grupos antraquinona, diaminobenzeno y triazina del pigmento adoptan posiciones similares a los grupos adenina, adenosina ribosa y pirofosfato presentes en NAD^+ (Lowe, 1992).

2. Estudio de la adsorción de Lisozima a CBF3GA a diferentes Ph

La influencia del pH sobre la adsorción de Lis desde soluciones acuosas se estudió mediante la determinación de la capacidad de adsorción del adsorbente Cel-CBF3GA a diferentes pHs. La máxima cantidad de Lis adsorbida sobre el adsorbente Cel-CBF3GA fue obtenida a pH 8 (Fig 1).

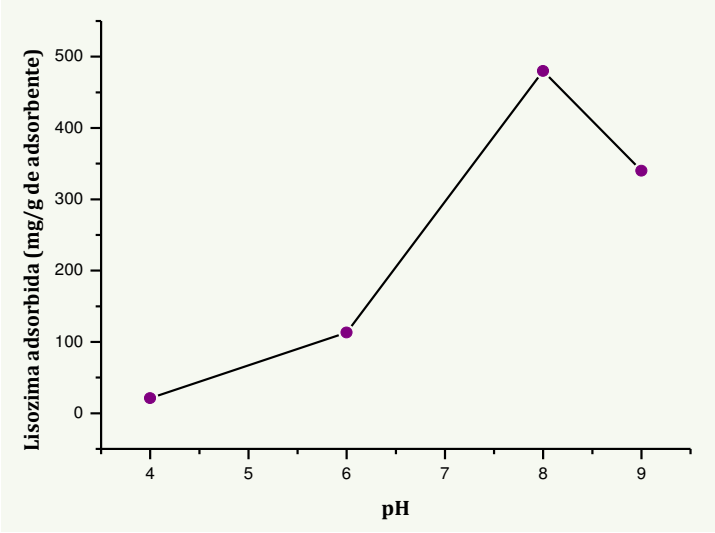


Fig. 1. Efecto del pH sobre la adsorción de Lis al adsorbente Cel-CBF3GA. Concentración inicial de Lis: 5 mg/ml; temperatura: 20 °C.

Existe una baja adsorción de Lis cuando el pH se encuentra por arriba o debajo de pH 8 (Fig. 1). A pH 4 Lis se encuentra cargada positivamente (pI 11) y los grupos sulfonatos del ligando (pK 5) se encontrarían en la forma protonada y poco accesibles para unirse a la enzima. Por lo tanto, fuerzas de repulsión electrostática podrían interferir en el *binding* de Lis a Cel-CBF3GA a pH menor de 8. A

pH 8 la unión podría deberse a interacciones hidrofóbicas combinadas con fuerzas electrostáticas tipo puente de hidrógeno entre Lis y el ligando (Atlintas, 2006). Lis posee sobre su superficie diversos residuos de aminoácidos que le permiten unirse al ligando; como histidina, ácido aspártico, glutámico, y residuos de tirosina. Estos residuos podrían también interaccionar con grupos cargados presentes en las moléculas del ligando (sulfonatos) favoreciendo interacciones aromáticas-hidrofóbicas entre Lis y el ligando (Atlintas, 2006). Finalmente, a pH 8 Lis podría encontrarse en un estado conformacional o plegamiento que favorece la interacción con CBF3GA. A pH 10 se obtuvo baja capacidad de adsorción comparada con pH 8. A pH 10 Lis está cerca de su punto isoeléctrico y por lo tanto se encuentra en un valor cercano a su neutralidad y es posible que las atracciones electrostáticas entre Lis y el adsorbente sean más débiles.

3. **Análisis Termodinámico del *binding* del ligando CBF3GA a Lisozima.**

Se estudió el efecto de la temperatura determinando los parámetros de capacidad de adsorción (q^*) y constante de afinidad de la adsorción (K_a) de Lis a CBF3GA. Los ensayos de adsorción se realizaron a 7°C, 15°C, 20°C y 37°C. Se calculó, para cada temperatura ensayada, la capacidad de adsorción (q_m) y la constante de disociación (K_d) en el equilibrio empleando la transformación lineal semirreciproca de la ecuación de Langmuir. La constante de afinidad (K_a) fue calculada a partir de la constante K_d, como $1/K_d$ (Tabla 2). En la Fig. 2 se muestran las isotermas de adsorción, realizadas a distintas temperaturas, correspondientes al complejo Lis-CBF3GA.

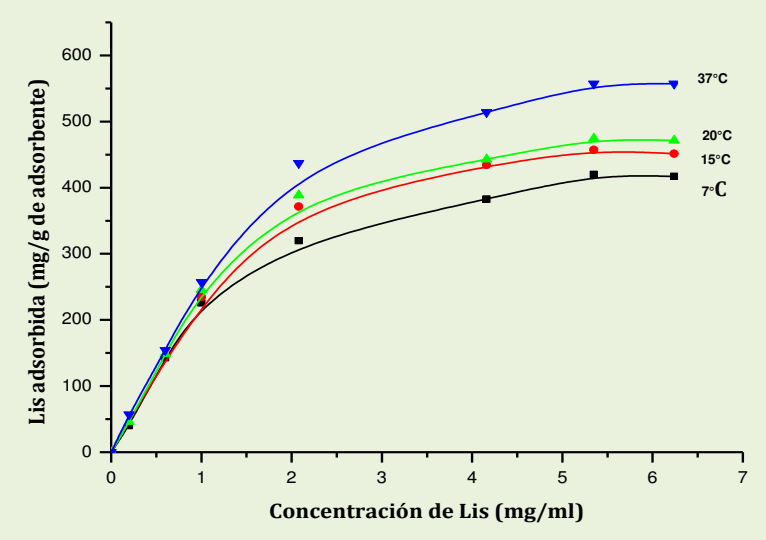


Fig. 2. Efecto de la temperatura sobre la velocidad de adsorción y capacidad de adsorción de Lis sobre el CBF3GA. Concentración de Lis: 0,2-6 mg/ml; pH: 8.

A partir de las distintas isotermas de la Fig. 2, se observa un aumento en la cantidad de Lis adsorbida con el aumento de la temperatura.

El parámetro termodinámico que representa el criterio fundamental de espontaneidad de un proceso de transformación es el cambio de energía libre de Gibbs, ($\Delta G°$) (Nie, 2007). Las reacciones ocurren espontáneamente a una determinada temperatura si $\Delta G°$ es una cantidad negativa. La energía libre de la adsorción de Lis sobre CBF3GA fue estimada a partir de las constantes de equilibrio calculadas de las isotermas obtenidas. El cambio de energía libre ($\Delta G°$) del complejo [P-L] en el equilibrio termodinámico ($\Delta G=0$) puede ser calculado a partir de la Ec. 5:

$$\Delta G° = -RT \ln K_{eq} \qquad 5$$

Donde ΔG° es el cambio de energía libre (kj/mol), T es la temperatura absoluta en grados Kelvin (°K), R es la constante universal de gases (8,314 j/mol°K). K_a es la constante de asociación o afinidad en el equilibrio y para Lis el valor calculado para c/temperatura se encuentra expresado en la Tabla 2.
La contribución entálpica o entrópica para una interacción [P-L] puede ser estimada por análisis de van`t Hoff, lo cual implica medir la dependencia de la afinidad del *binding* a los cambios de temperatura. Por lo tanto, en la aplicación del modelo, los valores de K_a son transformados a valores de ΔG° y usados para el análisis empleando las Ec. 6 y 7:

$$\ln K_a = -\frac{\Delta H^\circ}{RT} + \frac{\Delta S^\circ}{R} \qquad 6$$

$$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ \qquad 7$$

De la Ec. 7 pueden calcularse ΔH° y ΔS° a partir de la pendiente y del intercepto de la recta obtenida por la gráfica $\ln K_a$ vs 1/T.

La dependencia de la constante de afinidad por la temperatura para el *binding* de Lis sobre el pigmento CBF3GA acoplado a la célula de levadura fue analizado por las ecuaciones de Van`t Hoff y cuya gráfica resultante se observa en la Fig. 3. Los valores de ΔG° para Lis adsorbida sobre el ligando fueron calculados para cada temperatura y cuyos resultados se muestran en la Tabla 2.

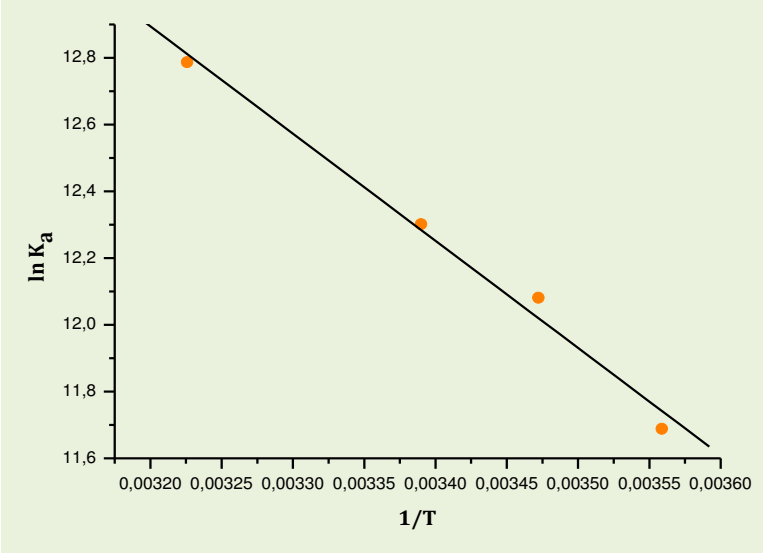


Fig. 3. Gráfica de van`t Hoff para la adsorción de Lis a CBF3GA

Tabla 2. Parámetros termodinámicos de la adsorción de Lis a CBF3GA

Temperatura (°K)	***q_m*** **(mg/g)**	***K_d*** **10^{-6} M**	**Ln *K_a***	**ΔG° (kJ/mol)**	**ΔH° (kJ/mol)**	**ΔS° (J/mol°k)**
280	417	8,396	11,688	-27,29		
288	451	5,664	12,081	-28,91	26,69	192,6
293	471	4,545	12,301	-30,16		
310	557	2,797	12,786	-32,94		

Como se observa en la Tabla 2 la constante de disociación (K_d) en el equilibrio del complejo CélCBF3GA-Lis disminuyó notablemente cuando la temperatura se modificó desde 7°C hasta 37°C Por lo tanto, esto significa un incremento en la constante de afinidad (K_a) con el aumento de la temperatura en el medio de adsorción.
En el análisis mediante estos ensayos experimentales sobre variabilidad de la constante de afinidad por la temperatura; un incremento de la constante de afinidad al disminuir la temperatura indica una significativa contribución de la entalpía en la formación del complejo [P-L]; y por el contrario el aumento de la constante al incrementar la temperatura es indicativo de contribuciones entrópicas.

Los resultados de los parámetros termodinámicos indican que el proceso de adsorción por afinidad de Lis sobre CBF3GA es espontáneo (ΔG-), endotérmico (ΔH+) y conducido por la entropía (ΔS+). Valores positivos ΔS indican un aumento en el desorden del sistema durante la adsorción. La contribución entrópica es fundamental en la reacción de *binding* y por lo tanto se atribuye a la interacción hidrofóbica la fuerza mayoritaria en la unión Lis-CBF3GA. Esto significa que las interacciones entre la molécula ligando y cadenas laterales hidrofóbicas de la proteína contribuyen de manera significativa a la energía libre del *binding.* Los residuos hidrofóbicos, mutualmente, repelen agua y otros grupos polares produciendo una atracción neta con los grupos no polares del ligando. Un cambio positivo de entropía representa un fuerte indicador que moléculas de agua han sido liberados desde la superficie del complejo proteína-ligando. Además, pueden intervenir grupos apolares y anillos aromáticos de triptófano, fenilalanina y tirosina participando en interacciones planares (stacking) con porciones aromáticas de la molécula ligando (contactos de Van der Waals). La molécula ligando CBF3GA presenta en su estructura química cuyos grupos aromáticos (no polares) y grupos sulfonatos (iónicos) que le confieren características especiales para unirse fuertemente en los sitios de varias enzimas como Lisozima (Fig. 4).

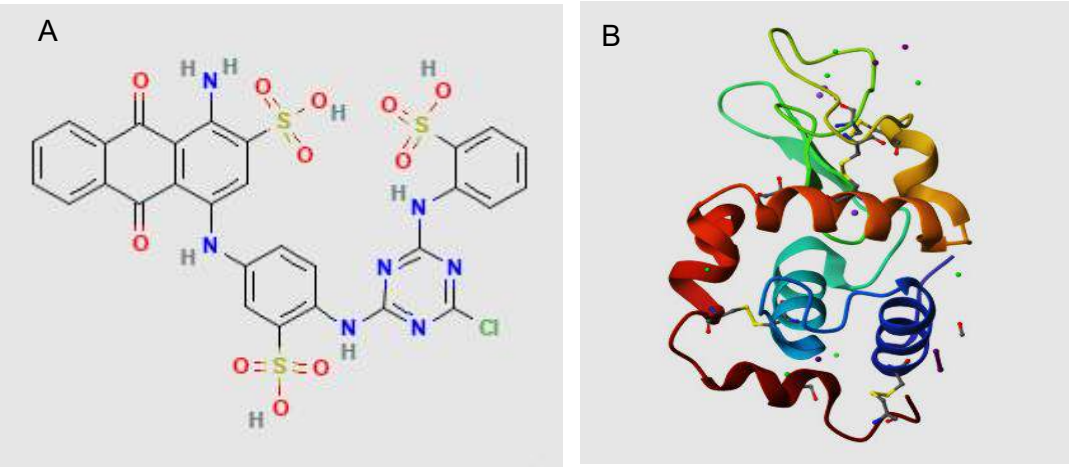


Fig.4. Estructura química de CBF3GA (A), Lisozima (B)

Teniendo en cuenta la estructura molecular de CBF3GA y los resultados obtenidos de los parámetros termodinámicos se propone, como posible mecanismo molecular de reacción de *binding*, una fuerza de interacción hidrofóbica predominante combinada con fuerzas de Van der Waals que contribuirían minoritariamente en la unión del complejo CBF3GA-Lis.

Estudios *in silico* para caracterizar la unión entre Lisozima y Cibacron Blue F3GA

Ensayos bioinformáticos de la interacción Lis-CBF3GA

La ejecución de los ensayos de docking con Autodock Vina desde el entorno de Chimera, mostro como resultado 10 modelos de unión posibles. Comparando los resultados por medio de la observación con Pymol, de los scores que arroja Autodock Vina y de los enlaces comparados a partir de la identificación con Plip se concluye que los mejores modelos de docking del ligando a Lisozima son los modelos 2, 3, 6, 7 o 9 (Tabla 3). Estos modelos muestran mayor cantidad de

interacciones fuertes y con una menor energía de unión. En todos los modelos seleccionados la interacción de la proteína con el ligando se produce en un bolsillo donde se destacan una región cargada negativamente y regiones hidrofóbicas.

Tabla 3. Modelos de unión, energía de unión, tipos de interacción, cantidad de las mismas, residuos y aminoácidos involucrados.

Modelo	Energía (kcal/mol)	Uniones Hidrofóbicas	Puentes de Hidrógeno	Puentes Salinos	Apilamiento Pi
2	- 9.3	2	6	1	1
3	- 9.3	2	9		
6	- 8.8	1	8	1	
7	- 8.7	4	7		
9	- 8.7	5	7		

Las imágenes obtenidas por Pymol (Fig. 5) permiten observar la interacción de la Lisozima con el ligando CBF3GA para el modelo 3 de docking.

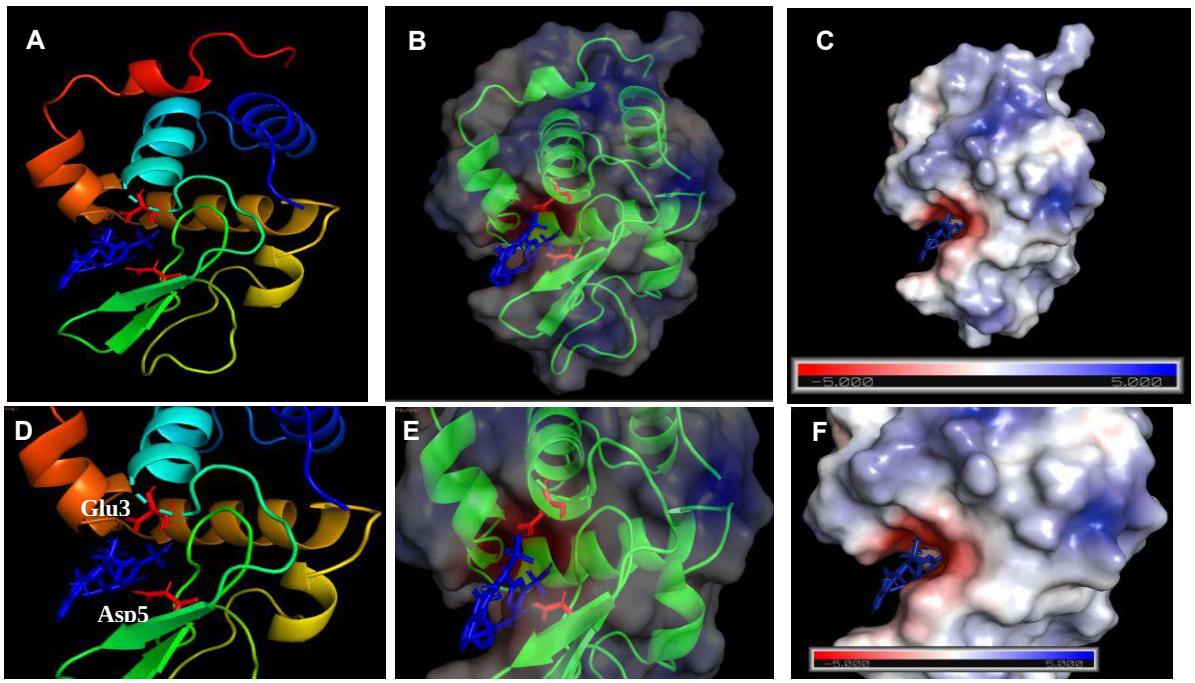


Fig. 5. Imágenes del modelo 3 correspondientes a la unión Lis – CBF3GA

En la Fig. 5 se puede observar que en verde están representados los aminoácidos correspondientes al sitio activo de la enzima (Asp52 y Glu35), en celeste el ligando CBF3GA. La interacción de la enzima y el ligando CBF3GA se da posiblemente por medio de estos aminoácidos, los cuales forman parte del sitio activo de la misma.

Cristalización del complejo Lisozima – CBF3GA

Las condiciones óptimas de cristalización se observaron en las concentraciones: 0,6M, 0,7M y 0,8M de NaCl como agente precipitante, 0,1M de Acetato de Sodio, 50mg/ml de Lisozima y 0,5 mg/ml de

Cibacron Blue F3GA, a un pH 4,7. Los primeros se observaron entre las 48-72hs, y continuaron creciendo durante una semana (Fig. 6).

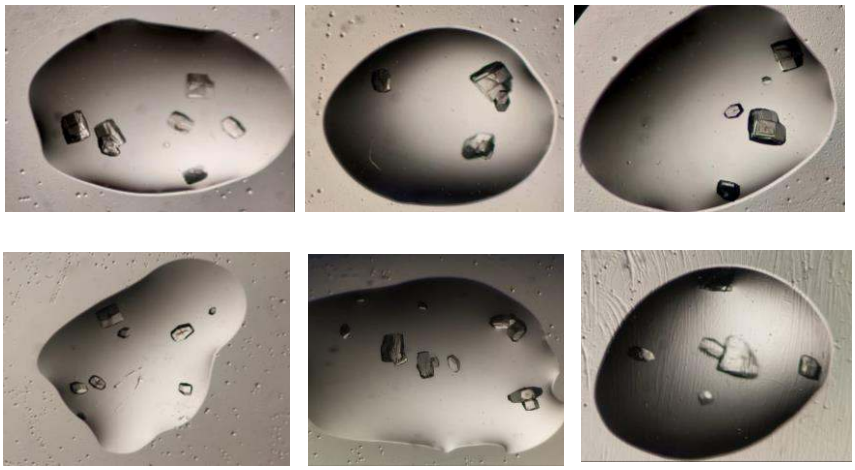


Fig.6. Imágenes de cristales obtenidos en la Placa Limbro Box

Los cristales obtenidos son similares a los observados con Lisozima sin el sustrato, mostrando en este caso una leve coloración celeste. Esta coloración indicaría la presencia del ligando CBF3GA en los cristales con Lisozima; sugiriendo la posible unión específica entre la enzima y el ligando.

Conclusiones

Del estudio sobre la influencia del pH en el proceso de adsorción de Lis a CBF3GA, se observó que para el caso de Lis la mayor adsorción sobre CBF3GA se logra a pH 8. El valor negativo de $\Delta G°$ confirma la factibilidad del proceso y la naturaleza espontánea de la adsorción de Lis sobre el ligando. El valor positivo de $\Delta H+$ y $\Delta S+$ indica que el proceso de adsorción de Lis es endotérmico y conducido por la entropía; lo cual podría dar lugar a la interacción hidrofóbica como la fuerza de unión predominante en la formación del complejo Lis-CBF3GA.

Los ensayos de docking permitieron obtener modelos de la unión entre Lis y CBF3GA, mostrando que la interacción de la proteína con el ligando se produce en un bolsillo donde se destacan regiones cargadas negativamente e hidrofóbicas, coincidiendo con los resultados observados a partir del análisis termodinámico.

Los cristales obtenidos se pueden utilizar en futuros ensayos de difracción para determinar la estructura del complejo proteína-ligando.

A través de este trabajo intentamos aproximarnos a un mecanismo que nos permita determinar modelos de interacción entre Lis + CB-F3GA, lo cual es de gran importancia en el desarrollo de sistemas de separación por afinidad más eficientes.

Referencias

1. Adasme M F, Linnemann, K L, Bolz, S N, Kaiser F, Salentin, S, Haupt V J, Schroeder M. (2021). PLIP 2021: expanding the scope of the protein-ligand interaction profiler to DNA and RNA. Nucleic acids research, 49(W1), W530–W534.https://doi.org/10.1093/nar/gkab294

2. Berman HM, Westbrook J, Feng Z, Gilliland G, Bhat TN, Weissig H, Shindyalov I, Bourne P, (2000). The Protein Data Bank. Nucleic Acids Research (28), 235-242. https://doi.org/10.1093/nar/28.1.235

3. Altıntaş EB, Denizli A. (2006). Monosize poly (glycidyl methacrylate) beads for dye-affinity purification of lysozyme. International Journal of Biological Macromolecules, 38(2), 99-106. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2006.01.011

4. Alderton G, Fevold HL. Direct crystallization of lysozyme from egg white and some crystalline salts of lysozyme. 1946. J Biol Chem. 64 (1-5). https://doi.org/10.1016/S0021-9258(18)43040-2

5. Baron F, Nau F; Guérin C, Bonnassie S, Gautier M, Andrews S, Jan S. (2016). Egg white versus Salmonella Enteritidis! A harsh medium meets a resilient pathogen. Food Microbiology. 53 (82-93). 10.1016/j.fm.2015.09.009. DOI:10.1016/j.fm.2015.09.009

6. Chiang B H, Su C K, Tsai G J, Tsao, G T. (1993). Egg white lysozyme purification by ultrafiltration and affinity chromatography. Journal of Food Science, 58(2), 303-306. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1993.tb04261.x https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1993.tb04261.x

7. DeLano WL (2002) PyMOL molecular graphics system. Available at: http://www.pymol.org.

8. Evans G, Bricogne G. (2002). Triiodide derivatization and combinatorial counter-ion replacement: two methods for enhancing phasing signal using laboratory Cu Kalpha X-ray equipment. Acta crystallographica. Section D, Biological crystallography, 58(Pt 6 Pt 2), 976–991. https://doi.org/10.1107/s0907444902005486.

9. Ferraris MP, Barrera G, Pérez Padilla A, Rodríguez J. 2011. Affinity adsorption of lysozyme on a macroligand prepared with Cibacron Blue 3GA attached to yeast cells, Journal of Chromatography B, (879), 26, 2011, 2741-2745. https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2011.07.040.

10. Garg, N, Galaev I Y, Mattiasson, B. (1996). Dye-affinity techniques for bioprocessing: Recent developments. Journal of Molecular Recognition, (9), 259-274. https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1352(199607)9:4%3C259::AID

11. Grasselli M, Camperi S A, Agustin A, del Cañizo Navarro, Cascone O (1999) Direct lysozyme separation from egg white by dye membrane afnity chromatography. J Sci Food Agric 79(2):333–339. https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(199902)79:2%3C333::AID-JSFA198%3E3.0.CO;2-L

12. Hanwell, M.D., Curtis, D.E., Lonie, D.C. et al. Avogadro: an advanced semantic chemical editor, visualization, and analysis platform. J Cheminform 4, 17 (2012). https://doi.org/10.1186/1758-2946-4-17

13. Kim S, Chen J, Cheng T, Gindulyte A, He J, He S, Li Q, Shoemaker B A, Thiessen P A, Yu B, Zaslavsky L, Zhang J, Bolton E E. (2023). PubChem 2023 update. Nucleic Acids Res., 51(D1), D1373–D1380. https://doi.org/10.1093/nar/gkac956

14. Li-Chan E, Nakai I S, Sim J, Bragg D.B., Lo K.V. 1986. Lysozyme Separation from Egg White by Cation Exchange Column Chromatography. Journal of Food Science 51, 0022-1147 https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1986.tb11226.x.

15. Lowe C, Burton S, Burton NP, Alderton WK, Pitts JM, Thomas JA. 1992. Designer dyes: 'biomimetic' ligands for the purification of pharmaceutical proteins by affinity chromatography, Trends in Biotechnology, (10), 442-448. https://doi.org/10.1016/0167-7799(92)90294-6

16. Nie H L, Chen T X, Zhu L M. (2007). Adsorption of papain on dye affinity membranes: Isotherm, kinetic, and thermodynamic analysis. Separation and Purification Technology, (57), 121-125. https://doi.org/10.1016/j.seppur.2007.02.019.

17. Perozzo R, Folkers G, Scapozza L. (2004). Thermodynamics of protein–ligand interactions: history, presence, and future aspects. Journal of Receptors and Signal Transduction, 24(1-2), 1-52. https://doi.org/10.1081/RRS-120037896

18. Pettersen E F, Goddard T D, Huang CC, Couch G S, Greenblatt D M, Meng E C, Ferrin T E (2004). UCSF Chimera--a visualization system for exploratory research and analysis. Journal of computational chemistry, 25(13), 1605–1612. https://doi.org/10.1002/jcc.20084

19. Ruckenstein E, Zeng X, 1998. Albumin separation with Cibacron Blue carrying macroporous chitosan and chitin affinity membranes, Journal of Membrane Science, (142), Issue 1, 13-26. https://doi.org/10.1016/S0376-7388(98)00025-8.

20. Salha D, Andaç M, Denizli A. 2021. Molecular docking of metal ion immobilized ligands to proteins in affinity chromatography. J Mol Recognit. 34(2):e2875. https://doi.org/10.1002/jmr.2875

21. Seçkin K, Müge A, Adil D, 2021. *Binding* modes of cibacron blue with albumin in affinity chromatography using docking tools, International Journal of Biological Macromolecules, (183), 110-118. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.04.142

22. Shahmohammadi, A. 2018. Lysozyme separation from chicken egg white: a review. Eur Food Res Technol. (**244)**, 577–593. https://doi.org/10.1007/s00217-017-2993-0

23. Wu J, Yu H. 2006. Biosorption of 2,4-dichlorophenol from aqueous solution by Phanerochaete chrysosporium biomass: Isotherms, kinetics and thermodynamics, Journal of Hazardous Materials, (137), Issue 1,498-508. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.02.026.

24. Yılmaz M, Bayramoğlu G, Arıca M. Y. (2005). Separation and purification of lysozyme by Reactive Green 19 immobilised membrane affinity chromatography. Food Chemistry, 89(1), 11-18. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.01.072

EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE DIETAS DE VACAS LECHERAS EN LAS EXCRECIONES DE COMPUESTOS NITROGENADOS

Camila Bellotti[1], María P. Tieri[2], Roberto Pepino Minetti[3]

[1]Facultad Regional Villa María, UTN. Av. Universidad 450 – XGB5900 Villa María, Córdoba, Argentina
[2]Facultad Regional Rafaela, UTN. Acuña 49 – S2300 Rafaela, Santa Fe, Argentina
[3]Facultad Regional Córdoba, UTN. Maestro M. López esq. Cruz Roja Argentina S/N – Córdoba, Córdoba, Argentina

Resumen

Las emisiones gaseosas de la ganadería son factores importantes del cambio climático, contribuyendo al calentamiento global. Además del metano y el dióxido de carbono, los compuestos nitrogenados deben ser considerados debido a su efecto tóxico en el ambiente y los seres vivos. En la ganadería, las excreciones de vacas lecheras están vinculadas directamente con la alimentación. La urea nitrogenada en leche (MUN) sirve como indicador del exceso de nitrógeno (N) en la dieta y de la eficiencia en su uso, así como del N excretado al ambiente por los rumiantes. Este estudio comparó dos sistemas de producción de leche similares, uno con vacas Holando (H) y otro con vacas cruza Holando x Jersey (HxJ). La principal diferencia radicó en el contenido de proteína bruta (PB) en la dieta (19,91% para H y 20,45% para HxJ), crucial para la nutrición y la excreción de N. Ambos grupos mostraron valores de MUN superiores a 15 mg/dl (22,44 mg/dl para H y 22,47 mg/dl para HxJ), indicando un exceso de PB en la dieta. Los resultados de nitrógeno total en orina (447,83 mg/dl para H y 368,03 mg/dl para HxJ) y el porcentaje de N en heces (2,61 % para H y 2,44 % para HxJ) revelaron diferencias significativas entre ambos grupos, sugiriendo que tanto la raza animal como la dieta influyen en estos parámetros. En resumen, una alimentación balanceada y adecuada es crucial para prevenir excesos de proteína en la dieta, lo que puede afectar la reproducción, la salud animal y el medio ambiente.

Palabras clave: ganado lechero, nutrición, emisiones, nitrógeno, ambiente.

Introducción

Actualmente, existe una gran preocupación por el cambio climático debido a la confirmación de calentamiento global ocasionado por causas antropogénicas, como consecuencia del incremento de Gases de Efecto Invernadero (GEI) (IPCC, 2007), dentro de los cuales se destacan el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4), el óxido nitroso (N_2O) y los clorofluorocarbonos (Steinfeld et al., 2009); además, el amoníaco (NH_3) es una de las emisiones gaseosas más tóxicas y precursor del N_2O, siendo de gran relevancia su reducción (Flotats Ripoll, 2022). A nivel mundial, el sector ganadero, y con especial énfasis los rumiantes, representa una fuente importante de emisión de GEIs (Alayón-Gamboa et al., 2018), estimándose como responsable del 18% de las emisiones mundiales (INTA, 2011) y del 21,6% del total de las emisiones nacionales (SAyDS, 2019).

Las excretas animales (heces + orina), se producen en cantidades considerables (Glez Eirexas, 2018; Ordoñez-Vargas et al., 2023), provocando impactos ambientales negativos no sólo debido a la emisión de gases hacia la atmósfera, sino también a la acumulación de micro y macronutrientes en el suelo y cuerpos hídricos superficiales. La tasa de excreción de nitrógeno (N) de los animales varía en función de la composición de la dieta y de las prácticas de manejo del pastoreo que se implementen en el sistema ganadero; además, dependerá del consumo de materia seca (MS), la concentración proteica y la digestibilidad de la dieta (Elizondo Salazar, 2006; Ordoñez-Vargas et al., 2023). En dichas excreciones se eliminan entre el 75% y el 90% del N consumido (Rivera-Herrera et al., 2015), lo que significa que la vaca libera más N al ambiente del que utiliza para su producción de leche y supervivencia (Glez Eirexas, 2018). Por lo que, a partir de una correcta gestión de la alimentación se puede disminuir la cantidad de N total excretado y las emisiones de

compuestos nitrogenados; incrementando al mismo tiempo la productividad, el aprovechamiento de nutrientes y disminuyendo los costos de producción (Romero Salvador, 2021).

La concentración de N ureico en leche (NUL/MUN, del inglés Milk Urea Nitrogen) es una herramienta utilizada para monitorear la utilización del N en las explotaciones lecheras y determinar desequilibrios nutricionales relacionados con la proteína y la energía de la dieta para el bovino (Ceballos-Márquez, 2006; Salcedo Díaz, 2011). La urea en leche está relacionada con las concentraciones de NH_3 en rumen y urea en sangre, a su vez, afectada por las concentraciones de proteína de la dieta y la relación proteína/energía. Aunque la urea en leche no afecta directamente a las emisiones de NH_3 y N_2O, sí lo hace de manera indirecta debido a la mayor excreción de N en heces y orina (Salcedo Díaz, 2011).

Se realizó la evaluación del impacto de las dietas de vacas lecheras en las excreciones de compuestos nitrogenados en donde se determinó el N total excretado a través de orina y heces, el contenido de urea, creatinina y nitrógeno amoniacal en muestras de orina y el contenido de nitrógeno ureico en leche (MUN) para determinar el estado nutricional de las vacas. Asimismo, se analizó la calidad de las dietas y se realizó en balance de N correspondiente. Dichos análisis se llevaron a cabo con vacas de dos rodeos distintos en cuanto a su raza y alimentación.

Materiales y métodos

Se llevó a cabo un muestreo en el tambo del INTA Campo Roca (31°24´S, 61°60´O) que se encuentra en las cercanías de la localidad de Presidente Roca, provincia de Santa Fe, en el mes de diciembre de 2023 (Figuras 1).

Figura 1. Tambo INTA Campo Roca.

Como se mencionó anteriormente, se analizaron dos rodeos distintos dentro de la misma instalación cuyas diferencias radican no solo en la raza animal (Holando o cruza de Holando x Jersey) sino también en las dietas suministradas (mismos componentes pero distintas proporciones). El rodeo de vacas lecheras Holando (H) formado por 74 animales en ordeñe con un peso promedio vivo de 650kg mientras que, el rodeo de vacas lecheras Holando x Jersey (HxJ) con 86 rumiantes en ordeñe y un peso promedio vivo de 580 kg. (Figuras 2 y 3).

Figura 2. Rodeo de vacas Holando.

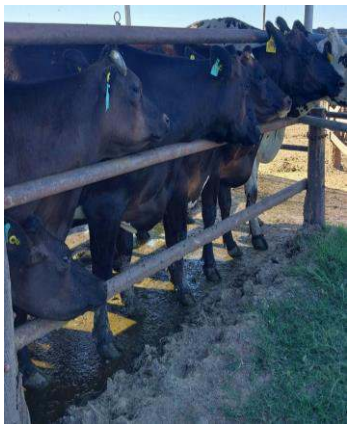


Figura 3. Rodeo de vacas cruza Holando x Jersey.

Durante el ordeñe de la tarde (14:00 p.m.), se tomaron muestras de leche, orina y heces de cada uno de los rodeos y además, se analizó la composición de las dietas.

Por un lado, se realizó el análisis composicional de muestras de leche mediante el método ISO 9622 IDF 141:2013, tomándose una muestra representativa para cada uno de los rodeos al finalizar el proceso de ordeñe. Las muestras se refrigeraron con los conservantes correspondientes hasta su posterior análisis. Se determinó el contenido de grasa, proteína, lactosa, sólidos totales (ST), sólidos no grasos (SNG), urea y caseína. Además, se calculó NUL/MUN para cada uno de los grupos de ganado lechero a partir de los valores obtenidos de urea en leche (MUN (mg/dl): Urea (mg/dl)/2,1428).

Por otro lado, teniendo en cuenta que la orina presenta gran variedad de constituyentes nitrogenados, se analizaron aquellos que representan el mayor porcentaje en la misma. Se tomaron muestras representativas de orina y se separaron. Por un lado, para la determinación de urea y creatinina se refrigeraron a 4°C hasta su análisis mediante cinética UV (Weiner lab); mientras que para las determinaciones de Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK), y N-NH_3 (nitrógeno amoniacal) mediante metodología Kjeldahl sin digestión (AOAC, 1999) se congelaron inmediatamente luego de su extracción sin acidificación y descongelaron días después para llevar a cabo los mismos. Asimismo, se guardaron muestras congeladas para análisis futuros de NH_3 mediante trampas húmedas ácidas y N_2O por medio de cámaras estáticas. Además, se determinó el volumen de orina diario de los bovinos utilizando la excreción de creatinina como marcador interno, siendo ésta una alternativa simple, económica y no invasiva respecto a la recolección total de orina. Esta técnica permitió estimar el volumen de orina basado en el supuesto que la excreción de creatinina es relativamente constante por individuo y está en función de su peso vivo (PV) (Escobar Puerta et al., 2010). La excreción diaria de creatinina por unidad de peso corporal de los animales no es afectada por la dieta, la raza y el nivel de producción de leche, pero puede ser influenciada por la edad y condición corporal del animal (Tieri, 2020).

En cuanto a las muestras de heces se analizó el contenido de MS mediante el protocolo PROMEFA-v2-AOAC, 1990 N°130.15 y N° 167.03 (Materia seca a 60°C) y el nitrógeno mediante metodología Kjeldahl (AOAC, 1999). Para ello las muestras de heces frescas, recogidas inmediatamente después de su deposición por los animales, se identificaron y conservaron a 4°C hasta su análisis. Luego se tomó una muestra representativa de cada uno de los rodeos y se procedió a su secado en estufa de aire forzado a 60°C hasta peso constante para posteriormente continuar con las determinaciones analíticas. Al igual que en las muestras de orina, se guardaron muestras congeladas para las futuras determinaciones de NH_3 y de N_2O sin previa acidificación para evitar cualquier tipo de interferencia.
Las determinaciones fueron realizadas en laboratorios de la ciudad de Rafaela (Santa Fe) y Hernando (Córdoba). Cabe destacar que estos son resultados parciales de la investigación de la tesis de doctorado de la autora principal, los mismos serán complementados, como se mencionó

anteriormente, con determinación de N_2O mediante cámaras estáticas y determinación de amoníaco NH_3 mediante la técnica de trampas húmedas ácidas, tanto para orina como para heces.

Resultados y análisis de datos

Los grupos lecheros analizados fueron alimentados con los mismos compuestos en dos lotes diferentes. En el caso de H los kg de MS suministrados a los rumiantes fueron superiores que los ofrecidos al rodeo de HxJ. En la Tabla 1 quedan expuestas las composiciones de cada una de las dietas y en la Tabla 2 la calidad de las mismas.

Tabla 1. Composición de las dietas.

Componentes (kg MS)	H	HxJ
Balanceado	6,40	5,50
Algodón	0,80	0,80
Heno de alfalfa	1,80	1,00
Alfalfa pastura	14,60	13,60
Total	**23,60**	**20,90**

Tabla 2. Calidad de las dietas de los rodeos.

Componentes	H	HxJ
MS (%)	47,71	45,53
PB (%)	19,91	20,45
FDN (%)	36,72	36,11
FDA (%)	22,87	22,69
LDA (%)	22,87	22,69
EE (%)	22,87	22,69
CZ (%)	22,87	22,69

MS: Materia Seca. PB: Proteína Bruta. FDN: Fibra Detergente Neutra. FDA: Fibra Detergente Ácida. LDA: Lignina Detergente Ácida. EE: Extracto Etéreo. CZ: Cenizas.

A partir de la Tabla 1, se puede observar que existen diferencias en las proporciones de los componentes de las dietas de los rodeos analizados. Esto se puede visualizar de una manera más comprensible en la Tabla 2, ya que se llevó a cabo un análisis de la calidad de las dietas suministradas. El contenido de proteína bruta (PB) es de especial interés debido a que evalúa el estado nutricional de los rumiantes, es decir permite determinar el N suministrado a los animales durante la nutrición. En este caso existe una pequeña diferencia entre ambos rodeos, habiéndosele ofrecido más PB al rodeo HxJ respecto del H.

Por otro lado, en la Tabla 3 se exponen los resultados obtenidos de la composición química de la leche y el indicador nutricional (MUN) para cada uno de los rodeos evaluados, observándose similitudes entre los mismos. A partir del valor de urea se evaluó el NUL/MUN, el cual permite determinar el estatus nutricional proteico del ganado lechero, sirviendo como herramienta de diagnóstico, ya que analiza la cantidad de proteína y su relación con la energía ofrecida en la dieta. Tradicionalmente, los valores de NUL no deberían superar los 15mg/dl. Un valor superior a éste indica que los niveles de PB de la dieta son elevados, generando un bajo nivel de Eficiencia en el Uso de Nitrógeno (EUN) y un alto nitrógeno ureico en orina (Hutjens y Chase, 2012), ambos indeseables. Tanto para el rodeo H como para HxJ se obtuvieron valores por encima de 15 mg/dl, indicando que hay un exceso de proteína bruta en la dieta, pudiendo generar inconvenientes en la reproducción animal (Cerón-Muñoz et al., 2014). Asimismo, según los autores González-Rodríguez y Vázquez-Yañez (2000), si el valor de la proteína en leche es superior al 3,2% y el valor de urea en leche es mayor que 300 mg/l existe un exceso de proteína en la dieta, tanto para el caso de H como para el de HxJ se cumplen dichas afirmaciones.

Tabla 3. Composición química de la leche de los rodeos y MUN

		H	HxJ
Leche	Grasa (g/100ml)	3,50	3,64
	Proteína (g/100ml)	3,21	3,44
	Lactosa (g/100ml)	4,85	4,88
	Sólidos totales (ST) (g/100ml)	12,28	12,72
	Sólidos no grasos (SNG) (g/100ml)	8,78	9,08
	Urea (mg/100ml)	48,08	48,15
	Caseína (g/100ml)	2,47	2,62
Indicador	NUL/MUN (mg/dl)	22,44	22,47

Los resultados obtenidos en la Tabla 3, a excepción del indicador nutricional (MUN), se representaron gráficamente (Figura 4) para visualizar la comparación entre los mismos.

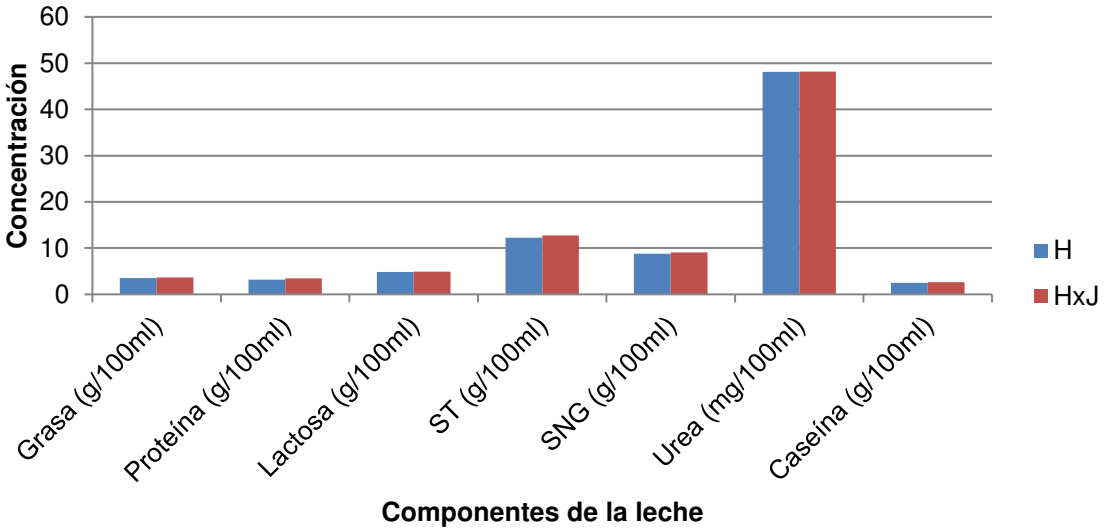


Figura 4. Comparación de los componentes de la leche para ambos rodeos.

En cuanto a las determinaciones analíticas en orina, quedan expresados los resultados de NTK, urea, nitrógeno ureico (determinado mediante el factor de conversión 2,1428 a partir del valor de urea), creatinina, N-NH_3 y volumen de orina en la Tabla 4.

Tabla 4. Componentes nitrogenados de la orina de ambos rodeos.

Componentes	**H**	**HxJ**
NTK (mg/100ml)	447,83	368,03
N-NH_3 (mg/100ml)	61,68	54,32
N-ureico (mg/dl)	441,89	310,03
Urea (mg/100ml)	946,89	664, 33
Creatinina (mg/100ml)	24,13	17,39
Volumen de orina (l)	99,46	63,96

Los valores obtenidos para cada uno de los análisis anteriormente mencionados fueron superiores para el rodeo H en comparación con el de HxJ; por lo que la raza animal y las dietas son factores que influyen en los mismos.

Mientras que, en la Tabla 5 se observan los resultados obtenidos tras las determinaciones analíticas efectuadas en las heces de ambos rodeos, pudiendo visualizarse que el valor de MS es superior en HxJ respecto de H, sin embargo el valor de N para ambos casos es similar. Esto puede relacionarse directamente con la cantidad de PB y MS suministrada a cada uno de los rumiantes mediante la alimentación.

Tabla 5. Componentes nitrogenados de las heces de ambos rodeos.

Componentes	H	HxJ
MS, %	9,14	15,64
Nitrógeno, %	2,61	2,44

A partir de todo lo expuesto anteriormente fue posible determinar el balance de N en cada uno de los rodeos analizados para así evaluar el porcentaje de N liberado al ambiente. En la Tabla 6 quedan expuestos los resultados obtenidos en donde el rodeo H obtuvo un valor de 68,56% de N excretado al ambiente mientras que el HxJ un valor de 60,65%, ambos por debajo del 70% esperado (Chase, 2007). La gran diferencia se observó en la excreción de N en orina, la cual fue de 48,7% del N consumido para las vacas H y 41,9% para las vacas HxJ. Éstas últimas (HxJ) excretaron el 19,2% del N consumido en forma de leche, mientras que las H fueron menos eficientes utilizando el 17,2% del N para su producción.

Tabla 6. Balance de nitrógeno para ambos rodeos.

	H	HxJ
Peso vivo (kg)	650	580
Producción de leche (litros/VO/día)	25,4	23,6
Consumo de N (g/día)	751, 6	684,0
N excretado en Leche (g/día)	131,9	131,3
N excretado en Orina (g/día)	366,0	286,4
N excretado en Heces (g/día)	149,3	128,3
Balance (g/día)	104,4	137,8
% Excretado	68,56	60,65

Conclusiones

El análisis de los datos revela diferencias significativas en la alimentación y eficiencia de los rodeos Holando (H) y Holando x Jersey (HxJ). A pesar de que ambos grupos recibieron dietas con niveles elevados de proteína bruta, lo cual se refleja en los valores de urea en la leche y en la orina, el rodeo HxJ mostró una mayor eficiencia en el uso del nitrógeno. Este rodeo excretó menos nitrógeno al ambiente y utilizó un mayor porcentaje del mismo para la producción de leche en comparación con el rodeo H.

Por otro lado, se evaluó el indicador nutricional (NUL/MUN) para ambos grupos, encontrándose valores que sugieren un exceso de proteína en la dieta, el cual puede afectar la reproducción animal. Adicionalmente, se aplicaron otros criterios, como el valor de proteína y urea en leche, para confirmar el exceso de proteína en la dieta tanto para vacas H como para vacas HxJ.

Los datos obtenidos en este estudio sugieren que la gestión adecuada de la dieta y la selección genética pueden mejorar la eficiencia en la producción lechera, reduciendo el impacto ambiental relacionado con la excreción de nitrógeno y optimizando el uso de los recursos nutricionales disponibles. Estos resultados revelan la importancia de un manejo nutricional preciso para maximizar la eficiencia y sostenibilidad en la producción de leche.

Referencias

Alayón-Gamboa, J. A., Jiménez-Ferrer, G., Piñeiro-Vázquez, A. T., Canul-Solís, J., Albores-Moreno, S., Villanueva-López, G., y otros. (2018). Estrategias de mitigación de gases de efecto invernadero en la ganaderia. *Agroproductividad*, 9-15.

AOAC. (1999). *Official methods of analysis 17th edn. Association of Official Analytical Chemists.* Arglinton - Estados Unidos.

Ceballos-Márquez, A. (2006). Milk urea: Use, interpretation, and its relation to milk protein. *Research Gate*.

Cerón-Muñóz, M. F., Henao Velásquez, A. F., Múnera Bedoya, Ó. D., Herrera Ríos, A. C., Díaz Giraldo, A., Parra Moreno, A. M., y otros. (2014). *Concentración de nitrógeno ureico en leche - Interpretación y aplicación práctica.* Medellín - España: Fondo Editorial Biogénesis.

Chase, L. E. (2007). Feeding Low Crude Protein Rations to Dairy Cows. *Opportunities and Challenges*, http://livestocktrail.illinois.edu/uploads/dairynet/papers/8%20Chase.pdf.

Elizondo Salazar, J. (2006). El nitrógeno en los sistemas ganaderos de leche. *Agronomía Mesoamericana 17 (1)*, 69-77.

Escobar Puerta , L., Bolívar Vergara, D. M., & Espinosa García, D. (2010). Uso de la Excreción de Creatinina como Método Alternativo a la Colecta Total de Orina en Vacas Holstein. *Revista de la Facultad Nacional de Agronomía vol. 63 N°2*, 5567-5576.

Flotats Ripoll, X. (2022). Gestión de purines y emisión de gases contaminantes. *SUIS N° 193*, 8-14.

Glez Eirexas, D. (2018). “Solamente el 28% del nitrógeno ingerido por la vaca acaba en la leche, y podemos llegar al 40%”. *Campo Ga-Ego*.

González Rodríguez, A., & Vázquez Yañez, O. (2000). *El análisis de urea en leche como indicador de balance nutritivo de la alimentación de las vacas.* España: Centro Investigacions Agrarias Mabegondo - Instituto Lácteo Ganadeiro Galego.

Hutjens, M., & Chase, L. E. (2012). Interpreting milk urea nitrogen (MUN) values. Extension. *America's research-based learning network* , https://articles.extension.org/pages/11322/interpreting-milk-urea-nitrogen-mun-values.

INTA. (19 de Mayo de 2011). Ganadería y efecto invernadero: mejor producción, menos contaminación. *INTA informa*.

IPCC. (2007). *Intergovermental Panel on Climate Change. Cambio climático 2007. Informe de síntesis.* Ginebra, Suiza.

Ordoñez-Vargas, W. F., Posada-Ochoa, S. L., & Rosero-Noguera, R. (2023). Emisiones de gases de efecto invernadero por aplicación de excrementos bovinos al suelo. *Información tecnológica vol.34 (1)*, 101-116.

Rivera Herrera, J. E., Molina Durán, C. H., Molina Echeverry, J. J., Molina Durán, E. J., Chará, J., & Barahona Rosales, R. (2015). Determinación de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) provenientes de la orina y el estiércol bovino en dos sistemas de pastoreo orientados a la producción de leche. *3° Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles - VIII Congreso Internacional de Sistemas Agroforestales* (págs. 565-569). Misiones - Argentina: Ediciones INTA.

Romero Salvador, A. (2021). Actividad ganadera: evaluación de las emisiones y estrategias de mitigación. En *Anales de la Real Academia de Doctores de España. Volumen 6, Número 2* (págs. 359-371).

Salcedo Díaz, G. (2011). *Minimización y aprovechamiento del purín en origen de las explotaciones lecheras de Cantabria.* Cantabria - España: Gobierno de Cantabria - Consejería de Medio Ambiente.

SAyDS. (2019). *Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Tercer informe bienal de actualización de la República Argentina a la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático.* Recuperado el 9 de enero de 2023, de https://unfccc.int/documents/201965

Steinfeld, Gerber, Wassenaar, Castel, Rosales & Haan. (2009). *La larga sombra del ganado - Problemas ambientales y opciones.* Roma: Organización de las Naciones Unidas.

Tieri, M. (2020). *Eficiencia en el uso del nitrógeno en vacas lecheras y su impacto en el ambiente.*

DESARROLLO Y CARACTERIZACIÓN DE ELECTROLITOS POLIMÉRICOS INCORPORANDO ÓXIDO DE GRAFENO PARA BATERÍAS DE LITIO

Agustin Vergalito[1], Oscar R. Pardini[1], Javier I. Amalvy, Francisco M. Pardini[1], Mariela G. Ortiz[1,2]

[1] Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de los Materiales (CITEMA), Facultad Regional La Plata (FRLP), Universidad Tecnológica Nacional (UTN) y Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CICPBA), CP:1925, Argentina.
[2] Instituto de Investigaciones Fisicoquímicas Teóricas y Aplicadas (INIFTA), Facultad de Ciencias Exactas (UNLP), CONICET, CP:1900, Argentina.
vergalitoagustin@gmail.com

Resumen

Las baterías recargables de ion-litio han emergido como una tecnología clave en el suministro de energía para diversas aplicaciones, incluyendo sistemas de energía renovable, dispositivos móviles y almacenamiento estacionario. Estas baterías destacan por su alta densidad energética y larga vida útil, lo que las convierte en la elección preferida para un amplio rango de aplicaciones. Sin embargo, los desafíos relacionados con la seguridad, la eficiencia y la sostenibilidad han impulsado una intensa investigación para mejorar su rendimiento.

En este contexto, los polímeros han demostrado ser materiales prometedores para optimizar el rendimiento de las baterías de ion-litio. Durante más de dos décadas, se ha explorado el uso de polímeros en la fabricación de electrolitos sólidos y separadores poliméricos, con el objetivo de mejorar la conductividad iónica, la estabilidad térmica y la seguridad operativa de estas baterías. Los avances en estos materiales han sido cruciales para el desarrollo de soluciones más eficientes y seguras en el almacenamiento de energía.

Un ejemplo notable de este enfoque es el desarrollo de mezclas poliméricas, como las películas TPU(PEG)/PEO dopadas con sales de litio, que han mostrado una notable mejora en las propiedades electroquímicas de los electrolitos. Asimismo, la adición de óxido de grafeno (GO) a las matrices poliméricas ha demostrado ser efectiva para mejorar tanto las propiedades mecánicas como la conductividad iónica, lo que contribuye a la fabricación de baterías más eficientes.

Este estudio se centra en la síntesis de un poliuretano acuoso, la incorporación de óxido de grafeno (GO) y la caracterización de las propiedades de los electrolitos sólidos poliméricos mediante técnicas avanzadas, como Espectroscopía Infrarroja de Transformada de Fourier (FTIR), Microscopía Electrónica de Barrido (SEM), Difracción de rayos X (DRX) y Espectroscopía de Impedancia Electroquímica (EIS).

Palabras Clave: Electrolito, Batería Ion Litio, Polímero, Oxido grafeno.

Introducción

En la continua búsqueda de avances tecnológicos en el campo de las baterías de litio (LB), los electrolitos poliméricos han surgido como una vía de investigación prometedora para mejorar la seguridad y el rendimiento de estos dispositivos energéticos.

Desde los informes pioneros de Wright y otras contribuciones significativas en la literatura, los electrolitos poliméricos, especialmente aquellos basados en PEO, han captado la atención de la comunidad científica dedicada a LB. Estas investigaciones han sido motivadas por la necesidad de superar desafíos críticos, como la seguridad y el rendimiento limitado asociados con los sistemas convencionales que emplean electrolitos líquidos inflamables (Meng et al., 2022; Tang et al., 2021; Wang et al., 2020).

A medida que las LB avanzan hacia una mayor densidad de energía, enfrentan desafíos significativos, como la formación de dendritas de litio en el ánodo, la baja ciclabilidad y la inestabilidad de la interfaz electrodo-electrolito. La alta reactividad del litio y la formación de dendritas son fenómenos críticos que afectan negativamente la vida útil y la seguridad de las baterías. En este contexto, los electrolitos poliméricos emergen como una alternativa prometedora para mitigar estos problemas. Estos materiales no solo pueden inhibir la formación de dendritas, sino que también mejoran la estabilidad de la interfaz y la ciclabilidad de las baterías, ofreciendo un camino viable hacia el desarrollo de baterías de mayor rendimiento y seguridad (Long et al., 2016; Tang et al., 2021; Wang et al., 2020).

La justificación para el uso de electrolitos poliméricos, especialmente aquellos basados en poliuretanos (PUs), se fundamenta en su capacidad para abordar una serie de desafíos críticos en las baterías de iones de litio. Estos materiales presentan propiedades únicas que pueden mejorar significativamente el rendimiento y la seguridad de las baterías. Los electrolitos poliméricos permiten la fabricación de baterías más seguras y eficientes, aprovechando las ventajas de su naturaleza sólida. Esto elimina los riesgos asociados con los electrolitos líquidos inflamables que se utilizan en las baterías convencionales, proporcionando una solución más estable y confiable para el almacenamiento de energía (Lv et al., 2022; Misenan et al., 2022a). La capacidad de fabricar baterías en configuraciones modulares sólidas y su capacidad para adaptarse a diversos tamaños y formas ofrecen una versatilidad única. Además, la eliminación de problemas como la autodescarga y las fugas intercelulares, comunes en los sistemas líquidos, resalta la robustez de las baterías con electrolitos poliméricos (Long et al., 2016; Lv et al., 2022; Meng et al., 2022; Misenan et al., 2022a; Tang et al., 2021; Wang et al., 2020).

Entre los electrolitos poliméricos, los PUs son particularmente interesantes. Los PU consisten en un segmento blando (polieter o poliéster) y un segmento duro (diisocianato). Los segmentos blandos basados en polieter pueden disolver sales de metales alcalinos como el litio y poseen alta movilidad segmental de cadena, resultando en un material con alta conductividad iónica (Andersson et al., 2022; Lv et al., 2022; Misenan et al., 2022a). Los segmentos duros actúan como sitios de entrecruzamiento físico entre los segmentos blandos y duros, proporcionando buenas propiedades mecánicas. Diseñar electrolitos poliméricos efectivos implica encontrar el equilibrio adecuado entre conductividad iónica, estabilidad mecánica y facilidad de fabricación de películas (Andersson et al., 2022; Lv et al., 2022; Misenan et al., 2022a).

Generalmente, los electrolitos basados en PU se sintetizan reaccionando PEO lineal con diisocianato para formar un PU termoplástico generalmente lineal. Aunque el PEO puede disolver fácilmente sales de litio a temperaturas elevadas, a temperatura ambiente se cristaliza, lo que lleva a una drástica reducción en la conductividad térmica. La incorporación de éteres, con grupos laterales o estructuras ramificadas en forma de peine, promueve una disminución en la cristalinidad y un aumento en la conductividad iónica del polímero (Liu et al., 2023).
Para incrementar la conductividad iónica del ion litio en los electrolitos sólidos poliméricos (SPE), es posible incorporar nanomateriales en la matriz polimérica, como el óxido de grafeno (GO). Este enfoque ha demostrado ser eficaz para mejorar la movilidad iónica y la distribución uniforme de los iones de litio en la estructura polimérica, debido a las propiedades únicas del GO, que incluyen su alta superficie específica y capacidad para formar interacciones favorables con la matriz polimérica GO (Jia et al., 2018; Mohanta et al., 2018). La adición de GO no solo optimiza la conductividad iónica, sino que también puede mejorar la estabilidad mecánica y térmica del SPE, lo que resulta en un desempeño superior del electrolito en baterías de ion-litio.

Este trabajo se enfoca en el desarrollo de electrolitos poliméricos avanzados basados en matrices de PU, PEO, LiCl y GO para su aplicación en LB. La integración de estos materiales ofrece una perspectiva innovadora en la mejora de las propiedades críticas de los electrolitos sólidos, como la conductividad iónica y la estabilidad mecánica. Al emplear PU y PEO como matrices base, y reforzarlas con nanomateriales como GO, este estudio abre nuevas vías para el diseño de sistemas electroquímicos de alto rendimiento, abordando algunos de los desafíos clave en el almacenamiento de energía. La investigación aporta una comprensión más profunda de cómo la sinergia entre los

polímeros y los nanomateriales puede ser explotada para desarrollar electrolitos sólidos poliméricos (SPE) más eficientes, con el potencial de mejorar significativamente el rendimiento y la seguridad de las baterías de ion-litio.

Materiales y métodos

Síntesis del polímero

Los materiales empleados en la síntesis incluyen poli(etilenglicol) (PEO), trimetilolpropano basado en poli(etilenglicol monometil éter) (MPEG-diol), 1,4-butanodiol (1,4-BDO), isocianato de isoforona (IPDI), y catalizador dilaurato de dibutilestaño (DBTDL). La reacción principal se realizó utilizando el método de prepolímero por emulsión-dispersión.

Para la síntesis del PU se empleó el método de prepolímero por emulsión-dispersión

La reacción se llevó a cabo en un reactor de tres bocas equipado con un agitador mecánico. Se empleó agitación mecánica constante. El reactor contaba con entrada de nitrógeno (seco), termocupla para censar temperatura de reacción y un condensador de reflujo (Fig. 1. (a)).

En un reactor equipado con agitación mecánica y control de temperatura, se eliminaron los restos de humedad de los polioles (PEO y MPEG-diol) antes de proceder a la síntesis del prepolímero. Se añadió el IPDI y el DBTDL, manteniendo la mezcla a temperatura controlada y en atmósfera de nitrógeno. Posteriormente, se realizaron dos extensiones de cadena con 1,4-butanodiol y etanodiamina (EDA), respectivamente. Finalmente, el polímero fue dispersado en agua mediante agitación mecánica, y el solvente fue eliminado a través de destilación, obteniendo así la dispersión polimérica final.

El polímero fue dispersado en agua con agitación mecánica para producir la extensión de la cadena en agua (fig. 1. (b)). Finalmente, la dispersión polimérica fue sometida a un proceso de destilación, con el objetivo de separar el solvente (MEK) de la dispersión acuosa del polímero. Para llevar a cabo la destilación se utilizó un evaporador rotatorio (Fig. 1. (C)).

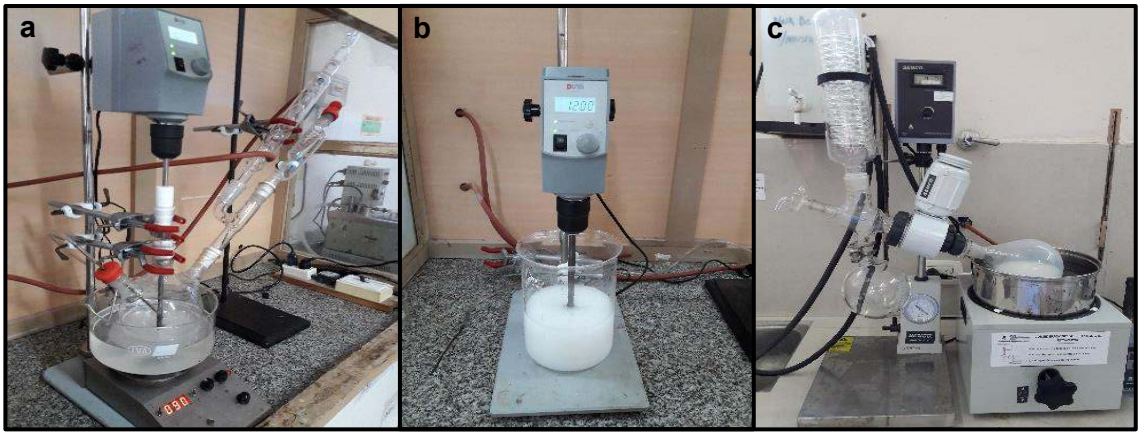


Fig. 1. (a) Etapa de síntesis, (b) etapa de dispersión y (c) etapa de eliminación solvente.

Síntesis del oxido de grafeno

El GO fue sintetizado utilizando una versión mejorada del método de Hummers, conocido como método de Tour, ampliamente reconocido por su eficacia en la producción de GO. Los reactivos principales incluyeron grafito (Gr), permanganato de potasio ($KMnO_4$), ácido sulfúrico (H_2SO_4), ácido fosfórico (H_3PO_4), peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y ácido clorhídrico (HCl).

El proceso comenzó con la preparación de un medio ácido (H_2SO_4 y H_3PO_4), seguido de la adición gradual de una mezcla de Gr y $KMnO_4$. La reacción se realizó bajo condiciones controladas de temperatura, con agitación constante y monitoreo continuo. Se empleo un reactor químico de 3 bocas. Finalmente, el sistema fue mantenido en un baño de hielo para asegurar el control térmico durante la síntesis.

Tras 1 hora de reacción en a 0°C, se incrementó la temperatura a 50 °C y se mantuvo durante 24 horas, permitiendo una oxidación de los reactivos e introduciendo grupos oxigenados en la estructura del material, facilitando la exfoliación del grafeno. Para concluir la oxidación y eliminar el exceso de $KMnO_4$, se añadió agua desionizada y H_2O_2 al sistema, generando una reacción exotérmica que elevó la temperatura y cambió el color del sistema, indicando el fin de la oxidación.

Finalmente, el óxido de grafito (GrO) fue separado mediante filtración al vacío, eliminando los subproductos líquidos.

Tras obtener el GrO, se llevó a cabo un proceso de purificación mediante lavados sucesivos. Inicialmente, se utilizó una solución de HCl para eliminar metales residuales. Posteriormente, la muestra fue lavada con agua desionizada para ajustar el pH a la neutralidad. Este ciclo de lavado, realizado cuatro veces, garantizó la eliminación de impurezas, obteniendo un material de alta pureza.

Tras el lavado, GrO se secó hasta alcanzar una masa constante. Luego, se molió hasta obtener un polvo fino y se preparó una suspensión de GrO en agua desionizada mediante agitación mecánica. La mezcla se sometió a ultrasonidos durante 4 horas para exfoliar el GrO y obtener una dispersión homogénea de GO.
La suspensión resultante fue centrifugada, logrando la separación en dos fases: una fase líquida de GO en agua y una fase sólida de GrO sin exfoliar.

Tras la separación de las fases, la fase líquida con la dispersión de GO se extrajo y secó a 75 °C durante 48 horas hasta alcanzar una masa constante. Una vez seco, el GO fue retirado y sometido a técnicas de caracterización.

Preparación de electrolitos poliméricos

Se preparó el SPE5 mezclando PU y LiCl (5% p/p), con agitación continua durante 1 hora. Para la formación del SPE con el agregado de GO (SPE5GO), se añadió 0,5 % p/p de GO a la dispersión del polímero con el 5% p/p de LiCl.

Las películas de SPEs se prepararon vertiendo las dispersiones poliméricas en moldes de teflón, se dejaron secar durante 5 días a temperatura ambiente. Luego, las películas poliméricas se secaron en un horno de vacío a 75 °C durante 1 día. Finalmente, las películas secas se almacenaron en un desecador con silicagel.

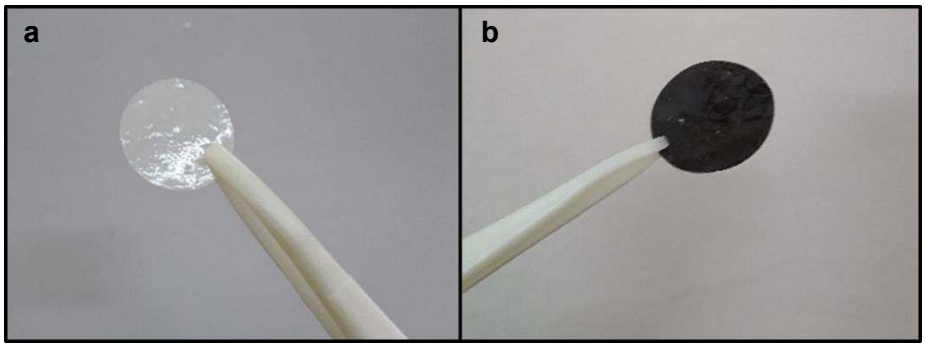


Fig. 2. (a) Película de SPE5, (b) Película SPE5GO.

Técnicas de caracterización

FTIR

La identificación de la composición química se llevó a cabo mediante espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) utilizando un Shimadzu IRAffinity-1 con el accesorio ATR de reflexión única QATR 10 con un cristal de diamante, a una resolución de número de onda de 4 cm^{-1}. Se promediaron aproximadamente 128 escaneos a temperatura ambiente. Las muestras se analizaron entre 4000-550 cm^{-1}.

SEM

La morfología superficial de las películas de polímero PU y SPE se analizó mediante microscopía electrónica de barrido (ESEM FEI QUANTA 250) a un voltaje de aceleración de 15 kV, con un aumento de x1000. Las muestras se montaron en la superficie de un porta muestras de aluminio para SEM y se recubrieron con una fina capa de oro mediante pulverización catódica antes de la observación para prevenir efectos de carga de la muestra.

DRX

La cristalinidad del polímero PU y el electrolito polimérico SPE5 se registraron en un difractómetro Panalytical X'Pert PRO utilizando radiación Cu-K_α (1,542 Å) a 45 kV y 45 mA, en el rango de 2θ de 5° a 80°, con una velocidad de escaneo de 0.05°/s^{-1}.

EIS

La conductividad iónica se determinó mediante EIS utilizando el Gamry Reference 3000. Las películas de SPE se colocaron entre colectores de corriente de acero inoxidable (11 mm de diámetro), con un espesor de los electrolitos poliméricos de 2000 ± 100, µm. La frecuencia en la que se realizó la medida de EIS fue de 0.01 Hz a 1 MHz con una amplitud de voltaje aplicada de 10 mV en el potencial de circuito abierto (OCV). El análisis experimental se realizó a una temperatura controlada de 20 ± 1,5 °C.

Resultados y discusiones

FTIR

La película de PU fue caracterizada por FTIR para analizar su estructura química (Fig. 3.). La banda a 3326 cm^{-1} se asigna a la vibración de estiramiento de la amida N-H en grupos uretano secundarios. Dentro del rango de 2950 cm^{-1} a 2872 cm^{-1}, se pueden atribuir dos bandas a las vibraciones de estiramiento asimétrico y simétrico de los enlaces C-H, específicamente asociados con los grupos (CH_3 y CH_2). La banda a 1716 cm^{-1} corresponde a la vibración de estiramiento de los grupos carbonilo (C=O), encontrados en el grupo uretano de la banda amina I. A 1672 cm^{-1}, se asignó a la vibración de -C=O en los grupos urea. La banda a 1543 cm^{-1} representa una combinación del estiramiento del enlace C-N y la flexión del enlace N-H, correspondiente a la región de la amida II. La banda a 1461 cm^{-1} corresponde a la flexión simétrica del grupo C-H y al “scissoring” de los enlaces C-H. La banda a 1386 cm^{-1} corresponde a la flexión simétrica de los enlaces C-H. Además, a 1305 cm^{-1}, asignamos una banda que resulta de la combinación de la flexión de los enlaces N-H y el estiramiento de los enlaces C-N. A 1242 cm^{-1}, observamos otra banda de combinación que involucra la flexión de los enlaces N-H y el estiramiento de los enlaces C-H. Finalmente, la banda a 1112 cm^{-1} corresponde al modo de estiramiento asimétrico del enlace C-O-C (Trovati et al., 2010; Zhang et al., 2007).

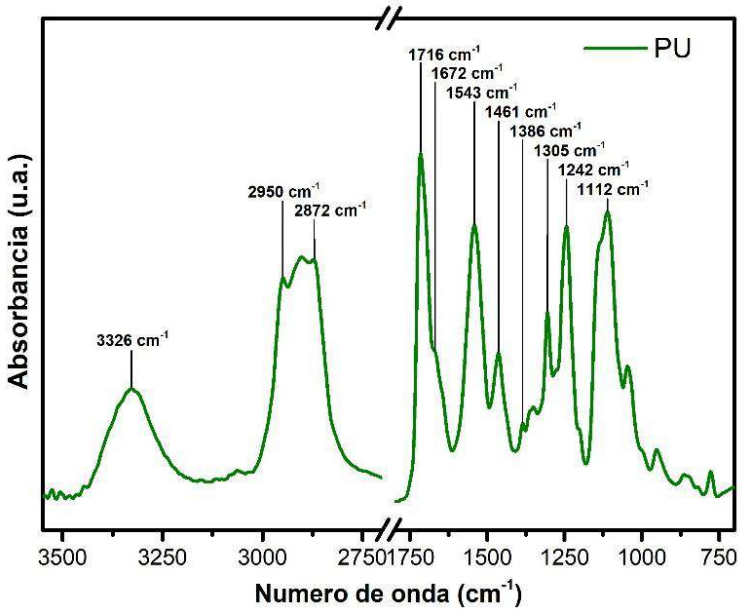


Fig. 3. Espectro FTIR de película PU.

Se realizaron espectros FTIR a las muestras de *electrolito polimérico puro (PU), el SPE5 con la adición de 5% en peso de LiCl y SPE20 con la adición de 20% en peso de LiCl (FIG. 4.).*
Los espectros FTIR fueron normalizados utilizando el grupo urea como referencia (1672 cm^{-1}), bajo la suposición de que la cantidad de grupos urea no se vio afectada por la presencia de litio. Al aumentar la concentración de Li^{+}, se observó una disminución discernible en la intensidad de la banda correspondiente al grupo carbonilo (1716 cm^{-1}), acompañada de un desplazamiento hacia un número de onda más bajo. También se observó una reducción en la intensidad de la banda a 1112 cm^{-1}, correspondiente al grupo éter (C-O-C) en el poliuretano PU, en comparación con el SPE5 y SPE20. Esta reducción en las bandas se atribuyó a la interacción de los grupos con el ion litio*(Santhosh et al., 2006; Van Heumen & Stevens, 1995)*.

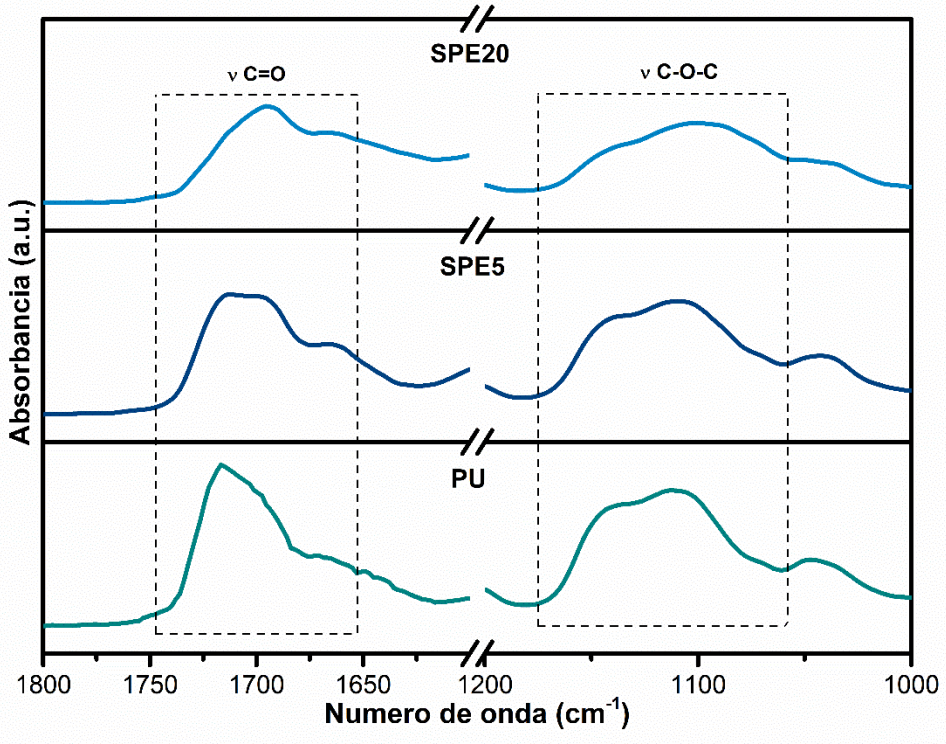


Fig. 4. Espectro FTIR de PU, SPE5 y SPE 20.

SEM

Las Fig. 5. (a) y (b) y Fig. 6. (a) y (b) muestran las imágenes SEM de las películas de polímero. La imagenes (Fig. 5. (a) y Fig. 6. (a)) corresponden al PU, mientras que las imagenes (Fig. 5. (b) y Fig. 6. (b)) representa el SPE con la adición de 5% en peso de LiCl (SPE5). En las imágenes (Fig. 5. (a) y Fig. 6. (a)) se observa una superficie lisa y uniforme. La morfología revela una estructura homogénea, sin irregularidades notables ni patrones distintivos en la superficie.
Por el contrario, en las imágenes (Fig. 5. (b) y Fig. 6. (b)) se observan una superficie texturizada y rugosa, lo que indicaría cambios inducidos por la adición de LiCl.
El incremento en la rugosidad de la superficie se corresponde con una microestructura modificada, posiblemente relacionada con la interacción del LiCl con la matriz polimérica (Angulakshmi et al., 2013; Bao et al., 2017; Fei et al., 2019a). Esta conclusión se relaciona con los resultados obtenidos en DRX y FTIR.
La interacción de la sal de litio con el polímero produce una disminución en la cristalinidad del polímero puro, como se puede observar en los resultados obtenidos de ensayos de DRX.
Además, los análisis FTIR del SPE5 en comparación con el PU muestran la interacción de los grupos funcionales del polímero con la sal de litio.

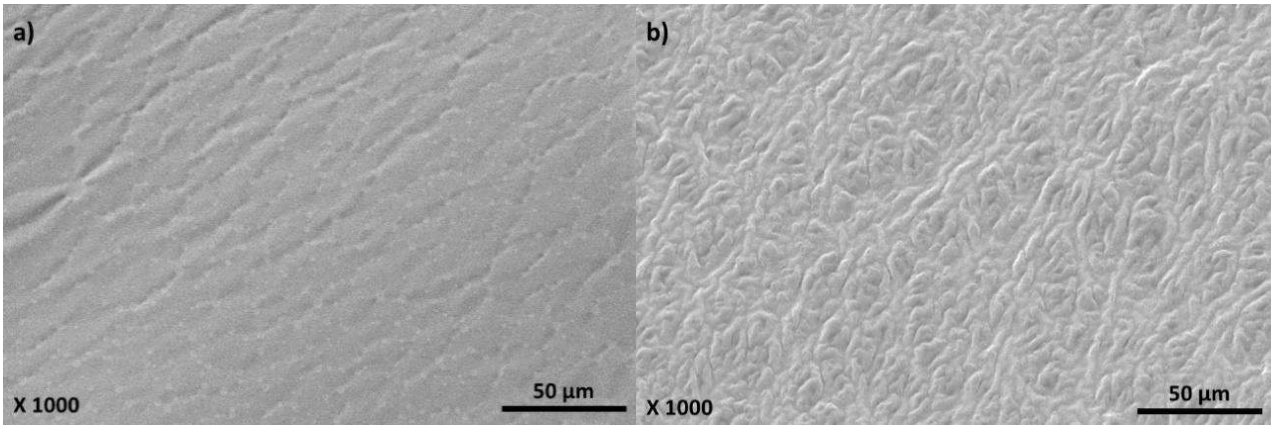


Fig. 5. Imágenes SEM x1000, superficie de (a) PU y (b) SPE5.

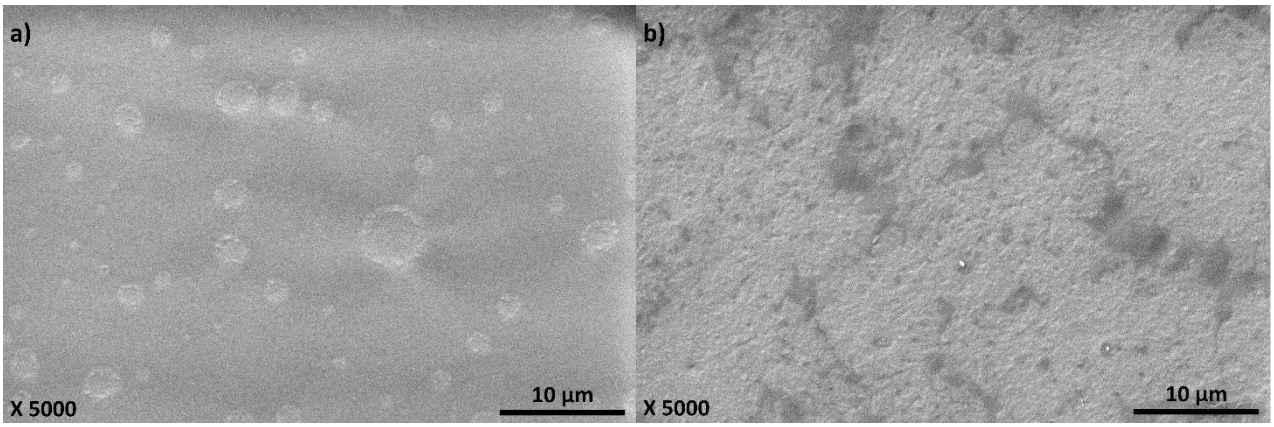


Fig. 6. Imágenes SEM x5000, superficie de (a) PU y (b) SPE5.

DRX

Se analizaron dos muestras mediante DRX, la muestra PU y SPE5. La muestra. En la figura 3 se pueden observar los datos de DRX. Las muestras examinadas mostraron un pico amplio y difuso alrededor del valor de 2θ de 19,55, lo que indica que tanto el PU como el SPE presentan una estructura amorfa. El SPE5 dopado con LiCl tiene una menor intensidad de pico, por lo tanto, el SPE t una estructura más amorfa que el WPU. Esta reestructuración del sistema se debe a que los enlaces de hidrógeno de los segmentos duros del poliuretano se rompen debido a la coordinación

de los iones de litio con los grupos N-H y C=O (Bao et al., 2017; Duan et al., 2005; Fei et al., 2019b; Zia et al., 2009). La presencia de la fase amorfa en los electrolitos poliméricos conduce a un aumento significativo en la conductividad iónica en comparación con las fases predominantemente cristalinas. Se postula que esta mejora es atribuible a la mayor flexibilidad molecular en la fase amorfa, lo que permite un mayor número de rotaciones de enlaces y movimiento segmental. Estos fenómenos facilitan la migración de iones a través de la matriz polimérica, mejorando así la capacidad de transporte iónico del material (Bao et al., 2017; Duan et al., 2005; Fei et al., 2019b; Zia et al., 2009).

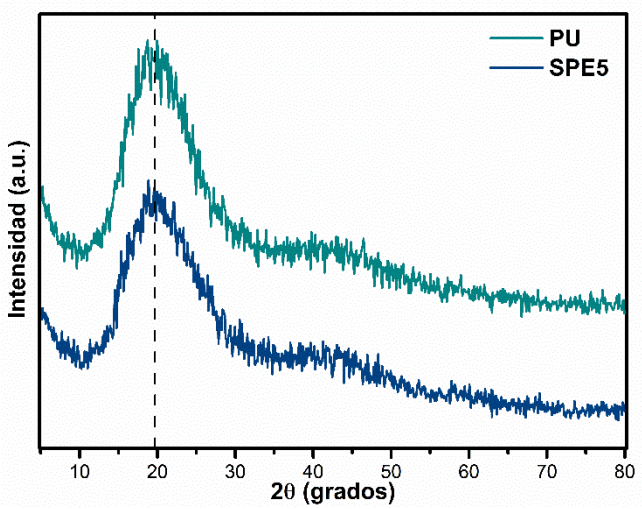


Fig. 7. Análisis de DRX de muestra PU y SPE5.

EIS

Se llevaron a cabo mediciones de espectroscopía de impedancia electroquímica (EIS) para las muestras de PU, SPE5 y SPE5GO siguiendo el protocolo descripto en los siguientes trabajos (Cong et al., 2018; Santhosh et al., 2006; Yu et al., 2017). Se midieron por quintuplicado las muestras de SPE5 y SPE5GO (tabla). En la Fig. 7. se presenta el espectro de impedancia electroquímica correspondiente a la muestra 1 de SPE5 y SPE5GO. Previo a las mediciones, todas las películas poliméricas fueron recortadas en formas circulares con un diámetro de 11 mm. El gráfico de impedancia para SPE5 y SPE5GO muestra un semicírculo en la región de alta frecuencia y una línea recta en la región de baja frecuencia. La resistencia total (Rb) del electrolito puede determinarse a partir del diagrama de Nyquist mediante dos métodos: (a) identificando el punto de intersección entre el semicírculo de alta frecuencia y la línea inclinada de baja frecuencia, y (b) ajustando el diagrama de Nyquist utilizando software estándar con parámetros predefinidos. En este estudio, se empleó el primer método (a) para el cálculo de Rb.
La conductividad de los iones litio se midió a temperatura ambiente, en función de la resistencia aparente obtenida del diagrama de Nyquist (impedancia real frente a impedancia imaginaria). La conductividad iónica (σ, S cm^{-1}) del SPE se calculó utilizando la siguiente ecuación.

$$\sigma = \frac{l}{R\,S}$$

Donde R (Ω) es la resistencia aparente de la muestra, L (cm) es el espesor de la película y S (cm^2) es el área de la película polimérica. La conductividad iónica del PU fue nula, indicando que el electrolito compuesto por el polímero puro no presenta conductividad iónica. El SPE5 presento una resistencia promedio de 155249 Ω y conductividad iónica promedio de 3,19E^{-06} S cm^{-1}, mientras que para el SPE5GO fue de 125619 Ω y su conductividad iónica de 3,95 E^{-06} S cm^{-1} (Tabla 1).

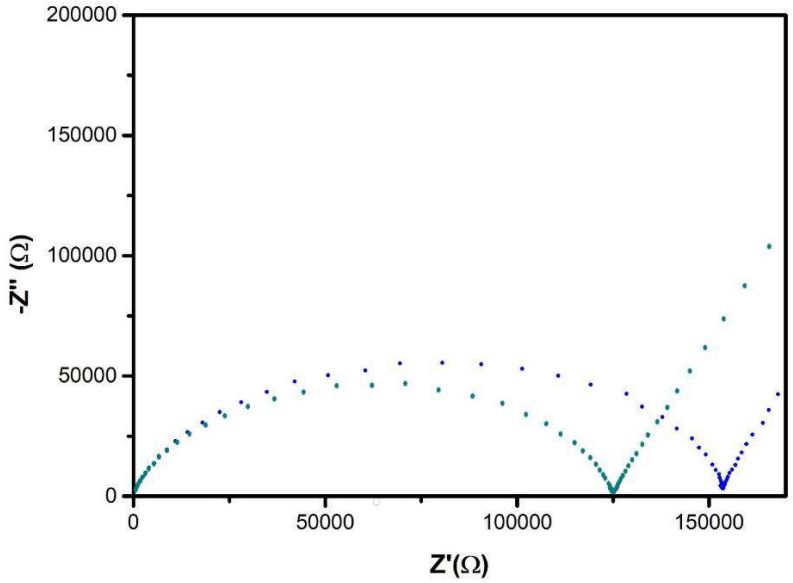


Fig. 8. Espectro de impedancia para muestra 1, SPE 5 (azul) y SPE5GO (cian).

Tabla 1. Datos de resistencia y conductividad iónica de SPE5 y SPE5GO.

	Muestra	Resistencia (Ω)	Conductividad iónica (S cm^{-1})
1	SPE5	154012	$3,22E^{-06}$
2	SPE5	156278	$3,17E^{-06}$
3	SPE5	155875	$3,18E^{-06}$
4	SPE5	154623	$3,21E^{-06}$
5	SPE5	155456	$3,19E^{-06}$
1	SPE5GO	125007	$3,97E^{-06}$
2	SPE5GO	124352	$3,99E^{-06}$
3	SPE5GO	126359	$3,92E^{-06}$
4	SPE5GO	126754	$3,91E^{-06}$
5	SPE5GO	125626	$3,95E^{-06}$

Conclusiones

Se llevó a cabo con éxito la reacción de polimerización en base acuosa del PU. El polímero se caracterizó mediante la técnica de FTIR (ATR), observándose las bandas características de los PUs. Se añadió LiCl al PU preparado para formar películas de SPE mediante la técnica de casting.

Además, los resultados de FTIR mostraron que las sales de litio se disolvieron e interactuaron con los átomos de oxígeno y nitrógeno del poliuretano, y el Li^+ interaccionó con los grupos carbonilo y éter del polímero.

El análisis SEM reveló que la incorporación de la sal de litio alteró la microestructura del electrolito polimérico, se observó una superficie texturizada y rugosa en comparación al PU.
Los análisis del DRX y SEM mostraron que el electrolito polimérico posee una estructura amorfa y que la incorporación de la sal de litio cambió la microestructura del mismo.

La conductividad iónica del SPE5 y SPE5GO fue del orden de E^{-06} S cm^{-1}, siendo un valor aceptable para un SPE.
La conductividad iónica del SPE5GO fue mayor que la del SEP5, se logro una mejora del 23,6 %.

Por lo tanto, la incorporación del GO en el sistema favoreció la conductividad iónica. A pesar de que es una mejora notable en la conductividad iónica del electrolito polimérico la incorporación de GO,

La conductividad iónica de los electrolitos poliméricos sólidos (SPE) denominados SPE5 y SPE5GO fue del orden de E^{-06} S cm^{-1}, lo cual se considera un valor aceptable dentro de las características requeridas para este tipo de materiales. Es importante destacar que la conductividad iónica de SPE5GO, que incorpora GO, mostró un incremento del 23,6 % en comparación con SPE5, lo que evidencia una mejora significativa. Esta mejora se atribuye a la capacidad del GO de crear rutas más eficientes para la migración de los iones, debido a su alta superficie específica y su capacidad de interacción con la matriz polimérica, facilitando el movimiento iónico.
A pesar de que esta mejora es notable, se deben considerar otros factores, como la estabilidad térmica, la compatibilidad con los electrodos y la capacidad de retención de electrolito, para optimizar completamente el rendimiento del electrolito polimérico en aplicaciones avanzadas. La incorporación de nanomateriales, como el GO, no solo influye en la conductividad, sino también en las propiedades mecánicas y la durabilidad del sistema, aspectos críticos en el diseño de baterías y dispositivos electroquímicos de alto rendimiento.

En investigaciones futuras, se prevé la utilización de otras sales de litio como $LiCF_3SO_3$ y $LiClO_4$ con el objetivo de mejorar la conductividad iónica en electrolitos poliméricos y optimizar el rendimiento electroquímico de las baterías de litio. Debido a que, en sistemas basados en poli(óxido de etileno) (PEO) dopados con sales de litio ($LiCF_3SO_3$ y $LiClO_4$) y partículas de GO, se ha reportado una conductividad iónica en el rango de 10^{-5} a 10^{-4} S cm^{-1} (Misenan et al., 2022b), lo que representa un rendimiento superior en comparación con SPE5GO. Este aumento de conductividad se atribuye a la utilización diferentes de sales de litio que el LiCl que favorecen su migración a través de del SPE.

Referencias

Andersson, R., Hernández, G., See, J., Flaim, T. D., Brandell, D., & Mindemark, J. (2022). Designing polyurethane solid polymer electrolytes for high-temperature lithium metal batteries. *ACS Applied Energy Materials*, *5*(1), 407–418.

Angulakshmi, N., Nahm, K. S., Nair, J. R., Gerbaldi, C., Bongiovanni, R., Penazzi, N., & Stephan, A. M. (2013). Cycling profile of MgAl2O4-incorporated composite electrolytes composed of PEO and LiPF6 for lithium polymer batteries. *Electrochimica Acta*, *90*, 179–185.

Bao, J., Tao, C., Yu, R., Gao, M., Huang, Y., & Chen, C. (2017). Solid polymer electrolyte based on waterborne polyurethane for all-solid-state lithium ion batteries. *Journal of Applied Polymer Science*, *134*(48), 45554.

Cong, B., Song, Y., Ren, N., Xie, G., Tao, C., Huang, Y., Xu, G., & Bao, J. (2018). Polyethylene glycol-based waterborne polyurethane as solid polymer electrolyte for all-solid-state lithium ion batteries. *Materials & Design*, *142*, 221–228.

Duan, Y., Halley, J. W., Curtiss, L., & Redfern, P. (2005). Mechanisms of lithium transport in amorphous polyethylene oxide. *The Journal of Chemical Physics*, *122*(5).

Fei, Y., Liu, S., Long, Y., Lu, L., He, Y., Ma, X., & Deng, Y. (2019a). New single lithium ion conducting polymer electrolyte derived from delocalized tetrazolate bonding to polyurethane. *Electrochimica Acta*, *299*, 902–913.

Fei, Y., Liu, S., Long, Y., Lu, L., He, Y., Ma, X., & Deng, Y. (2019b). New single lithium ion conducting polymer electrolyte derived from delocalized tetrazolate bonding to polyurethane. *Electrochimica Acta*, *299*, 902–913.

Jia, W., Li, Z., Wu, Z., Wang, L., Wu, B., Wang, Y., Cao, Y., & Li, J. (2018). Graphene oxide as a filler to improve the performance of PAN-LiClO4 flexible solid polymer electrolyte. *Solid State Ionics*, *315*, 7–13.

Liu, Y., Zeng, Q., Li, Z., Chen, A., Guan, J., Wang, H., Wang, S., & Zhang, L. (2023). Recent development in topological polymer electrolytes for rechargeable lithium batteries. *Advanced Science*, *10*(15), 2206978.
Long, L., Wang, S., Xiao, M., & Meng, Y. (2016). Polymer electrolytes for lithium polymer batteries. *Journal of Materials Chemistry A*, *4*(26), 10038–10069.
Lv, Z., Tang, Y., Dong, S., Zhou, Q., & Cui, G. (2022). Polyurethane-based polymer electrolytes for lithium Batteries: Advances and perspectives. *Chemical Engineering Journal*, *430*, 132659.
Meng, N., Zhu, X., & Lian, F. (2022). Particles in composite polymer electrolyte for solid-state lithium batteries: A review. *Particuology*, *60*, 14–36.
Misenan, M. S. M., Khiar, A. S. A., & Eren, T. (2022a). Polyurethane-based polymer electrolyte for lithium ion batteries: a review. *Polymer International*, *71*(7), 751–769.
Misenan, M. S. M., Khiar, A. S. A., & Eren, T. (2022b). Polyurethane-based polymer electrolyte for lithium ion batteries: a review. *Polymer International*, *71*(7), 751–769.
Mohanta, J., Padhi, D. K., & Si, S. (2018). Li-ion conductivity in PEO-graphene oxide nanocomposite polymer electrolytes: A study on effect of the counter anion. *Journal of Applied Polymer Science*, *135*(22), 46336.
Santhosh, P., Vasudevan, T., Gopalan, A., & Lee, K.-P. (2006). Preparation and properties of new cross-linked polyurethane acrylate electrolytes for lithium batteries. *Journal of Power Sources*, *160*(1), 609–620.
Tang, S., Guo, W., & Fu, Y. (2021). Advances in composite polymer electrolytes for lithium batteries and beyond. *Advanced Energy Materials*, *11*(2), 2000802.
Trovati, G., Sanches, E. A., Neto, S. C., Mascarenhas, Y. P., & Chierice, G. O. (2010). Characterization of polyurethane resins by FTIR, TGA, and XRD. *Journal of Applied Polymer Science*, *115*(1), 263–268.
Van Heumen, J. D., & Stevens, J. R. (1995). The role of lithium salts in the conductivity and phase morphology of a thermoplastic polyurethane. *Macromolecules*, *28*(12), 4268–4277.
Wang, H., Sheng, L., Yasin, G., Wang, L., Xu, H., & He, X. (2020). Reviewing the current status and development of polymer electrolytes for solid-state lithium batteries. *Energy Storage Materials*, *33*, 188–215.
Yu, R., Bao, J.-J., Chen, T.-T., Zou, B.-K., Wen, Z.-Y., Guo, X.-X., & Chen, C.-H. (2017). Solid polymer electrolyte based on thermoplastic polyurethane and its application in all-solid-state lithium ion batteries. *Solid State Ionics*, *309*, 15–21.
Zhang, S., Ren, Z., He, S., Zhu, Y., & Zhu, C. (2007). FTIR spectroscopic characterization of polyurethane-urea model hard segments (PUUMHS) based on three diamine chain extenders. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, *66*(1), 188–193.
Zia, K. M., Bhatti, I. A., Barikani, M., Zuber, M., & Bhatti, H. N. (2009). XRD studies of polyurethane elastomers based on chitin/1, 4-butane diol blends. *Carbohydrate Polymers*, *76*(2), 183–187.

ENCAPSULACIÓN DE TIMOL Y MENTOL EN MCM-41

Sergio D. Marino[1], Maximiliano R. Gonzalez[2], Andrea M. Pereyra[1,2]

[1]Facultad Regional La Plata, Universidad Tecnológica Nacional, 60 esq. 124, 1900, La Plata, Argentina.
[2]CINDECA, CONICET-CIC- Universidad Nacional de La Plata, 47 N°257 (B1900AJK), La Plata, Argentina.
smarino315@gmail.com

Resumen

Los aceites esenciales son valiosos en las industrias alimentaria, farmacéutica y cosmética debido a sus propiedades antisépticas, antibacterianas y antifúngicas. Aunque son económicos y no tóxicos, su alta volatilidad y sensibilidad a la temperatura limitan sus aplicaciones.

Por otro lado, la MCM-41 es uno de los materiales mesoporosos más estudiados en la actualidad debido a su alta estabilidad térmica, su alta superficie específica y volumen de poros. Su estructura ofrece una capacidad de carga altamente manejable, lo que lo hace prometedor para diversas aplicaciones. Por lo cual, debido a las propiedades mencionadas se podría considerar la posibilidad de utilizar la MCM-41 como agente de encapsulación para el timol y el mentol.

En este trabajo se presenta un nuevo enfoque a partir del uso de un material mesoporoso, como la MCM-41, en la encapsulación de timol y mentol. Se llevó a cabo la síntesis de MCM-41 a partir de silicatos industriales, seguido de ensayos de impregnación a llenado de poro de timol y mentol. Debido a que estas sustancias tienen baja solubilidad en agua, se empleó etanol como solvente.

Se realizaron las caracterizaciones de los materiales antes y luego de los procesos de impregnación de los sólidos.

Los resultados preliminares indican que los sólidos obtenidos podrían ser adecuados para la captura de timol y mentol. Este enfoque no solo podría ampliar las aplicaciones de los materiales mesoporosos, sino que también podría ofrecer soluciones innovadoras para mejorar la resistencia bacteriana en recubrimientos y pinturas. Este estudio podría tener un impacto significativo en el desarrollo de nuevas tecnologías y productos en diversas industrias.

Palabras Clave: Timol, Mentol, MCM-41, Encapsulación.

Introducción

El timol y el mentol, dos monoterpenos fenólicos presentes en los aceites esenciales de varias plantas, se utilizan en las industrias alimentaria, farmacéutica y cosmética debido a sus propiedades antisépticas, antibacterianas y antifúngicas (Tariq et al., 2019). Su bajo costo y facilidad de manipulación, junto con su seguridad no tóxica, han contribuido a su amplia aplicación. Sin embargo, su alta volatilidad impone una limitación significativa para su procesamiento como constituyente de un producto y acota también las posibilidades de almacenamiento, transporte y utilización (Sepahvand et al., 2021).

Hasta la fecha, hay una limitada cantidad de trabajos que abordan la encapsulación y estabilización de timol y mentol. Se han realizado estudios de adsorción utilizando como soportes zeolitas naturales (Elmiz M., 2019), SBA-15 (Mahdi S., 2019) y MCM-41 (Yingjun C., 2023). Ésta última sintetizada con materias primas de grado analítico, lo cual involucra un alto costo.

Entre los materiales silíceos mesoporosos, la MCM-41 se destaca por su estabilidad térmica, gran superficie específica y volumen de poros (Rabie et al., 2019). Su estructura porosa ofrece una capacidad de carga manejable, lo que sugiere su potencial uso como medio para la encapsulación de

compuestos. Por lo cual, se presenta como una opción viable para la encapsulación de timol y mentol.

Este trabajo explora un enfoque innovador mediante la utilización de una sílice MCM-41 de bajo costo obtenida utilizando una solución de grado industrial como precursor de sílice para la encapsulación de timol y mentol. Se evalúa la estabilidad de los terpenos fenólicos incorporados en la MCM-41 mediante el método de impregnación por humedad incipiente.

Materiales y métodos

Síntesis de MCM-41:

Se llevó a cabo la síntesis de MCM-41 utilizando el método sol-gel, comenzando con la disolución de Bromuro de cetiltrimetilamonio (BrCTA, 96%, Sigma-Aldrich), como plantilla, en agua destilada a 30°C bajo agitación durante 30 minutos. Posteriormente, se añadió gota a gota silicato de sodio comercial a la solución, como fuente de silicio, manteniendo la agitación durante 30 minutos adicionales. El pH de la mezcla se ajustó a aproximadamente 9,5 con H_2SO_4 al 10% (p/p). La solución de gel resultante se transfirió a un reactor de acero inoxidable revestido con politetrafluoroetileno y se mantuvo en una estufa a 100°C durante 4 días. Luego, la solución se filtró por succión, se lavó con agua destilada hasta ausencia de espuma, y se secó al aire antes de ser secada a 100°C durante 12 horas en una estufa. Finalmente, el material se calcinó en una mufla a 510°C con una rampa de calentamiento de 5°C/min durante 2 horas.

Impregnación con timol y mentol:

Se realizó la impregnación con timol y mentol con el fin de evaluar su encapsulación en las matrices silíceas. Las muestras se impregnaron por el método de impregnación por humedad incipiente empleando 0,25g de MCM-41 y 5 mL de una solución de timol, la cual contiene 1 g de timol o mentol utilizando como solvente etanol absoluto (99%, Anedra). Posteriormente, los sólidos impregnados se secaron al aire en condiciones controladas de temperatura y humedad durante 7 días.

Se seleccionó el etanol absoluto como solvente, debido a la alta solubilidad del timol y del mentol en éste y la baja o casi nula solubilidad en agua. Además, se consideró su bajo costo, fácil acceso, baja peligrosidad y buena volatilidad que facilita el secado a temperatura ambiente luego de la impregnación.

La MCM-41 fue caracterizada por HRTEM TEM en un microscopio Tecnai F20 G2 operado a 200 kV. Los materiales antes y luego de la impregnación fueron caracterizados por Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier - Reflectancia Total Atenuada (FTIR-ATR) en un equipo Shimadzu modelo IRAffinity-1.

Resultados y discusiones

En la Fig. 1 se presenta una imagen de TEM de la MCM-41 junto con su transformada de Fourier (FFT). La imagen revela partículas de morfología irregular con canales largos, curvados y orientados en distintas direcciones. La estructura hexagonal bidimensional muestra ciertos defectos y discontinuidades. La distancia medida entre los poros fue de 4,6 nm.

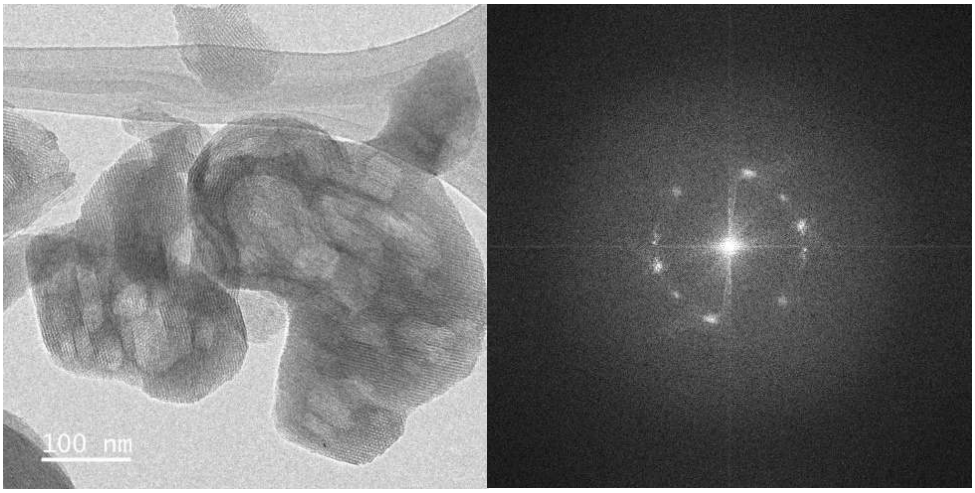


Fig. 1. Imagen de HRTEM (izquierda) y FFT (derecha).

Los espectros FT-IR de la muestra MCM-41 antes y después de 7 días de la impregnación con timol y mentol, junto con los espectros de timol y mentol, se presentan en la figura 2 y figura 3. En el espectro de MCM-41, las bandas en 1066, 794 y 454 cm^{-1} corresponden a los estiramientos asimétrico, simétrico y vibración por flexión de los enlaces Si-O-Si, respectivamente (Mathew et al. 2016). La banda en 961 cm^{-1} se asocia con Si-O-OH o Si-OH, y la banda en 584 cm^{-1} se atribuye a la flexión tetraédrica del enlace Si-O (Pradhan y Parida, 2012). Con relación a la muestra de timol, la banda a aproximadamente 3200 cm^{-1} corresponde al estiramiento fenólico O-H en enlaces de hidrógeno, mientras que el estiramiento C-H se encuentra en el rango de 3000-2850 cm^{-1}. El estiramiento C=C se observa a 1622 cm^{-1}, la vibración –OH a 1360 cm^{-1}, y el estiramiento C-O a 1242 cm^{-1}, todos típicos de los grupos fenólicos del timol (Rukmani y Mahalingam, 2012). Además, las vibraciones fuera del plano del C-H aromático del timol se localizan en 805 cm^{-1} (Markovik et al., 2015) y las bandas en 3395 cm^{-1} (estiramiento –OH) y 1644 cm^{-1} (vibraciones –OH) podrían atribuirse al agua adsorbida (Su et al., 2016). Respecto a la muestra de mentol, se observan picos fuertes y agudos, los cuales pueden asignarse a los grupos funcionales característicos del mentol. El enlace -CH_2 asignado a los picos 2927, 2845 y 1447 cm^{-1}, el enlace -CH_3 correspondiente a los picos 2954, 2869 cm^{-1} y enlaces C-O asignado a 1044, 1025 cm^{-1} (Al-Bayati, 2009).

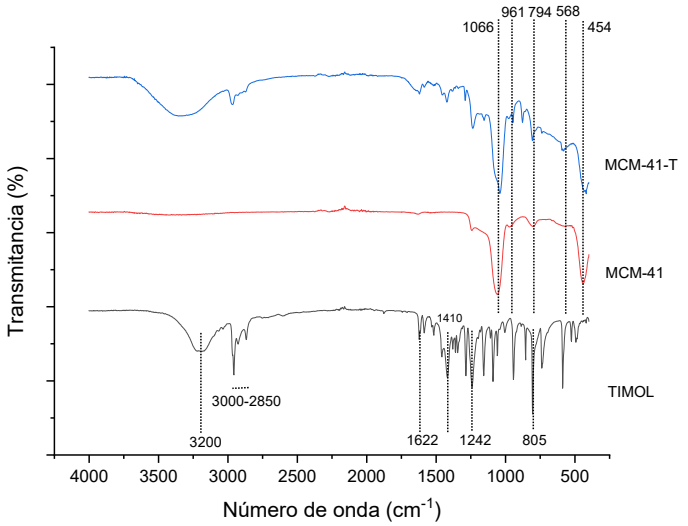


Fig. 2: Espectros de FT-IR de TIMOL, MCM-41 y MCM-41-T.

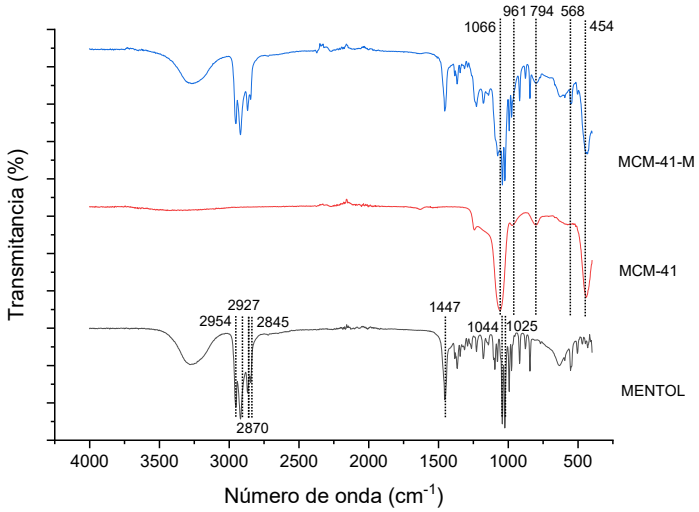


Fig. 3: Espectros de FT-IR de MENTOL, MCM-41 y MCM-41-M.

Se observa que, luego de una semana, las muestras impregnadas con timol y mentol (denominadas MCM-41-T y MCM-41-M, respectivamente) mantienen las bandas características de estos compuestos. Esto sugiere una notable estabilidad de los terpenos fenólicos dentro de los poros de la MCM-41.

Conclusiones

Los resultados preliminares sugieren que las sílices de bajo costo serían efectivas para estabilizar timol y mentol. Estudios más profundos relacionados con los aspectos cinéticos de liberación en diferentes medios y análisis térmicos, contribuirían a obtener un conocimiento más profundo sobre el comportamiento del material mesoporoso. Este enfoque no sólo tiene el potencial de ampliar las aplicaciones de los materiales mesoporosos, sino que también podría ofrecer soluciones innovadoras para mejorar la resistencia bacteriana en recubrimientos y pinturas. En definitiva, el estudio podría contribuir de manera significativa al desarrollo de nuevas tecnologías y productos en diversas industrias.

Referencias

Al-Bayati F. A. (2009). Isolation and identification of antimicrobial compound from mentha longifolia L. leaves grown wild in Iraq. Annals of Clinical Microbiology and Antimicrobials, 8, 20–20. 10.1186/1476-0711-8-20.

Elmiz M., Essifi K., Berraaouan D., Salhi S. y Tahani A. (2019). Adsorption thermodynamics and isosteric heat of adsorption of Thymol onto sodic, pillared and organic bentonite. Mediterranean Journal of Chemistry, 8(6), 494-504. http://dx.doi.org/10.13171/mjc8619080210em.

Mahdi S., Faten D. y Zohre E. (2019). Synthesis, characterization, and antibacterial activity of thymol loaded SBA-15 mesoporous silica nanoparticles. Inorganic and Nano-Metal Chemistry 49:6, 182-189, 10.1080/24701556.2019.1624569.

Markovik D., Milovanovic S., Radetic M., Jokic B. y Zizovic I. (2015). Impregnation of corona modified polypropylene non-woven material with thymol in supercritical carbon dioxide for antimicrobial application, The Journal of Supercritical Fluids, 101, 215-221. https://doi.org/10.1016/j.supflu.2015.03.022.

Mathew, A., Parambadath, S., Barnabas,M. J., Song, H. J., Kim, J. S., Park, S. S., y Ha, C. S. (2016). Rhodamine 6G assisted adsorption of metanil yellow over succinamic acid functionalized MCM-41. Dyes & Pigments, 131, 177–185. https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2016.04.007.

Pradhan, A. C., y Parida, K. M. (2012). Facile synthesis of mesoporous composite Fe/Al2O3–MCM-41: an efficient adsorbent/catalyst for swift removal of methylene blue and mixed dyes. Journal of Materials Chemistry, 22(15), 7567–7579. https://doi.org/10.1039/C2JM30451A.

Rabie, A. M., Shaban, M., Abukhadra, M. R., Hosny, R., Ahmed, S. A. y Negm, N. A. (2019). Diatomite supported by CaO/MgO nanocomposite as heterogeneous catalyst for biodiesel production from waste cooking oil. Journal of Molecular Liquids, 279, 224–231. https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.01.096.

Rukmani A. y Mahalingam S. (2012). Inclusion of antibacterial agent thymol on β -cyclodextrin-grafted organic cotton, Journal of Industrial Textiles, 42, 132-144. https://doi.org/10.1177/1528083711430244.

Sepahvand, S., Amiri, S., Radi, M. y Akhavan, H. (2021). Antimicrobial activity of thymol and thymol-nanoemulsion against three food-borne pathogens inoculated in a sausage model. Food and Bioprocess Technology, 14, 1936–1945. https://doi.org/10.1007/s11947-021-02689-w.

Su S., Ma H. y Chuan X. (2016). Hydrothermal synthesis of zeolite A from K-feldspar and its crystallization mechanism. Advanced Powder Technology, 27, 139-144. https://doi.org/10.1016/j.apt.2015.11.011.

Tariq S., Wani S., Rasool W., Shafi K., Bhat M. A., Prabhakar A., Shalla A. H. y Rather M.A. (2019). A comprehensive review of the antibacterial, antifungal and antiviral potential of essential oils and their chemical constituents against drug-resistant microbial pathogens. Microbial Pathogenesis 134, 103580. 10.1016/j.micpath.2019.103580.

Yingjun C., Rongfei Z., Meng C., Yanli G. y Xiangyou W. (2023). Sustained release and antioxidant activity of active potato starch packaging films encapsulating thymol with MCM-41. LWT-Food Science and Technology 173, 114342 https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114342.

INCREMENTO DE LA DUREZA DE UN RECUBRIMIENTO DE MATRIZ METÁLICA BASE HIERRO

Carolina García Díaz[1,2], Elena Brandaleze[1], José L. García[3], Edgardo R. Benavidez[1]

[1]Dpto. Metalurgia & Centro DEYTEMA, Facultad Regional San Nicolás, Universidad Tecnológica Nacional, Colón 332, B2900LWH, San Nicolás, Argentina
[2]Becaria Doctoral CONICET
[3]AB Sandvik Coromant R&D, Lerkrogsvägen 19, SE-126 80 Stockholm, Sweden

cgarciadiaz@frsn.utn.edu.ar

Resumen

En el presente trabajo se analiza un recubrimiento de matriz metálica reforzada (RMMR) de diseño y fabricación propios para su aplicación en herramientas agrícolas. Los componentes de la matriz (base hierro) y la fase refuerzo (carburo metálico) se mezclaron y molieron en molino de bolas. Luego, se depositó el polvo sobre un sustrato metálico de acero SAE 15B30 y se consolidó la capa mediante calentamiento inductivo y posterior temple en agua. Finalmente, se realizó un tratamiento mecánico (TM) de granallado para evaluar su efecto sobre la dureza del recubrimiento y del sustrato. El objetivo del trabajo es comparar un recubrimiento de compuesto de matriz metálica en su estado original y tras haber sido sometido a un proceso de granallado mecánico.
La microestructura del RMMR fue analizada mediante microscopía óptica y electrónica de barrido. Sobre el recubrimiento y el sustrato de acero, se midieron la microdureza y dureza Vickers con cargas de 300 g y 30 kg, respectivamente.
Las observaciones microestructurales mostraron una excelente adhesión del recubrimiento al sustrato; además, la fase de refuerzo no pudo distinguirse de la matriz a bajos aumentos, ya que se distribuye finamente a lo largo de la capa debido a su tamaño de grano pequeño. Las mediciones revelan un aumento en la dureza y microdureza tanto en el recubrimiento como en el sustrato después del granallado. El valor de microdureza $HV_{0.3}$ del recubrimiento registró un incremento de un 11%, mientras que los valores de dureza mostraron un aumento de ≈ 25% en las muestras tratadas mecánicamente. El sustrato de acero experimentó un incremento algo menor, con aumento de un 5% (microdureza), y un 18% (dureza). Se puede concluir que el tratamiento mecánico en este recubrimiento produce una mejora significativa en su dureza.

Palabras Clave: Recubrimiento, Compuesto de matriz metálica, Carburos metálicos, Dureza.

Introducción

En la búsqueda constante de mejorar las propiedades mecánicas y la durabilidad de los materiales, los recubrimientos de compuestos de matriz metálica reforzada (CMMR) han emergido como una solución efectiva para enfrentar los desafíos de desgaste y corrosión en diversas aplicaciones industriales. En Argentina, una de las actividades económicas más importantes es la agricultura y ganadería, siendo la fabricación de equipos agrícolas un sector fundamental para el desarrollo del país, según lo indicado por la Cámara Argentina de Fabricantes de Maquinarias Agrícolas (CAFMA) en el año 2022. Dado que la maquinaria y las herramientas agrícolas están expuestas a condiciones de trabajo extremadamente duras, el desgaste es la principal razón por la cual necesitan ser reemplazadas (Parvinkal et al., 2015).

Entre los materiales utilizados para la producción de estas herramientas de maquinaria agrícola, el acero al boro SAE 15B30 de producción nacional es uno de los más destacados, siendo comúnmente utilizado en estado templado y revenido para aumentar su dureza. En aplicaciones donde se requiere soportar desgastes severos, se le aplica un recubrimiento duro (Otsubo et al., 1999). Las aleaciones de matriz metálica base Fe son comúnmente utilizadas en los recubrimientos superficiales debido a su gran disponibilidad y excelentes propiedades, conteniendo elementos aleantes como B, Si, Cr, Ni, Mn, V y C que proporcionan un equilibrio único de propiedades

mecánicas (Umanskyi et al., 2017). La presencia de partículas duras en estas aleaciones puede mejorar significativamente el rendimiento de las herramientas, y este refuerzo se puede lograr a través de la formación de partículas duras in-situ, como los carburos o boruros de cromo, o mediante el agregado de partículas duras a la mezcla, como los carburos metálicos (WC, NbC, TiC, SiC, VC) o cementados (WC-Co, WC-Ni, WC-Co-Ni), (Mendez et al., 2013). Cuando se encuentran partículas duras en las aleaciones de matriz metálica, se puede clasificar el material como "compuesto de matriz metálica reforzada" (CMMR).

Las técnicas comúnmente utilizadas para depositar y consolidar los CMMR son la proyección o rociado térmicos y el recargue o soldadura (Simunovic et al., 2014). En el marco de este trabajo, se utilizó una técnica alternativa de bajo costo que implica la deposición a baja temperatura sobre el sustrato de acero al boro nacional, seguida de una sinterización rápida para lograr la consolidación de la capa. Para ello se diseñó y trabajo con un CMMR de baja temperatura de solidus para minimizar el impacto térmico en el sustrato metálico.

Adicionalmente, resulta beneficioso reforzar la superficie de los recubrimientos, el granallado (*shot peening*, en inglés) se destaca como uno de los principales métodos para lograr este refuerzo y así mejorar el rendimiento. Diversas investigaciones han comprobado que las tensiones generadas por los ciclos térmicos pueden ser aliviadas o incluso eliminadas a través del granallado (Torres et al., 2002) (Chin et al., 2020) (Geng et al., 2020), y que existe un espesor específico de la capa de deformación plástica en la capa subsuperficial. La intensa deformación plástica provoca el refinamiento del grano y una gran acumulación de dislocaciones, lo cual a su vez disminuye la velocidad de propagación de las grietas, mejora la dureza (Orozco-Caballero et al., 2021) y las propiedades mecánicas del compuesto de matriz metálica reforzada. Asimismo, la introducción de tensiones residuales de compresión en la superficie inferior del compuesto contribuye a reducir las tensiones de tracción, lo que también tiene un impacto positivo en la resistencia del material (SAE International Information Report, 1967).

El propósito de este estudio es caracterizar un recubrimiento de compuesto de matriz metálica antes y después de someterlo a un proceso de granallado. En primer lugar, se determinó la distribución granulométrica del polvo compuesto, el cual fue depositado y consolidado mediante sinterización rápida sobre sustratos de acero 15B30. Algunas muestras fueron sometidas a granallado mecánico, luego de la consolidación, mientras que otras muestras no recibieron ningún tratamiento adicional. Luego de consolidar la capa, se llevaron a cabo análisis de las microestructuras obtenidas y se midió la dureza de las capas depositadas y la microdureza de las fases resultantes.

Materiales y métodos

A partir del estudio de la bibliografía y las modelizaciones termodinámicas realizadas con el software FactSage 8.1, se diseñó el compuesto de matriz metálica en cuestión con 65% en peso de matriz metálica base hierro y 35% en peso de refuerzo de NbC. Para la fabricación de este compuesto, se pesaron las materias primas necesarias para obtener 20 g de polvo de partida, las cuales fueron molidas en un molino de bolas convencional a 60 rpm durante 1 hora. El proceso de molienda se realizó en presencia de un 10% en peso de alcohol etílico (96% en volumen). El polvo húmedo resultante fue luego secado en una estufa a 100ºC durante 2 horas para eliminar el alcohol añadido. El compuesto en polvo se aplicó a temperatura ambiente sobre un sustrato de acero SAE 15B30 y luego se consolidó mediante sinterización rápida a alta temperatura seguido de un temple en agua. La consolidación del recubrimiento se llevó a cabo utilizando un equipo de inducción de alta frecuencia, marca Termotrónica, a una frecuencia de 475 kHz durante 65 segundos. Posteriormente, una muestra se sometió a un tratamiento mecánico (TM) de granallado durante 4 minutos con granallas esféricas de acero S460H (CyM Materiales S.A.) con una granulometría pasante tamiz N°10 y 96% retenido en tamiz N°18 (apertura de 1 mm) y dureza de 392-528 HV (40-51 HRC). Durante el procesamiento de materiales duros, la dureza puede aumentar a 57-62 HRC. Estas granallas son muy valoradas por su buena tenacidad y se utilizan ampliamente en diversas aplicaciones industriales. Asimismo, presentan una vida útil más prolongada en comparación con

las granallas de hierro fundido, lo que las convierte en una opción duradera y eficiente para el tratamiento de superficies metálicas. Se analiza una muestra sin granallar y otra muestra granallada.

Las distribuciones de tamaños de partículas de los polvos correspondientes a las materias primas y al compuesto final fueron determinadas utilizando un dispositivo Malvern Mastersizer 2000, que, mediante tecnología de difracción láser, posibilita el análisis del tamaño de partículas desde 0,02 µm hasta 2000 µm.

Para el estudio microestructural, se cortaron secciones longitudinales correspondientes al acero base y al recubrimiento utilizando una cortadora ultralenta marca Buehler. Estas probetas se desbastaron con papeles de SiC y se pulieron con pasta de diamante de hasta 1 µm. Se utilizó el reactivo metalográfico Keller durante 2 minutos para revelar la microestructura. La identificación de las fases en el acero base y el recubrimiento se llevó a cabo mediante observaciones en un microscopio óptico Olympus GX51 con el sistema de análisis de imagen TSview7 y por microscopía electrónica de barrido (MEB), utilizando un microscopio Sigma Zeiss equipado con una pistola de emisión de campo tipo Schottky y con detectores de electrones secundarios y retrodifundidos. Finalmente, se midió el espesor del recubrimiento utilizando el programa ImageJ.

Se llevaron a cabo mediciones de microdureza Vickers ($HV_{0.3}$) en la sección transversal de las muestras pulidas, tanto en el acero base como en el recubrimiento, utilizando un microdurómetro Leco LM-300AT. Se realizaron un total de 35 mediciones, 5 en el acero base y 30 en el recubrimiento, con una carga de 0,3 kg y un tiempo de permanencia de la carga de 10 s. La dureza Vickers se midió en la superficie pulida con papel abrasivo N° 200 de las capas depositadas con un durómetro combinado Digimess DHT-07. Se realizaron 5 mediciones de dureza por cada muestra en el recubrimiento y 3 mediciones por cada muestra en el acero base, tanto granallada como sin granallar, con una carga de 30 kg (HV_{30}) y un tiempo de permanencia de la carga de 10 s.

Resultados y discusiones

Distribución de tamaño de partícula

La distribución de tamaño de partícula (DTP) del compuesto tras el proceso de molienda es presentada en la figura 1, donde se aprecian tres picos que disminuyen en intensidad a medida que aumenta el tamaño de partícula: 4 µm (5,5 vol.%), 35 µm (2,5 vol.%) y 316 µm (1 vol.%), Esta distribución trimodal se debe a las diferentes DTP de las materias primas utilizadas en su elaboración.

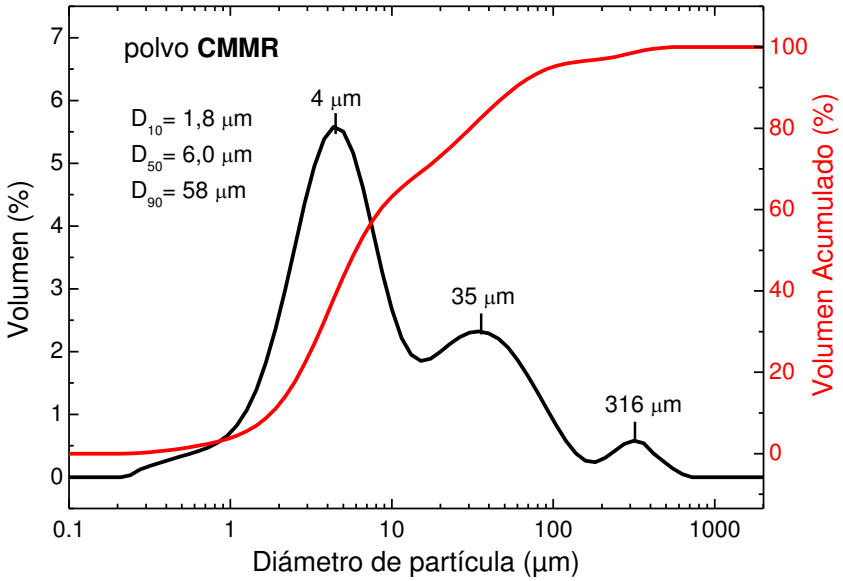


Fig. 1. Distribución del tamaño de partículas del compuesto de matriz metálica reforzada.

A partir de los datos de la DTP se calculan los porcentajes acumulados de partículas (en volumen), siendo los parámetros más relevantes D_{10}, D_{50} y D_{90} siendo D_X el tamaño de partícula correspondiente al X% de la distribución acumulada. En este caso, el tamaño medio de partícula para el compuesto de matriz metálica reforzada analizado es de 6 µm, mientras que el 90% del volumen de las partículas se encuentra por debajo de los 58 µm.

El polvo CMMR posee el 63 % de su volumen total por debajo de los 10 µm. El primer modo de la distribución, que está centrado en los 4 µm, es atribuido al polvo de NbC (ya que el polvo CMMR está compuesto por 35% en peso de NbC), cuya DTP se muestra en la figura 2. Este polvo presenta una distribución normal con pico en 3,3 µm y tamaño medio de partícula (D_{50}) de 2,9 µm. Se observa que prácticamente la totalidad del mismo se encuentra por debajo de los 10 µm. Debido a que la composición del CMMR contiene un 35% en peso de NbC, este último constituye, si se contempla su relativa baja densidad de 7,8 g/cm^3 (Cuppari, 2016), en un importante porcentaje del volumen total del polvo CMMR.

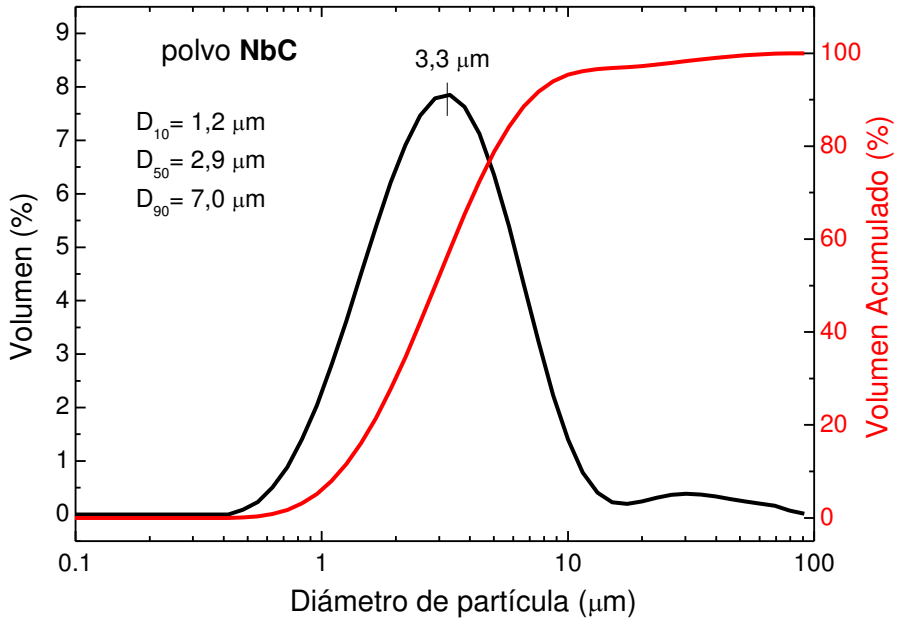
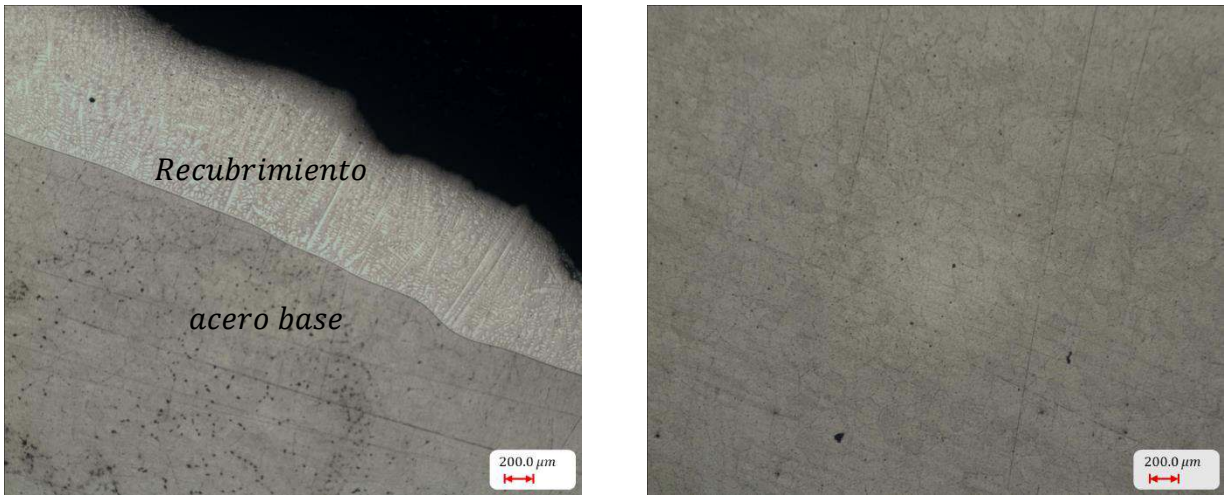


Fig. 2. Distribución granulométrica del refuerzo de NbC (carburo metálico).

Microscopía óptica y electrónica del recubrimiento

Se utilizó microscopia óptica (MO) junto con un programa analizador de imágenes para estimar el espesor y topografía del recubrimiento depositado. A lo largo de la probeta se realizaron 55 mediciones del espesor del recubrimiento, de las cuales se obtuvo un espesor promedio de la capa de 2500 ± 823 µm. Las imágenes de MO permitieron observar una buena adhesión de la capa al acero base a lo largo de toda la muestra (fig. 3a).

También, mediante microscopía óptica (fig. 3a y 3b), se pudo verificar que la microestructura del acero base está compuesta completamente por martensita debido al boro añadido que mejora la templabilidad. El mecanismo decisivo para la mejora de la templabilidad es un retraso en la transformación a las estructuras de bainita, ferrita y perlita, que son más blandas que la martensita. De no ser por la aplicación del boro, estas estructuras más blandas se formarían durante el enfriamiento a partir de la temperatura de austenización, después del recocido o del trabajo en caliente.



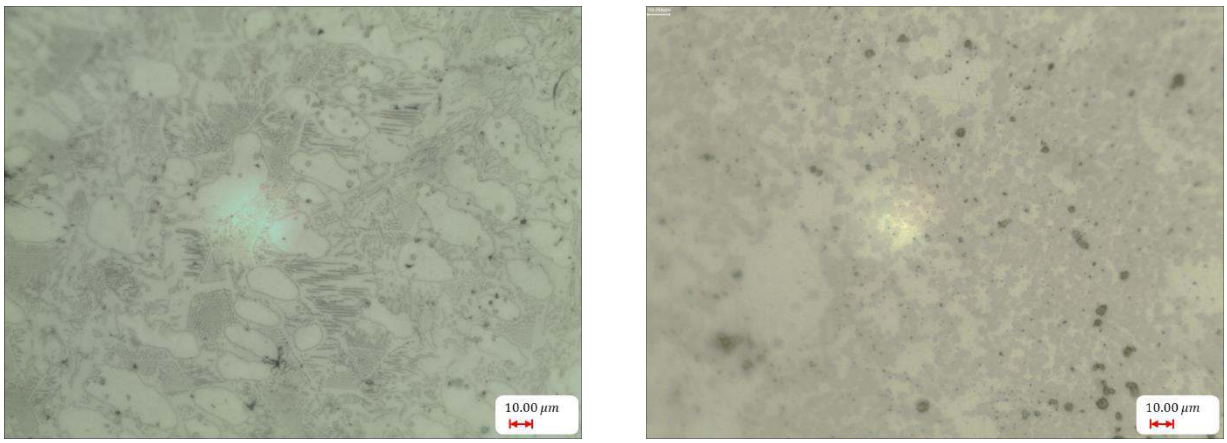
(a) (b)

Fig. 3. Microscopía óptica (a) del recubrimiento y acero base a 50x y (b) acero base a 50x.

En la figura 3a, se observa que el recubrimiento ha desarrollado un importante crecimiento del tipo dendrítico.

Si bien los granos de NbC no son discernibles a estas bajas magnificaciones (50x), los mismos pueden ser detectados, como se muestra en las figs. 4a y 4b, a partir de observaciones de MO con aumentos de 1000x. Como se mencionó previamente, el tamaño de partícula del NbC es extremadamente fino, con un D_{50} de 2,9 µm, lo que explica por qué no es visible a bajas magnificaciones. La presencia de granos de NbC en las capas depositadas, permiten concluir que la fase refuerzo no se disolvió durante el proceso de consolidación del recubrimiento, soportando de manera efectiva el ciclo térmico.

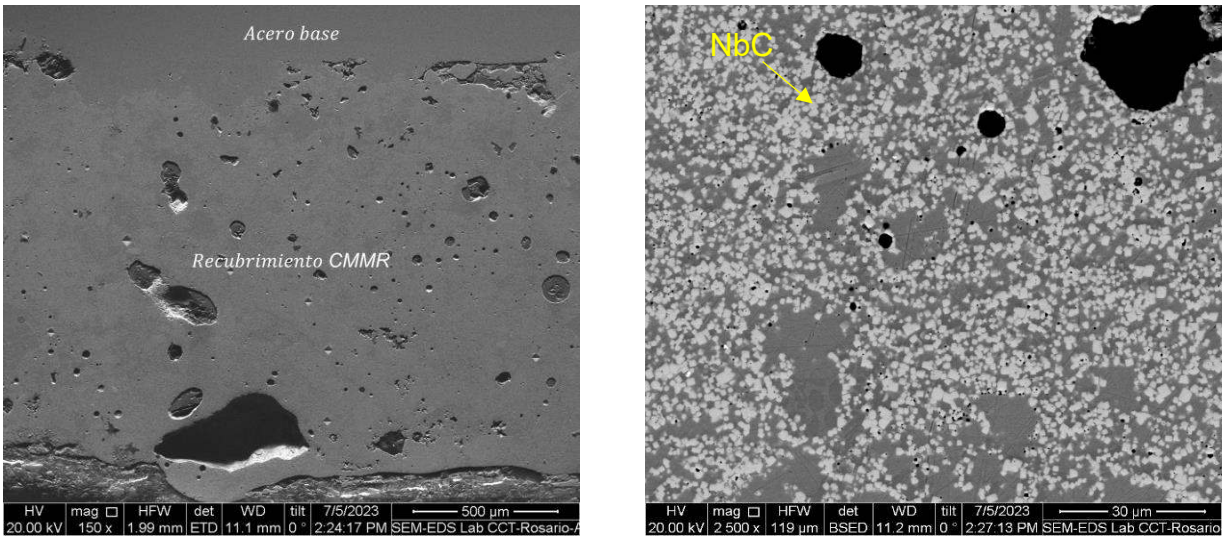
Vale destacar de las observaciones de las capas con y sin TM de granallado (fig. 4a y 4b, respectivamente), que las mismas no muestran cambios detectables a nivel microestructural.



(a) (b)

Fig. 4. Microscopía óptica (1000x) del recubrimiento (a) granallado y (b) sin granallar.

En las imágenes de MEB del recubrimiento (figuras 5a y 5b) se puede distinguir una importante presencia de poros, con una gran distribución de tamaños, algunos de estos poros pueden alcanzar un tamaño de varios centenares de micrones. Un probable origen de los mismos puede ser atribuido a la volatilización de elementos que componen la matriz metálica (por ejemplo, el manganeso).



(a) (b)

Fig. 5. Microscopía electrónica de barrido (a) del recubrimiento y el acero base a 150x, (b) del recubrimiento a 2500x.

El análisis EDS semicuantitativo revela algunos elementos presentes en el recubrimiento. En la figura 6, se puede apreciar que las partículas blancas corresponden al carburo de niobio. La matriz metálica está mayoritariamente compuesta por hierro. Por otro lado, el manganeso parece concentrarse en la zona de estructura eutéctica, lo que indica que podría estar formando parte de un eutéctico de bajo punto de fusión con el hierro y níquel.

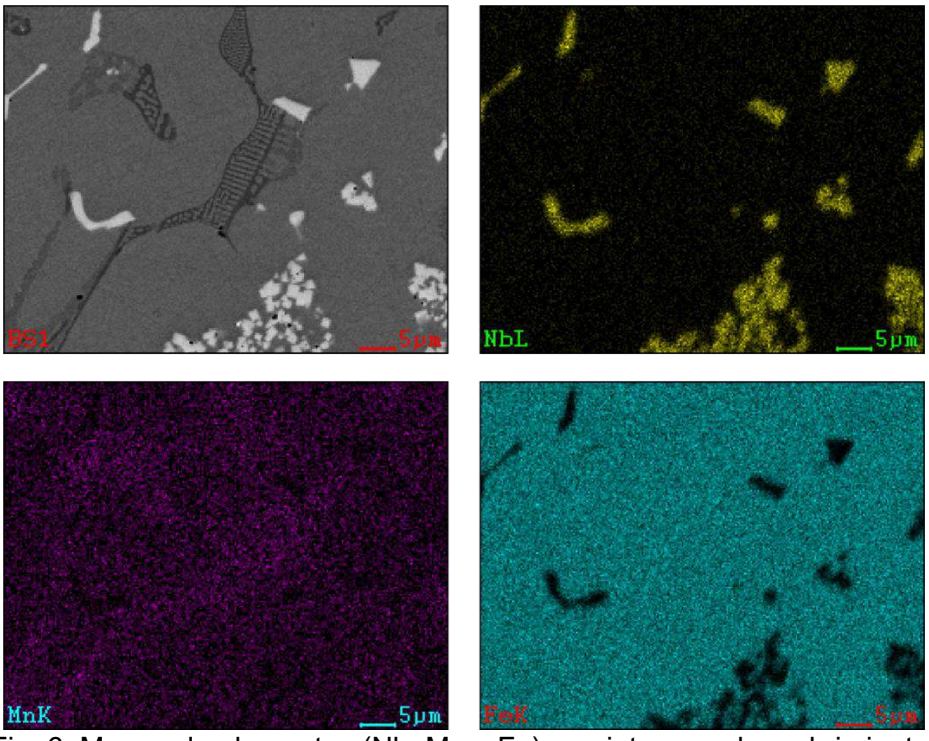


Fig. 6. Mapeo de elementos (Nb, Mn y Fe) que integran el recubrimiento.

Dureza y microdureza

En la figura 7 se presentan las gráficas de los valores de microdureza $HV_{0.3}$ medidos sobre las capas y sustratos pre-TM y pos-TM de granallado. El acero base 15B30 (templado durante la consolidación de la capa) sin granallar presenta una microdureza promedio de (548 ± 35) kgf/mm^2 la cual aumenta tras el granallado a un valor de (571 ± 23) kgf/mm^2, lo que representa un incremento del 4,2% en la

microdureza. Estas mediciones no presentan diferencias significativas, con lo cual los resultados son prácticamente iguales.

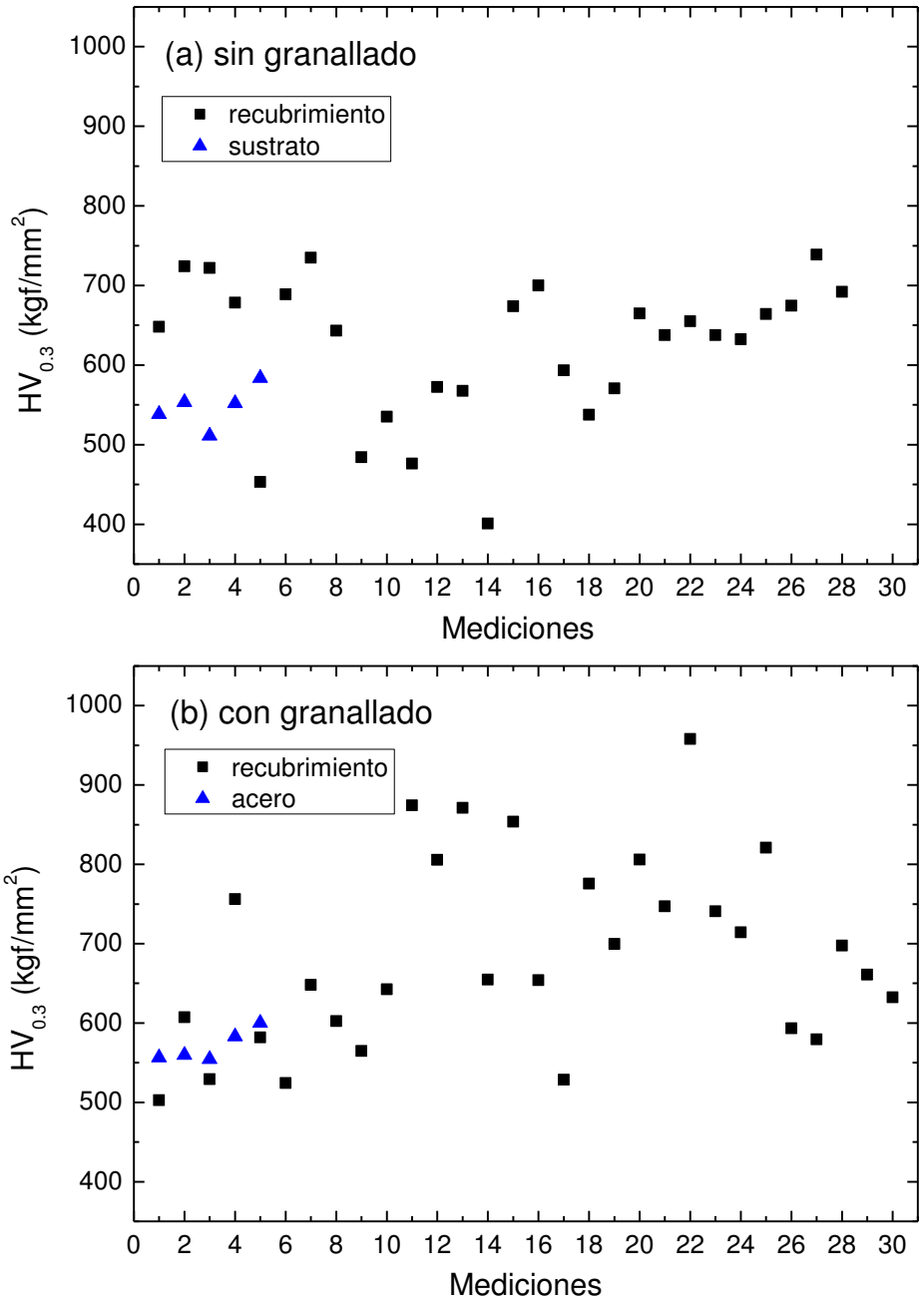


Fig. 7. Microdureza del recubrimiento y acero base (a) sin granallar, y (b) granallado.

El recubrimiento sin granallar tiene una microdureza promedio de (622 ± 150) kgf/mm^2, mientras que en el recubrimiento granallado es de (688 ± 230) kgf/mm^2, lo que representa un aumento del 10,6% en la microdureza. La variabilidad en los valores de microdureza se debe a la heterogeneidad de las fases que conforman el recubrimiento. Es importante señalar que los valores más altos de microdureza están asociados al carburo de niobio (cercanos a 1000–1200 kgf/mm^2), mientras que los valores más bajos están relacionados con la matriz metálica (aprox. 500 kgf/mm^2), ya que la matriz metálica ha sido medida en una muestra aparte (sin el NbC) mostrando esos valores.

En la tabla 1 se presentan los valores de dureza HV_{30}. Para el caso del acero base sin granallar se obtiene un valor de la dureza promedio de (502 ± 3) kgf/mm^2, mientras que el mismo material granallado tiene un HV_{30} promedio de (592 ± 1) kgf/mm^2, constituyendo así un aumento del 18% en

la dureza. La diferencia de valores entre la microdureza y la dureza se debe a que la microdureza Vickers puede ser más sensible a las variaciones en el tamaño de grano y la microestructura del acero. Es decir que, al enfocarse en áreas más pequeñas y localizadas del material, puede capturar variaciones locales en la dureza que no se reflejan en las mediciones de dureza Vickers estándar. Las áreas localmente endurecidas o debilitadas influyen sobre los valores promedio de microdureza, lo que puede resultar en valores más bajos o más altos en comparación con las mediciones de dureza estándar.

Tabla 1. Dureza HV_{30} (en kgf/mm^2) del sustrato y del recubrimiento sin y con granallado.

Material	Sin granallado	Con granallado
A15B30T (sustrato)	502	592
	499	591
	504	592
CMMR (recubrimiento)	694	666
	536	727
	470	757
	523	647

Las mediciones de dureza HV_{30} del recubrimiento (CMMR) sin granallar presenta un promedio de 556 (± 112) kgf/mm^2. Por otro lado, el valor promedio de dureza del recubrimiento granallado es de 699 (± 55) kgf/mm^2. Estos valores indican un aumento del orden del 26% de la dureza del CMMR pos-TM. Es relevante nuevamente destacar que, la diferencia entre los valores de dureza y microdureza, se debe a la sensibilidad del ensayo de microdureza ante las diferentes fases presentes en la microestructura.

Tal como se ha indicado previamente, a pesar de no haberse detectado alteraciones significativas en la microestructura del recubrimiento en las muestras granalladas y sin granallar, la variación apreciable en los valores de dureza y microdureza sugiere un cambio en el nivel de tensiones. Mediante la aplicación del granallado se eliminan tensiones residuales de tracción, uniformando una tensión de compresión en toda la superficie. Cuando la granalla de forma esférica (como en este caso), es impulsada en un flujo de alta velocidad, impacta sobre la superficie metálica conformando en la misma un perfil superficial constituido por valles y crestas redondeadas y productos por la deformación plástica del metal durante el impacto. Dicha deformación se extiende entre los 50 y 250 micrones de profundidad. El efecto obtenido luego del granallado constituye el aplastamiento de los granos metalográficos de la superficie del metal (SAE International Information Report, 1967). Esto produce que los granos se ensanchen, comprimiéndose entre sí y generando tensiones de compresión paralelas a la superficie. Estas tensiones de compresión anulan tensiones residuales inducidas en procesos anteriores como, en el caso del presente trabajo, el tratamiento térmico. Además, estos esfuerzos compresivos, se oponen a toda solicitación a la tracción a la que sea sometida la pieza en una utilización posterior o en servicio.

Conclusiones

A través del análisis comparativo de los resultados discutidos, se evidencia que el tratamiento mecánico de granallado incrementó la dureza tanto del acero base como del recubrimiento de CMMR. Se puede concluir que la distribución granulométrica del polvo obtenido tras la molienda es adecuada para la técnica de deposición y consolidación seleccionada. Se verificó la presencia de la fase reforzante de NbC a altos aumentos debido a su pequeño tamaño de grano, confirmando que no se disolvió durante la consolidación de la capa. Además, se observó una buena unión intermetálica entre el acero base y el recubrimiento. El análisis de EDS permitió corroborar la presencia y distribución de los elementos constituyentes en las distintas fases formadas durante la consolidación. No se observó una diferencia a nivel microestructural entre el recubrimiento

granallado y sin granallar. Las mediciones de dureza y microdureza indican que hubo un aumento considerable de dureza en los recubrimientos granallados.
Como próximo paso a seguir es hacer un análisis de tipo estadístico, basado en las mediciones de microdureza, para alcanzar una mejor estimación de la incertidumbre inherente a estos valores.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo financiero de la Universidad Tecnológica Nacional (Argentina) en el marco del proyecto PID-UTN 8159TC ‘‘Comportamiento térmico y mecánico de productos obtenidos mediante diferentes procesos metalúrgicos’’. Al Sr. Agustín Álvarez y al Ing. José Codoni (empresa Metaltécnica) por facilitarnos el equipo de inducción de alta frecuencia y la granalladora.

Referencias

Parvinkal, S. M & Navjeet, K. B. (2015). Tribological aspects of agricultural equipment. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 2, 1704-1708.

Otsubo, F., Era, H., & Kishitake, K. (2000). Interface reaction between nickel-base self-fluxing alloy coating and steel substrate. *Journal of thermal spray technology*, *9*(2), 259–263. https://doi.org/10.1361/105996300770350014

Umanskyi, O. P., Pareiko, M. V., Storozhenko, M. S., & Krasovskyy, V. P. (2017). Wetting and interfacial behavior of Fe-based self-fluxing alloy–refractory compound systems. *Journal of superhard materials*, *39*(2), 99–105. https://doi.org/10.3103/s1063457617020046

Mendez, P. F., Barnes, N., Bell, K., Borle, S. D., Gajapathi, S. S., Guest, S. D., Izadi, H., Gol, A. K., & Wood, G. (2014). Welding processes for wear resistant overlays. *Journal of Manufacturing Processes*, *16*(1), 4–25. https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2013.06.011

Simunovic, K., Saric, T., & Simunovic, G. (2014). Different approaches to the investigation and testing of the Ni-based self-fluxing alloy coatings—A review. Part 1: General facts, wear and corrosion investigations. *Tribology Transactions*, *57*(6), 955–979. https://doi.org/10.1080/10402004.2014.927547

Torres, M. (2002). An evaluation of shot peening, residual stress and stress relaxation on the fatigue life of AISI 4340 steel. *International journal of fatigue*, *24*(8), 877–886. https://doi.org/10.1016/s0142-1123(01)00205-5

Chin, K. S., Idapalapati, S., & Ardi, D. T. (2020). Thermal stress relaxation in shot peened and laser peened nickel-based superalloy. *Journal of Materials Science & Technology*, *59*, 100–106. https://doi.org/10.1016/j.jmst.2020.03.059

Geng, Y., Dong, X., Wang, K., Mei, X., Tang, Z., & Duan, W. (2020). Evolutions of microstructure, phase, microhardness, and residual stress of multiple laser shock peened Ni-based single crystal superalloy after short-term thermal exposure. *Optics and Laser Technology*, *123*(105917), 105917. https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2019.105917

Orozco-Caballero, A., Jackson, T., & Da Fonseca, J. Q. (2021). High-resolution digital image correlation study of the strain localization during loading of a shot-peened RR1000 nickel-based superalloy. *Acta Materialia*, *220*, 117306. https://doi.org/10.1016/j.actamat.2021.117306

Cuppari, M., & Santos, S. (2016). Physical properties of the NbC carbide. *Metals*, *6*(10), 250. https://doi.org/10.3390/met6100250

Surface Enhancement Committee. (2017). *Manual on Shot Peening*. SAE International.

SÍNTESIS DE MATERIAL COMPUESTO DE AZUFRE/POLIPIRROL-GRAFENO COMO CÁTODO PARA BATERÍAS LITIO-AZUFRE

Micaela S. Alvarez[1], Javier I. Amalvy, Francisco M. Pardini[1], Mariela G. Ortiz[1,2]

[1] Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de los Materiales (CITEMA), Facultad Regional La Plata, Universidad Tecnológica Nacional (FRLP-UTN) y Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CICPBA), Berisso, 1923
[2] Instituto de Investigaciones Fisicoquímicas Teóricas y Aplicadas (INIFTA), Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata (UNLP) y CCT La Plata CONICET, La Plata, 1900
micaela_alvarez98@yahoo.com

Resumen

Las baterías de litio-azufre (Li-S) se consideran un candidato prometedor para los dispositivos de almacenamiento de próxima generación. Sin embargo, varios problemas limitan su aplicación práctica. Primero, la baja conductividad electrónica e iónica tanto del azufre (S) como del Li_2S. En segundo lugar, los polisulfuros de litio (PS) de alto orden (Li_2S_n, $4 \leq n \leq 8$), productos intermedios de la reacción de descarga, son solubles en electrolitos orgánicos y su disolución provoca un efecto de pérdida de material activo irreversible, resultando en una baja eficiencia coulómbica y una pérdida de la capacidad durante el ciclado.

Los problemas mencionados podrían solucionarse sintetizando materiales compuestos porosos de carbono-azufre, donde el carbono sea capaz de retener a los PS que se generan, y adicionando polímeros conductores que conjuntamente al carbón proporcionen una matriz conductora.

En este sentido, por un lado, el polipirrol (PPy) es un polímero conductor con una alta capacidad de absorción de PS que favorece la distribución homogénea del azufre en el compuesto, mientras que el óxido de grafeno reducido (rGO) se distingue por su buena conductividad eléctrica, su alta resistencia mecánica y su estabilidad química. Teniendo en cuenta estas propiedades, se preparó y caracterizó un material compuesto formado por S/PPy-rGO para emplear como cátodo en baterías Li-S. El PPy se sintetizó por polimerización química y el rGO se preparó a partir de carbón de coque (C) utilizando el método Hummers. El material del cátodo se sintetizó con un 60% en peso de S en polvo, un 30% en peso de rGO y un 10% en peso de PPy.

Este material catódico será caracterizado con SEM, FTIR, TGA y técnicas electroquímicas como voltametría cíclica, espectroscopía de impedancia electroquímica y ciclos de carga-descarga.

Palabras Clave: Baterías Li-S, Electroquímica, Cátodo, Grafeno, Polímero Conductor.

Introducción

Las baterías recargables de iones de litio (LIB) han mantenido su dominio en la industria del almacenamiento de energía tanto en dispositivos portátiles como en vehículos eléctricos y sistemas de energía. Sin embargo, con el rápido desarrollo de la electrónica, existe una creciente demanda de dispositivos de almacenamiento de alta densidad de energía, para lo que aún se requiere la evolución del rendimiento y la capacidad del cátodo (Evers and Nazar, 2013; Marongiu et al., 2015).

El azufre elemental ha generado un impulso oportuno en el desarrollo de nuevos materiales catódicos para baterías de litio secundarias de próxima generación que explotan su abundante disponibilidad, bajo costo, benignidad ambiental, energía específica teórica de 2600 $Whkg^{-1}$ y capacidad teórica de 1675 $mAhg^{-1}$ (Peramunage et al., 1993; Novák et al., 1997). A pesar de estas enormes ventajas, todavía hay una serie de problemas que obstaculizan la aplicación práctica de las baterías litio-azufre (Li-S). En primer lugar, el azufre está casi aislado eléctricamente (Chen et al., 2014; Wang et al., 2013), lo que conduce a una mala accesibilidad electroquímica y una baja

utilización de azufre en los electrodos. Otro problema importante proviene de los polisulfuros, que se forman durante la primera descarga en las baterías Li-S, que son solubles en los electrolitos convencionales a base de solventes orgánicos, lo cual causa una pérdida irreversible de material activo a lo largo de los ciclos (Chung et al., 2016; Rosenman et al., 2016).

En respuesta a estos inconvenientes se han realizado considerables investigaciones para poder superarlos. Se han reportado innumerables formas de impregnar el azufre en diversas matrices de carbono porosas (Yuan et al., 2015; Gao et al., 2017), polímeros conductores (Liang et al., 2015; Xie et al., 2016) y óxidos metálicos (Wen et al., 2019; Guo et al., 2019) para mejorar la conductividad eléctrica del cátodo y suprimir la pérdida de intermediarios de polisulfuro solubles durante el ciclado.

Los materiales carbonosos se consideran una opción ideal, ya que son altamente conductores y exhiben una gran variedad estructural en morfología, química de superficie y porosidad. Entre ellos, el rGO se ha investigado para mejorar la velocidad y el rendimiento del ciclado debido a sus propiedades de transporte electrónico y alta estabilidad electroquímica (Wang et al., 2011).

Con la creciente preocupación por el medio ambiente y el uso sostenible de los recursos, la industria petroquímica se enfrenta a los desafíos en la gestión de cada uno de sus flujos de productos. Incluso los subproductos de la refinación del petróleo, como el carbón de coque, son difíciles de utilizar de forma sostenible. El coque se utiliza como calefacción en varias industrias y su combustión produce incluso más CO_2 por masa de combustible que el carbón (Andrews & Lattanzio, 2013). Además, se emplea en la industria del acero, emitiendo gases de efecto invernadero (Shan et al., 2018). Por estos motivos, es necesario buscar métodos de aprovechamiento de este subproducto.

El empleo del carbón de coque como materia prima para la producción de materiales carbonosos es uno de los métodos que se han estudiado para su reutilización. El grafeno en particular es un objetivo interesante debido a su continuo despliegue en una variedad de campos de aplicación, entre los que se puede destacar las baterías y los supercondensadores (Liang et al., 2009; Jo et al., 2012).

Por otro lado, dentro de los polímeros conductores, el polipirrol (PPy) se destaca debido a su afinidad de unión con Li_xS ($0<x<2$). Por esta razón, es un material muy prometedor para reducir eficazmente la difusión del polisulfuro en el electrolito y contribuir así a un rendimiento cíclico más estable (Rao et al., 2017).

Desarrollo

Síntesis de óxido de grafito

La exfoliación del carbón de coque en fase líquida puede ser química o mecánica. En este trabajo se utilizó la exfoliación química. Este método, conocido como método Hummers (Zhao et al., 2010) (Figura 1), implica la oxidación química del carbón de coque empleando oxidantes fuertes en medio ácido. Estos oxidantes generan la incorporación covalente de grupos funcionales oxigenados, obteniendo así óxido de grafito.

La oxidación química se llevó a cabo utilizando $KMnO_4$ en medio ácido dado por H_2SO_4 concentrado. La especie reactiva es el óxido de manganeso (VII).

$$KMnO_4 + 3H_2SO_4 \rightarrow K^+ + {MnO_3}^+ + H_3O^+ + 3HSO_4^-$$
$${MnO_3}^+ + {MnO_4}^- \rightarrow Mn_2O_7$$

Durante la reacción, el Mn_2O_7 reacciona con los dobles enlaces del carbono, generando grupos epoxídicos e hidroxilo, mientras que en los carbonos terminales de la molécula se forman grupos carboxilos y carbonilos. Estos grupos aumentan el espacio intermolecular de las láminas de grafito produciendo una separación de estas y disminuyendo las fuerzas que las mantienen unidas entre

sí. Una vez finalizada la reacción de oxidación se adiciona H_2O_2 para oxidar el $KMnO_4$ remanente que no haya reaccionado.

$$2KMnO_4 + 3H_2SO_4 + 5H_2O_2 \rightarrow 5O_2 + 2MnSO_4 + 8H_2O + K_2SO_4$$

Posteriormente se retira el óxido de grafito de la solución obtenida mediante lavado, filtración, purificación con HCl y secado.

Exfoliación de óxido de grafito

El óxido de grafeno se obtiene mediante la exfoliación del óxido de grafito. Este, al igual que el óxido de grafeno, es hidrofílico, por lo que moléculas de agua se pueden intercalar entre sus láminas, aumentando la distancia entre ellas.

Mediante centrifugación se separa el óxido de grafeno disuelto del óxido de grafito en dispersión. Luego, la solución que contiene el óxido de grafeno se seca.

Obtención de grafeno por reducción química y térmica

Para obtener el grafeno se deben eliminar los grupos funcionales oxigenados. Por esta razón, se utilizan dos métodos:

- Reducción térmica: el óxido de grafeno se reduce parcialmente llevándolo a 300 ºC y se aumenta su espacio interlaminar mediante sonicación.

- Reducción química: el óxido de grafeno parcialmente reducido se hace reaccionar con ácido ascórbico como agente reductor. Posteriormente, la solución se centrifuga para separar el sólido precipitado (óxido de grafeno reducido), el cual se lava y seca.

Obtención del material compuesto rGO-PPy

El polipirrol se sintetizó a partir del monómero de pirrol mediante el procedimiento químico oxidativo (Kang and Geckeler, 2000), utilizando $FeCl_3$ como oxidante. El grafeno recubierto de polipirrol se sintetizó mediante polimerización in situ de pirrol en presencia de grafeno.

Obtención del material compuesto S/rGO-PPy

El material sintetizado rGO-PPy se mezcla mecánicamente de forma manual con S en polvo y luego se lleva a calcinar en atmósfera de nitrógeno.

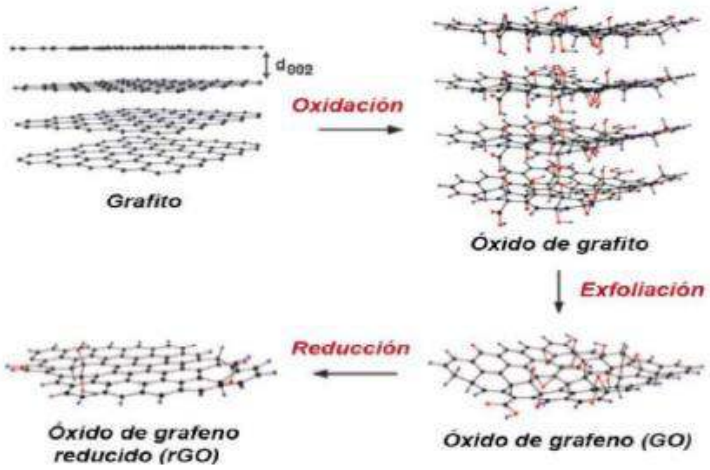


Figura 1. Etapas de la obtención de óxido de grafeno reducido a partir del método de Hummers.

Caracterización

Para caracterizar el rGO se realizó una espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) para determinar los grupos funcionales presentes en los materiales obtenidos en las diferentes etapas de reacción (Figura 2).

Al producirse la reacción de oxidación y obtener el óxido de grafito se puede ver en el espectro la incorporación de grupos oxigenados a la estructura. En el espectro infrarrojo del óxido de grafito se puede observar entre la banda 3500-3000 cm^{-1} la vibración de tensión y estiramiento del enlace hidroxilo (O-H). En los 1720 cm^{-1} se ve un pico que corresponde a las vibraciones de tensión y estiramiento de los grupos carbonilos (C=O) y carboxilos. Las bandas a 1620 cm^{-1} y 1590 cm^{-1} se deben a los grupos aromáticos (C=C) de las regiones grafíticas de las láminas que permanecen sin oxidar.

Luego de la exfoliación del óxido de grafito se obtiene el óxido de grafeno, en el cual se puede observar un aumento de los grupos oxigenados. En la banda 1400 cm^{-1} se observa la vibración de flexión de los grupos O-H. Las bandas a 1220 cm^{-1} y 830 cm^{-1} se atribuyen a las vibraciones de tensión del grupo epoxi (C-O-C).

Al reducir el óxido de grafeno química y térmicamente se puede apreciar en el espectro la reducción de los grupos oxigenados.

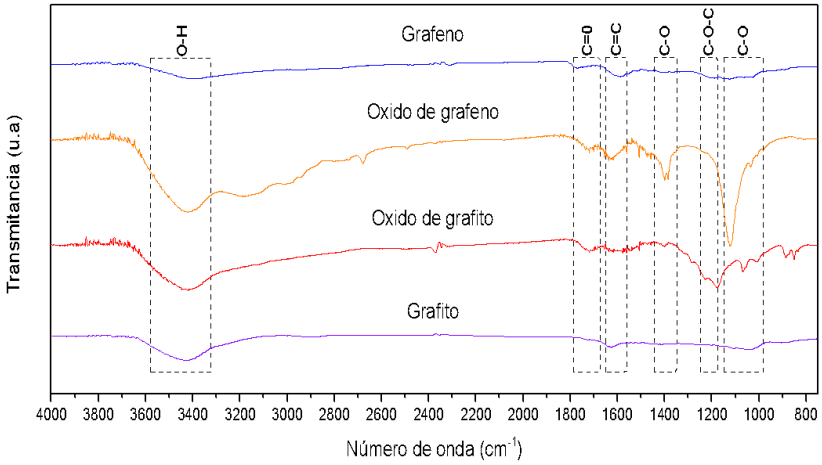


Figura 2. Espectros FTIR de las diferentes etapas de la reacción de obtención del óxido de grafeno reducido.

Conclusiones

Se pudo obtener óxido de grafeno reducido mediante el método Hummers sin agentes oxidantes utilizados comúnmente como el $NaNO_3$ y el $KClO_3$, los cuales generan gases tóxicos a la atmósfera.

Por otro lado, uno de los agentes reductores que se emplean es la hidracina, la cual, si bien es muy eficaz, también es un reactivo extremadamente tóxico. En este trabajo se pudo reemplazar por un método de reducción doble (químico y térmico).

Además, se obtuvo un material compuesto rGO-PPy a través de un proceso simple de polimerización química de PPy en presencia de rGO, permitiendo así generar el material en un solo paso.

Como próximo paso de avance y para completar este trabajo se estudiará el material obtenido. Su morfología y porosidad será examinada mediante SEM y área BET. Además, a través de TGA se podrá conocer la cantidad de azufre presente en el material luego de la calcinación. Luego,se ensayará el material obtenido S/rGO-PPy como cátodo en una celda de Li-S para evaluar su rendimiento a través de ensayos electroquímicos como voltamperometría cíclica, espectroscopía de impedancia electroquímica y ciclado galvanostático.

Referencias

Andrews, A., & Lattanzio, R. K. (2013). Petroleum coke: Industry and environmental issues. Washington, DC: Congressional Research Service.
Chen, L., & Shaw, L. L. (2014). Recent advances in lithium–sulfur batteries. Journal of Power Sources, 267, 770-783.
Chung, S. H., Chang, C. H., & Manthiram, A. (2016). A core–shell electrode for dynamically and statically stable Li–S battery chemistry. Energy & Environmental Science, 9(10), 3188-3200.
Evers, S., & Nazar, L. F. (2013). New approaches for high energy density lithium–sulfur battery cathodes. Accounts of chemical research, 46(5), 1135-1143.
Gao, T., Le, T., Yang, Y., Yu, Z., Huang, Z., & Kang, F. (2017). Effects of electrospun carbon nanofibers' interlayers on high-performance lithium–sulfur batteries. Materials, 10(4), 376.
Guo, P., Sun, K., Shang, X., Liu, D., Wang, Y., Liu, Q., ... & He, D. (2019). Nb2O5/RGO nanocomposite modified separators with robust polysulfide traps and catalytic centers for boosting performance of lithium–sulfur batteries. Small, 15(40), 1902363.

Jo, G., Choe, M., Lee, S., Park, W., Kahng, Y. H., & Lee, T. (2012). The application of graphene as electrodes in electrical and optical devices. Nanotechnology, 23(11), 112001.
Kang, H., & Geckeler, K. E. (2000). Enhanced electrical conductivity of polypyrrole prepared by chemical oxidative polymerization: effect of the preparation technique and polymer additive. Polymer, 41(18), 6931-6934.
Liang, M., Luo, B., & Zhi, L. (2009). Application of graphene and graphene-based materials in clean energy-related devices. International Journal of Energy Research, 33(13), 1161-1170.
Liang, X., Zhang, M., Kaiser, M. R., Gao, X., Konstantinov, K., Tandiono, R., ... & Wang, J. (2015). Split-half-tubular polypyrrole@ sulfur@ polypyrrole composite with a novel three-layer-3D structure as cathode for lithium/sulfur batteries. Nano Energy, 11, 587-599.
Marongiu, A., Roscher, M., & Sauer, D. U. (2015). Influence of the vehicle-to-grid strategy on the aging behavior of lithium battery electric vehicles. Applied Energy, 137, 899-912.
Novák, P., Müller, K., Santhanam, K. S. V., & Haas, O. (1997). Electrochemically active polymers for rechargeable batteries. Chemical reviews, 97(1), 207-282.
Peramunage, D., & Licht, S. (1993). A solid sulfur cathode for aqueous batteries. Science, 261(5124), 1029-1032.
Rao, J., Xu, R., Zhou, T., Zhang, D., & Zhang, C. (2017). Rational design of self-supporting graphene-Polypyrrole/sulfur-Graphene sandwich as structural paper electrode for lithium sulfur batteries. Journal of Alloys and Compounds, 728, 376-382.
Rao, J., Xu, R., Zhou, T., Zhang, D., & Zhang, C. (2017). Rational design of self-supporting graphene-Polypyrrole/sulfur-Graphene sandwich as structural paper electrode for lithium sulfur batteries. Journal of Alloys and Compounds, 728, 376-382.
Rosenman, A., Markevich, E., Salitra, G., Talyosef, Y., Chesneau, F., & Aurbach, D. (2016). Facile synthesis and very stable cycling of polyvinylidene dichloride derived carbon: Sulfur composite cathode. Journal of The Electrochemical Society, 163(9), A1829.
Shan, Y., Guan, D., Meng, J., Liu, Z., Schroeder, H., Liu, J., & Mi, Z. (2018). Rapid growth of petroleum coke consumption and its related emissions in China. Applied Energy, 226, 494-502.
Wang, J. Z., Lu, L., Choucair, M., Stride, J. A., Xu, X., & Liu, H. K. (2011). Sulfur-graphene composite for rechargeable lithium batteries. Journal of Power Sources, 196(16), 7030-7034.
Wang, J., Lu, L., Shi, D., Tandiono, R., Wang, Z., Konstantinov, K., & Liu, H. (2013). A Conductive Polypyrrole-Coated, Sulfur–Carbon Nanotube Composite for Use in Lithium–Sulfur Batteries. ChemPlusChem, 78(4), 318-324.
Wen, Z., Yu, L., Mai, F., Ma, Z., Chen, H., & Li, Y. (2019). Catalytic conversion of microcrystalline cellulose to glucose and 5-hydroxymethylfurfural over a niobic acid catalyst. Industrial & Engineering Chemistry Research, 58(38), 17675-17681.
Xie, Y., Zhao, H., Cheng, H., Hu, C., Fang, W., Fang, J., ... & Chen, Z. (2016). Facile large-scale synthesis of core–shell structured sulfur@ polypyrrole composite and its application in lithium–sulfur batteries with high energy density. Applied energy, 175, 522-528.
Yuan, G., Wang, G., Wang, H., & Bai, J. (2015). A novel three-dimensional sulfur/graphene/carbon nanotube composite prepared by a hydrothermal co-assembling route as binder-free cathode for lithium–sulfur batteries. Journal of Nanoparticle Research, 17, 1-11.
Zhao, J., Pei, S., Ren, W., Gao, L., & Cheng, H. M. (2010). Efficient preparation of large-area graphene oxide sheets for transparent conductive films. ACS nano, 4(9), 5245-5252.

DESGASTE, DUREZA Y MICROESTRUCTURA DE UN MATERIAL COMPUESTO PARA USO EN HERRAMIENTAS AGRÍCOLAS

Carolina García Díaz[1,4], Elena Brandaleze[1], Sonia P. Brühl[2]; Aníbal Carmona[2]; Justina Maskavizan[2], José L. García[3], Edgardo R. Benavidez[1]

[1]Dpto. Metalurgia & Centro DEYTEMA, Facultad Regional San Nicolás, Universidad Tecnológica Nacional, Colón 332, B2900LWH, San Nicolás, Argentina
[2]Grupo de Ingeniería de Superficies (GIS), Facultad Regional Concepción del Uruguay, Universidad Tecnológica Nacional, Ing. Pereira 676 E3264BTD Concepción del Uruguay, Argentina
[3]AB Sandvik Coromant R&D, Lerkrogsvägen 19, SE-126 80 Stockholm, Sweden
[4]Becaria Doctoral CONICET

cgarciadiaz@frsn.utn.edu.ar

Resumen

La determinación del desgaste abrasivo constituye una propiedad fundamental para conocer el comportamiento en servicio de las herramientas de uso en la maquinaria agrícola. En el presente estudio se analiza el desgaste y la dureza de un recubrimiento de matriz metálica reforzada. El material de partida es un polvo cuya matriz metálica es mayoritariamente hierro y como fase reforzante se utilizó carburo de tungsteno cementado. Estos polvos, tras 1 hora de molienda, fueron depositados sobre un sustrato de acero SAE 15B30 y consolidado mediante calentamiento inductivo seguido de temple en agua. Posteriormente, se realizó un tratamiento mecánico superficial de granallado con el objetivo de evaluar su influencia sobre el desgaste y la dureza del recubrimiento. El análisis microestructural se llevó a cabo mediante microscopía óptica y electrónica de barrido (con EDS). Las determinaciones de desgaste se realizaron bajo norma ASTM G-65 con una carga de 65 N durante 20 min, utilizando arena silícea AFS 70 como material abrasivo. La caracterización se completa con mediciones de microdureza ($HV_{0.3}$) y dureza Vickers (HV_{30}) en el recubrimiento antes y después del tratamiento de granallado.
Las observaciones indican que la capa depositada presenta un espesor promedio de 490 µm. Una pérdida de masa de (34,2±3,7) mg es registrada en la muestra granallada contra (42,0±6,6) mg en la capa sin granallar, indicando una mejora (estimada en un 20 %) en la resistencia al desgaste en la capa sometida al tratamiento mecánico. Esta mejora registrada en la capa tratada superficialmente es acompañada por un incremento de la dureza: de 530 a 600 kgf/mm^2 (mejora del 13%), y de la microdureza de las fases constituyentes: matriz (incremento del 8%) y refuerzo (incremento del 16%). Los valores determinados de dureza y desgaste resultaron comparables a recubrimientos comerciales depositados bajo las mismas condiciones.

Palabras Clave: Recubrimiento, Compuesto de matriz metálica, Carburos metálicos, Dureza, Desgaste

Introducción

Una fracción significativa del Producto Bruto Interno (PBI) de un país se consume anualmente debido a las pérdidas originadas por la fricción y el reemplazo de piezas de maquinaria que sufren desgaste en servicio. La norma ASTM G40, *Standard Terminology Relating to Wear and Erosion*, define la tribología como "la ciencia que estudia los fenómenos relacionados con la interacción de superficies, incluyendo la fricción, el desgaste y la lubricación". En un sistema tribológico, no solo se analizan las superficies en contacto, sino también el entorno mecánico, físico, químico, térmico, etc., conocido como tribosistema, el cual tiene una gran influencia en el comportamiento del material. La degradación superficial ocasiona el 70 % de las salidas de servicio, entre las cuales el desgaste es la mayor causa de pérdida de material, así como de disminución de propiedades mecánicas y eficiencia. El efecto de la abrasión es particularmente evidente en áreas industriales como la agricultura (rejas de arado, abresurcos, cinceles), la minería (trituración, molienda y transporte de minerales), en la construcción (movimiento de tierra) y, esencialmente, en cualquier lugar donde

sean manipulados polvo, tierra, roca y minerales. En este sentido, los recubrimientos de compuestos de matriz metálica reforzada (CMMR) han surgido como una solución efectiva para enfrentar los desafíos de desgaste y corrosión en estas aplicaciones industriales, donde el desgaste es la principal razón por la cual necesitan ser reemplazadas (Parvinkal et al., 2015).

Las aleaciones de base Fe son ampliamente utilizadas como recubrimientos debido a su disponibilidad, bajo costo y propiedades excepcionales, que incluyen elementos aleantes como B, Si, Cr, Ni, Mn, V y C que proporcionan un equilibrio único de propiedades mecánicas (Umanskyi et al., 2017). La presencia de partículas duras en estas aleaciones puede mejorar significativamente el rendimiento de las herramientas, ya sea a través de la formación in-situ de carburos o boruros de cromo, o mediante la adición de partículas duras a la mezcla, como los carburos metálicos (WC, NbC, TiC, SiC, VC) o cementados (WC-Co, WC-Ni, WC-Co-Ni) (Mendez et al. 2013). Cuando se incorporan partículas duras en las aleaciones de matriz metálica, se clasifica al material como "compuesto de matriz metálica reforzada" (CMMR).

En el presente trabajo, se empleó una técnica distinta para depositar y consolidar los CMMR, en lugar de recurrir a las técnicas tradicionales como la proyección o rociado térmicos y el recargue o soldadura (Simunovic et al., 2014). En este caso, se optó por una técnica de bajo costo que implica la deposición a baja temperatura sobre un sustrato de acero al boro nacional, seguida de una sinterización rápida y posterior temple para lograr la consolidación de la capa. El enfoque utilizado en este estudio se basó en el diseño y la implementación de un CMMR de baja temperatura de solidus, con el objetivo de minimizar el impacto térmico en el sustrato metálico.

Además, resulta interesante reforzar a su vez la superficie de los recubrimientos, y el granallado (*shot peening*, en inglés) sobresale como una de las principales formas de lograr este refuerzo y así aumentar el rendimiento. Diversas investigaciones han demostrado que las tensiones causadas por los ciclos térmicos pueden ser aliviadas o incluso eliminadas mediante el granallado (Torres et al., 2002) (Chin et al., 2020) (Geng et al., 2020), y que existe un espesor específico de la capa de deformación plástica en la capa subsuperficial. La intensa deformación plástica resulta en la refinación del grano y una gran acumulación de dislocaciones, lo que a su vez reduce la velocidad de propagación de las grietas, mejora la dureza (Orozco-Caballero et al., 2021) y las propiedades mecánicas del compuesto de matriz metálica reforzada. De igual manera, la introducción de tensiones residuales de compresión en la superficie inferior del compuesto ayuda a reducir las tensiones de tracción, lo cual también tiene un efecto positivo en la resistencia del material (SAE International Information Report, 1967).

El objetivo este trabajo es comparar un material compuesto de matriz metálica antes y después de ser sometido a un proceso de granallado mecánico. El material compuesto fue depositado y consolidado mediante sinterización rápida y temple posterior en sustratos de acero 15B30. Algunas muestras fueron tratadas con granallado mecánico después de la consolidación, mientras que otras muestras no recibieron ningún tratamiento adicional. En una primera etapa, se llevó a cabo la caracterización del polvo del compuesto obtenido. Posteriormente, se realizaron análisis de las microestructuras resultantes después de la consolidación, se llevó a cabo un ensayo de desgaste abrasivo en una muestra patrón y en el recubrimiento antes y después del granallado, y finalmente se midió la dureza de las capas depositadas y la microdureza de las fases resultantes.

Materiales y métodos

Mediante el análisis de la literatura y las simulaciones termodinámicas llevadas a cabo con el software FactSage 8.1, se desarrolló el compuesto de matriz metálica con una composición del 65% en peso de matriz metálica de base hierro y un 35% en peso de refuerzo de WC-9Co.

Para la síntesis del compuesto, se pesaron las materias primas requeridas para obtener 20 g de polvo de partida, las cuales fueron molidas en un molino de bolas convencional a 60 rpm durante 1 hora. El proceso de molienda fue llevado a cabo en vía húmeda, agregando un 10% en peso de alcohol etílico (96% en volumen). Los polvos resultantes se secaron en una estufa a 100ºC durante

2 horas para eliminar el alcohol residual. Luego, se procedió a la caracterización de la distribución de tamaños de partículas de los polvos del producto final utilizando un equipo Malvern Mastersizer 2000, que emplea tecnología de difracción láser para analizar el tamaño de partículas en un rango desde 0,02 µm hasta 2000 µm.

Se procedió a la aplicación del compuesto en polvo a temperatura ambiente sobre un sustrato de acero SAE 15B30, seguido de su consolidación mediante sinterización rápida a alta temperatura y posterior temple en agua. La consolidación del recubrimiento se llevó a cabo utilizando un equipo de inducción de alta frecuencia de marca Termotrónica, a una frecuencia de 475 kHz durante un lapso de 45 segundos. Posteriormente, dos muestras fueron sometidas a un tratamiento mecánico de granallado durante 4 minutos, utilizando granallas esféricas de acero S460H (CyM Materiales S.A.) con una granulometría pasante tamiz N°10 y 96% retenido en tamiz N°18 (apertura de 1 mm) y dureza de 392-528 HV (40-51 HRC).

Para el análisis microestructural, se prepararon muestras cortando secciones longitudinales correspondientes al acero base y al recubrimiento. Estas muestras fueron desbastadas con papeles de SiC y pulidas con pasta de diamante de hasta 1 µm. Se empleó el reactivo metalográfico Keller durante 2 minutos para revelar la matriz metálica del recubrimiento y del acero base, mientras que para revelar los carburos cementados se utilizó el reactivo Murakami durante el mismo tiempo. La identificación de las fases presentes en el acero base y en el recubrimiento se realizó mediante observaciones en un microscopio óptico Olympus GX51 con el sistema de análisis de imagen TSview7, y por microscopía electrónica de barrido (MEB) utilizando un microscopio Sigma Zeiss equipado con una pistola de emisión de campo tipo Schottky y con detectores de electrones secundarios y retrodifundidos. Finalmente, se procedió a medir el espesor del recubrimiento utilizando el programa ImageJ.

La resistencia al desgaste abrasivo se midió realizando ensayos según norma ASTM G65 de arena seca y rueda de goma, en equipo de construcción propia del Grupo de Ingeniería de Superficies (GIS, FRCU), empleando como abrasivo arena silícea de granulometría AFS 70 y aplicando 65N de carga durante 20 min (distancia recorrida 6380 m). Se evaluó la resistencia a la abrasión mediante la pérdida de masa analizando los pesos antes y después de los ensayos en una balanza analítica de 0,1 mg de resolución.

Se llevaron a cabo mediciones de microdureza Vickers (HV0.3) en la sección transversal de las muestras pulidas, tanto en el acero base como en el recubrimiento, utilizando un microdurómetro Leco LM-300AT. Se realizaron un total de 35 mediciones, 5 en el acero base y 30 en el recubrimiento, con una carga de 0,3 kg y un tiempo de permanencia de la carga de 10 s. La dureza Vickers se midió en la superficie pulida con papel abrasivo N° 200 de las capas depositadas con un durómetro combinado Digimess DHT-07. Se realizaron 5 mediciones de dureza por cada muestra en el recubrimiento y 3 mediciones por cada muestra en el acero base, tanto granallada como sin granallar, con una carga de 30 kg (HV30) y un tiempo de permanencia de la carga de 10 s.

Resultados y discusiones

Distribución de tamaño de partícula

En la figura 1 se presenta la distribución de tamaño de partícula (DTP) del compuesto después del proceso de molienda de una hora. Toda la DTP está incluida en el rango entre 1 µm y 1.000 µm, con dos picos (modos) situados a 70 µm y 275 µm. Esta distribución bimodal se origina por las diferentes distribuciones de tamaños de partículas de las materias primas utilizadas en la fabricación del compuesto. A partir de los datos de la DTP, se pueden calcular los porcentajes acumulados de partículas (en volumen), donde los parámetros más importantes son D_{10}, D_{50} y D_{90}, los cuales representan el tamaño de partícula correspondiente al 10%, 50% y 90% de la distribución acumulada, respectivamente.

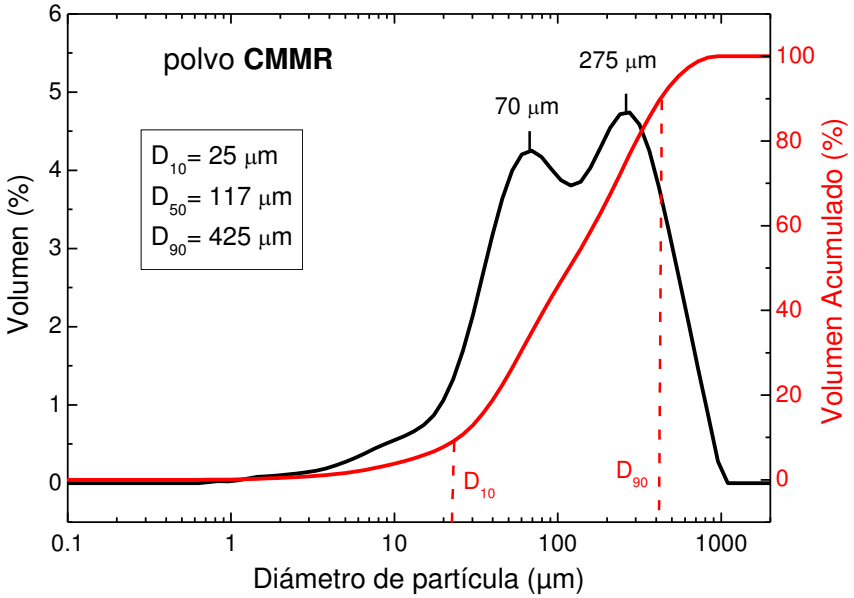


Fig. 1. Distribución del tamaño de partículas del compuesto de matriz metálica reforzada.

De acuerdo con estos parámetros, el tamaño medio de partícula (D_{50}) del polvo CMMR es de 117 µm, mientras que la mayor concentración (en volumen) del polvo (entre el 10% y el 90%) se encuentra en el rango comprendido entre 25 µm y 425 µm.

En la figura 2(a) se puede observar la distribución del tamaño de partícula del polvo de hierro, que constituye la base de la matriz metálica del CMMR. Este polvo presenta una distribución normal (pico en 70 µm) con un tamaño medio de partícula (D_{50}) de 59 µm En la figura 2(b) se muestra la distribución de tamaño de partícula del refuerzo de carburo cementado (carburo de tungsteno cementado con 9% en peso de cobalto), que también posee una distribución normal, con un modo en 185 µm y un tamaño medio de partícula de 170 µm. La DTP del polvo de Fe se encuentra entre 4 µm y 180 µm, mientras que la DTP del WC-9Co entre 25 µm y 1260 µm, dando cuenta de una granulometría más fina del polvo de Fe.

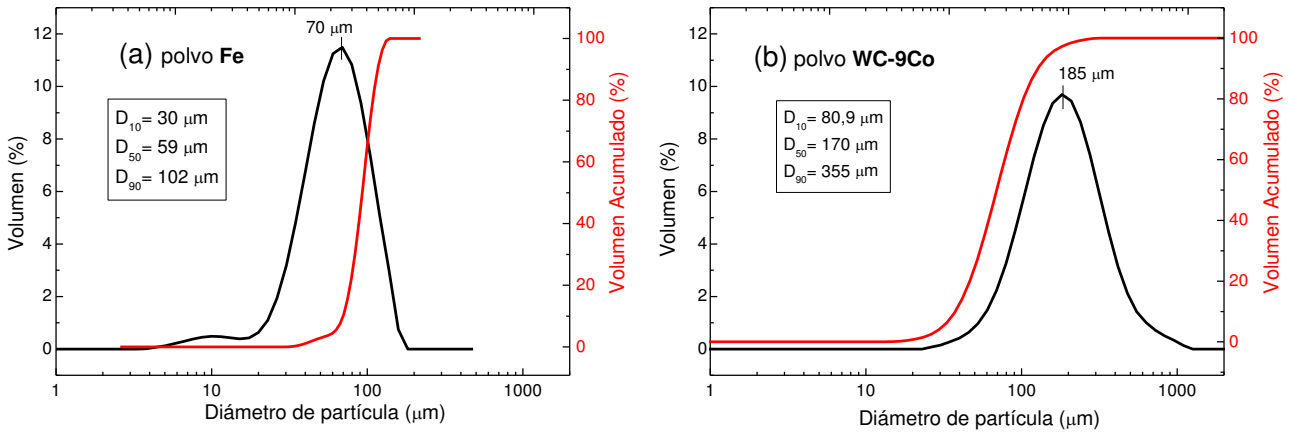


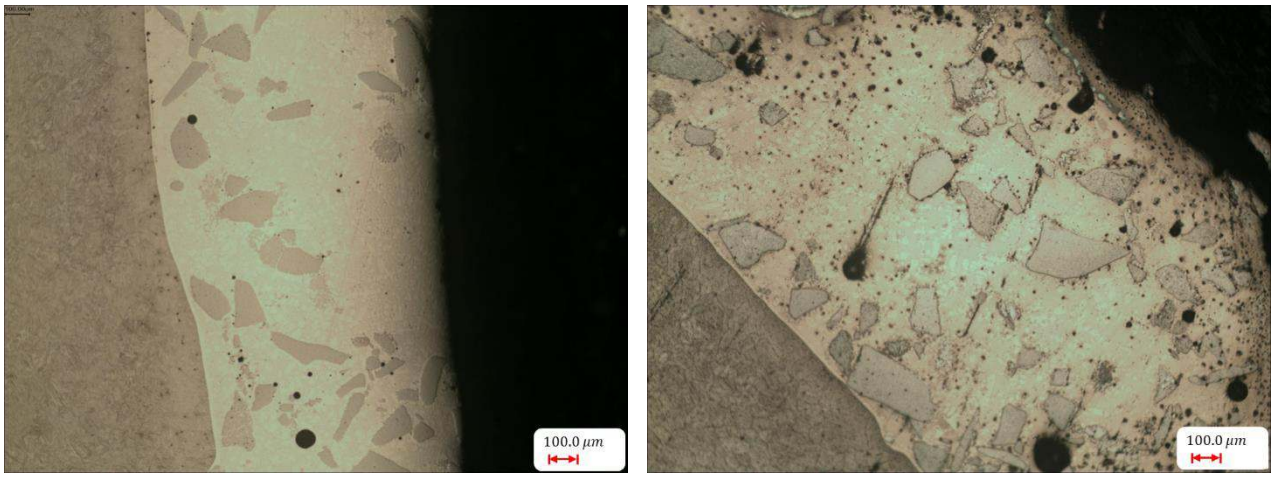
Fig. 2. Distribución granulométrica de polvos: (a) hierro (matriz) y (b) WC-9Co (refuerzo).

De acuerdo con estos datos, el primer modo (en 70 µm) de la distribución bimodal del polvo CMMR (fig. 1) puede ser atribuido, mayoritariamente, al polvo de Fe.

Microscopía óptica y electrónica

A lo largo de la probeta sin granallar se realizaron 68 mediciones del espesor del recubrimiento (figura 3(a)), mediante microscopía óptica y software de análisis ImageJ, de las cuales se obtuvo

un espesor promedio de 1823 µm, con un máximo de 2148 µm y un mínimo de 1440 µm. De acuerdo con estos datos, se puede informar una capa depositada de 1,80 mm (± 20%) de espesor.

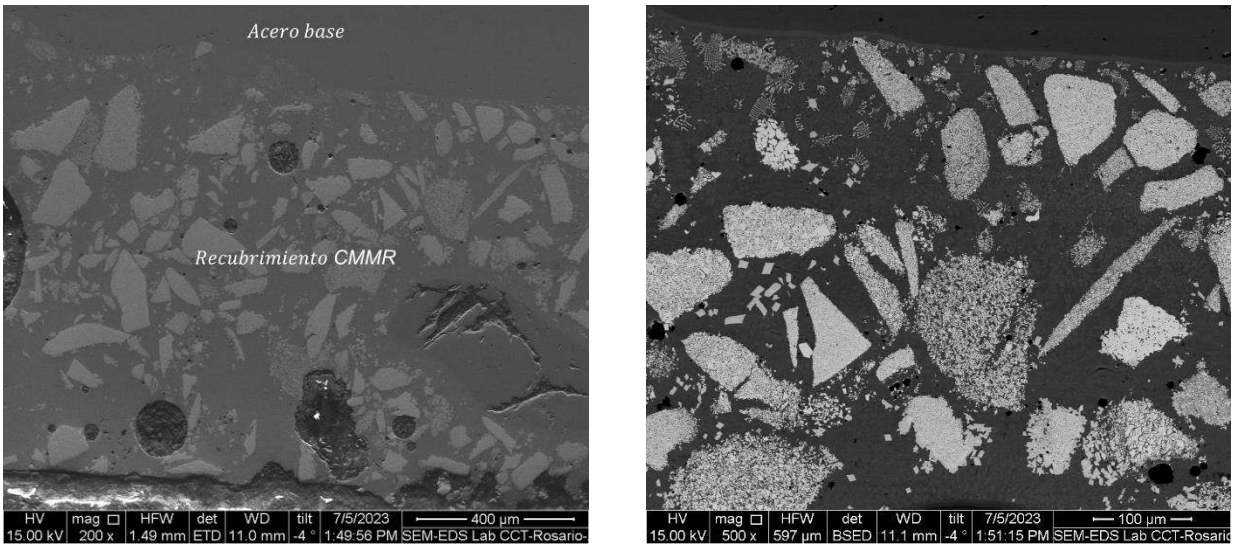


(a) (b)

Fig. 3. Microscopía óptica (a) del recubrimiento y acero base sin granallar a 100x y (b) recubrimiento y acero base granallado a 100x.

A través de microscopía óptica y electrónica de barrido (MO y MEB) se observa una excelente adhesión del recubrimiento al sustrato, y se constató que la microestructura del acero base está compuesta completamente por martensita (figura 3).

Se destaca que no se observaron cambios apreciables a nivel microestructural entre las muestras granalladas y sin granallar (fig. 4.a y 4.b, respectivamente). También se puede observar la presencia de poros, cuyo origen puede deberse a la volatilización, durante la consolidación del recubrimiento, de elementos que componen la matriz metálica.

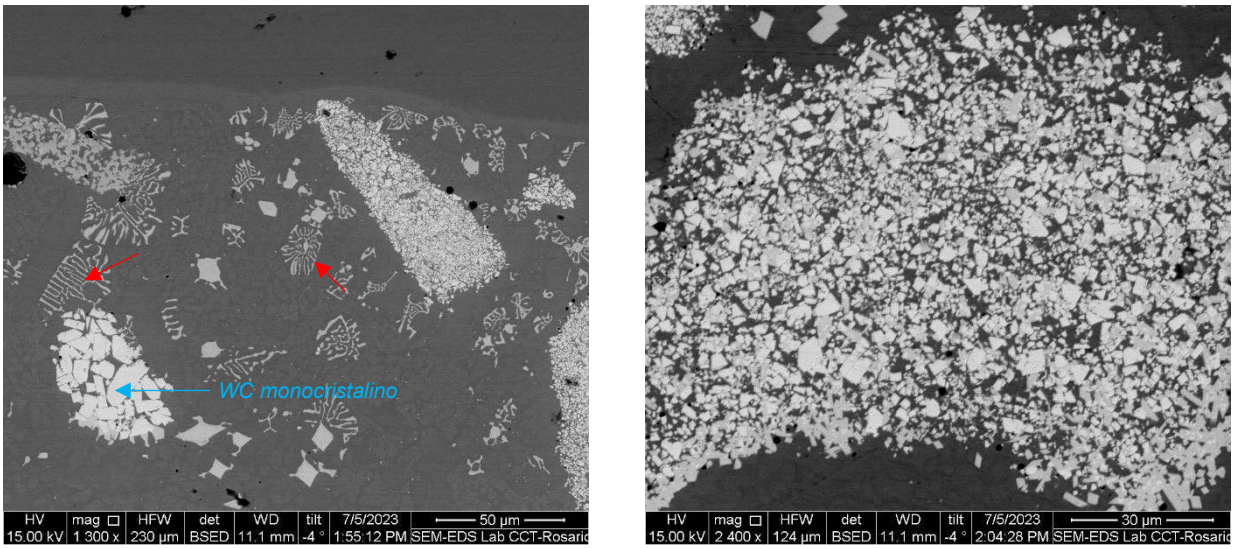


(a) (b)

Fig. 4. Microscopía electrónica del recubrimiento sin granallar (a) a 200x y (b) a 500x.

En cuanto al recubrimiento, se puede observar que consta de partículas de WC embebidas en una matriz dendrítica (figura 5(a)). La microestructura de la matriz está compuesta por dendritas de Fe-Ni-W primarias (mediante análisis de EDS) mientras que las regiones interdendríticas están compuestas por boruros, carburos y siliciuros. La dureza y la resistencia al desgaste de la matriz se mejoran significativamente con la presencia de las fases interdendríticas (Méndez, 2013).
En la figura 5(a) se destacan (flechas rojas) el eutéctico de WC/W_2C (carburo-subcarburo de tungsteno) y el WC monocristalino (flecha celeste). El carburo de tungsteno monocristalino es más

resistente a la disolución a alta temperatura que las variantes eutectoides, pero tiene una dureza general menor, típicamente 1200–2100 HV.
La presencia de un eutéctico de WC/W_2C y de W metálico en las dendritas de la matriz metálica sugieren que las partículas de refuerzo añadidas no resistieron el ciclo térmico durante el proceso de consolidación, es decir que, fueron en parte degradadas. El carburo de tungsteno es extremadamente sensible al calor, por lo tanto, debe procurarse que durante la consolidación del recubrimiento el calor aportado no sea excesivo y que el enfriamiento sea lo más rápido posible (Méndez, 2013). En el caso de la técnica de deposición elegida en el presente trabajo, se trabaja con temperaturas de alrededor de 1100°C para poder fundir la matriz metálica y se enfría rápidamente mediante temple en agua, esto quiere decir que se utilizan temperaturas elevadas para la estabilidad termodinámica del WC pero se tiene la ventaja de que el enfriamiento es rápido.



(a) (b)

Fig. 5. Microscopía electrónica del recubrimiento sin granallar (a) a 1300x y (b) a 2400x.

Desgaste

En la figura 6 se presentan los resultados de pérdida de masa en los ensayos de desgaste abrasivo. Se destaca que el recubrimiento CMMR sin granallar experimentó una pérdida de masa de 42 (± 7) mg, mientras que el recubrimiento tratado mecánicamente (TM) por granallado, mostró un mejor desempeño, con una pérdida de masa de 34 (± 4) mg. Ambos recubrimientos (sin granallar y granallado) evidenciaron una mejora significativa en comparación con el sustrato de acero 15B30 templado sin recubrir, que presentó una pérdida de masa de 69 (± 2) mg. El mecanismo de desgaste en este tipo de ensayo es el de abrasión por dos cuerpos (Ceccarelli, 2001). Esto se debe a que las partículas abrasivas (arena de sílice) quedan unidas o embebidas en la rueda de goma de clorobutilo (dureza 60 Shore A), sin la posibilidad de girar siendo arrastradas contra la superficie de la probeta y produciendo abrasión de dos cuerpos, según la interpretación dominante.

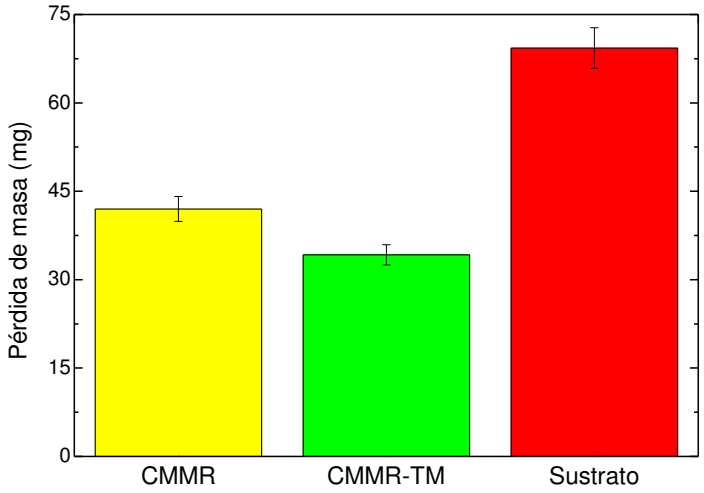


Fig. 6. Pérdida de masa en ensayos de desgaste abrasivo según norma ASTM G65.

Dureza y microdureza

En la figura 7 y tabla 1 se presentan las gráficas de los valores de microdureza (Fig.7) y dureza (Tabla 1) medidos sobre las capas y sustratos pre y postratamiento de granallado. El acero base 15B30 templado (durante la consolidación de la capa) sin granallar tiene una microdureza $HV_{0.3}$ promedio de 516 (± 25) kgf/mm^2, mientras que el acero 15B30 templado y granallado tiene una microdureza promedio de 587 (± 18) kgf/mm^2, lo que representa un aumento del 14% en la microdureza. Además, las mediciones de dureza HV_{30} del acero base sin granallar arrojaron un promedio de 502 (± 3) kgf/mm^2, en comparación con el promedio de 592 (± 1) kgf/mm^2 para el acero base granallado, lo que implica un incremento del 18% en la dureza.

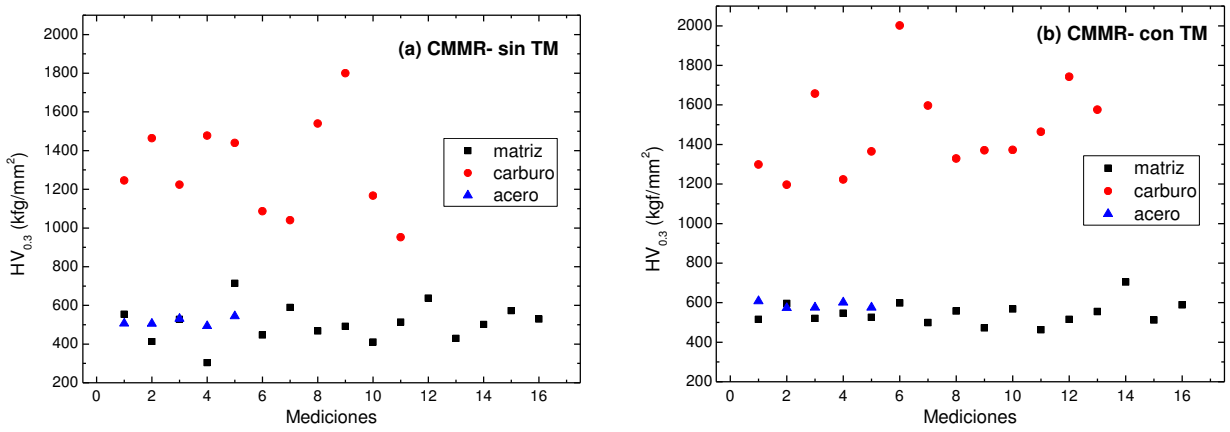


Fig. 7. Microdureza del recubrimiento y acero base (a) sin granallar y (b) granallado.

La matriz metálica del recubrimiento sin granallar presenta una microdureza $HV_{0.3}$ promedio de 520 (± 150) kgf/mm^2, mientras que la matriz metálica del recubrimiento granallado exhibe una microdureza promedio de 546 (± 120) kgf/mm^2, lo que indica un incremento del 5% en la microdureza. La variabilidad en los valores de microdureza se atribuye a la estructura dendrítica de la matriz. Por otro lado, las mediciones de microdureza de la fase carburo en el recubrimiento sin granallar arrojaron un promedio de 1312 (± 420) kgf/mm^2, en contraposición al promedio de microdureza de la fase carburo en el recubrimiento granallado de 1476 (± 400) kgf/mm^2, lo que supone un aumento del 12%.

Tabla 1. Valores de dureza del recubrimiento pre y postratamiento mecánico y del acero base.

Material	HV_{30} [kgf/mm^2]	
	sin granallar	granallado
A15B30T	502	592
	499	592
	505	592
CMMR	499	588
	579	586
	561	528
	618	699
	671	604

El promedio de dureza HV_{30} para el recubrimiento sin granallar es 585 (± 85) mientras que el promedio de dureza para el recubrimiento granallado es 601 (± 85) kgf/mm^2, reflejando una mejora solo del 3%. La gran discrepancia entre los valores de microdureza y dureza se justifica por la sensibilidad de la microdureza Vickers a las variaciones en el tamaño de grano y la microestructura del acero. Al enfocarse en áreas más específicas y reducidas del material, la microdureza puede identificar cambios locales en la dureza que no son perceptibles en las mediciones de dureza Vickers convencionales. Las zonas localmente duras (carburo de tungsteno) o blandas (dendritas primarias de la matriz metálica) pueden influir en las mediciones de microdureza, lo que puede resultar en valores superiores en comparación con las mediciones de dureza estándar.

Como se mencionó anteriormente, a pesar de no haberse observado cambios notables en la microestructura del recubrimiento en las muestras con y sin granallado, la diferencia significativa en los valores de microdureza indica una posible variación en el nivel de tensiones presentes en el material. Mediante la aplicación del granallado se eliminan tensiones residuales de tracción, uniformando una tensión de compresión en toda la superficie. Dicha deformación se extiende entre los 50 y 250 micrones de profundidad. El efecto obtenido luego del granallado constituye el aplastamiento de los granos metalográficos de la superficie del metal (SAE International Information Report, 1967). Con ello, los granos se ensanchan comprimiéndose entre sí y provocando la aparición de tensiones de compresión paralelas a la superficie. Estas tensiones de compresión anulan tensiones residuales inducidos en el proceso anterior de conformado del recubrimiento.

A pesar de que la dureza es un aspecto significativo al momento de analizar los recubrimientos para incrementar la vida útil de las herramientas agrícolas, es más relevante aún el comportamiento frente al desgaste abrasivo (Yazıcı, 2024).

Conclusiones

Se analizó el impacto de un tratamiento de granallado en un recubrimiento de compuesto de matriz metálica a base de hierro reforzado con carburos cementados. Se constató que la distribución de partículas del polvo obtenido después de la molienda es adecuada para la técnica de deposición y consolidación seleccionada. A través del análisis de microscopía óptica y electrónica de barrido, se observó que la matriz del revestimiento tiene una estructura dendrítica y que el refuerzo de carburo se encuentra parcialmente degradado debido al calor introducido durante el proceso de consolidación. Además, se identificó una buena unión intermetálica entre el acero base y el recubrimiento. El análisis de EDS confirmó la distribución de los elementos constituyentes en las diferentes fases del recubrimiento. No se observaron diferencias a nivel microestructural entre el recubrimiento granallado y sin granallar. En cuanto al comportamiento frente al desgaste, se comprobó una mejora del 20% en el rendimiento de la muestra granallada. Sin embargo, esta mejora no se refleja de manera tan marcada en las mediciones de dureza y microdureza del material.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo financiero de la Universidad Tecnológica Nacional en el marco del proyecto PID-UTN 8159TC y a Agustín Álvarez y José Codoni (Metaltécnica) por el uso del equipo de inducción de alta frecuencia y la granalladora.

Referencias

Parvinkal, S. M & Navjeet, K. B. (2015). Tribological aspects of agricultural equipment. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 2, 1704-1708.

Umanskyi, O. P., Pareiko, M. V., Storozhenko, M. S., & Krasovskyy, V. P. (2017). Wetting and interfacial behavior of Fe-based self-fluxing alloy–refractory compound systems. *Journal of superhard materials*, *39*(2), 99–105. https://doi.org/10.3103/s1063457617020046

Mendez, P. F., Barnes, N., Bell, K., Borle, S. D., Gajapathi, S. S., Guest, S. D., Izadi, H., Gol, A. K., & Wood, G. (2014). Welding processes for wear resistant overlays. *Journal of Manufacturing Processes*, *16*(1), 4–25. https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2013.06.011

Simunovic, K., Saric, T., & Simunovic, G. (2014). Different approaches to the investigation and testing of the Ni-based self-fluxing alloy coatings—A review. Part 1: General facts, wear and corrosion investigations. *Tribology Transactions*, *57*(6), 955–979. https://doi.org/10.1080/10402004.2014.927547

Torres, M. (2002). An evaluation of shot peening, residual stress and stress relaxation on the fatigue life of AISI 4340 steel. *International journal of fatigue*, *24*(8), 877–886. https://doi.org/10.1016/s0142-1123(01)00205-5

Chin, K. S., Idapalapati, S., & Ardi, D. T. (2020). Thermal stress relaxation in shot peened and laser peened nickel-based superalloy. *Journal of Materials Science & Technology*, *59*, 100–106. https://doi.org/10.1016/j.jmst.2020.03.059

Geng, Y., Dong, X., Wang, K., Mei, X., Tang, Z., & Duan, W. (2020). Evolutions of microstructure, phase, microhardness, and residual stress of multiple laser shock peened Ni-based single crystal superalloy after short-term thermal exposure. *Optics and Laser Technology*, *123*(105917), 105917. https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2019.105917

Orozco-Caballero, A., Jackson, T., & Da Fonseca, J. Q. (2021). High-resolution digital image correlation study of the strain localization during loading of a shot-peened RR1000 nickel-based superalloy. *Acta Materialia*, *220*, 117306. https://doi.org/10.1016/j.actamat.2021.117306

Surface Enhancement Committee. (2017). *Manual on Shot Peening*. SAE International.

Cecarelli, B. A., Dommarco, R. C., Martinez, R. A., & Martinez Gamba, M. R. (2004). Abrasion and impact properties of partially chilled ductile iron. *Wear*, *256*, 49–55.

(Yazıcı, 2024) Aysel Yazıcı, Wear on steel tillage tools: A review of material, soil and dynamic conditions, Soil and Tillage Research, Volume 242, 2024, 106161, ISSN 0167-1987, https://doi.org/10.1016/j.still.2024.106161.

Trabajos de Estudiantes de Grado

VERIFICACION DE CHASIS DE ACOPLADO TIPO CARRETON DE 4 EJES, CONSTRUIDO CON ACEROS MICROALEADOS

Matías A. Bermedo[1], Santiago Bianchi[1], Tobías Picca[1],
Carlos Tais[1], Marcelo Coatamagna[1], Marcos Marino[1]

[1]Departamento de Ingeniería Mecánica, UTN Facultad Regional Villa María, Avenida Universidad 450, Villa María, Córdoba, Argentina, tobiaspicca02@gmail.com

Resumen

En este trabajo se propone verificar un chasis de acoplado de 4 ejes, utilizado en el transporte de cargas por carreteras, cuya característica principal es la de poseer una superficie deprimida, lo que le confiere la capacidad de transportar cargas indivisibles y voluminosas como máquinas viales o agrícolas, las que se cargan al equipo, mediante el uso de rampas convenientemente ubicadas en la parte trasera del mismo.

El peso bruto total del equipo (PBT), que incluye el peso propio, más la carga útil es de 36 toneladas, debido a la configuración de ejes empleada (dos delanteros y dos traseros ambos en tándem), estando esto reglamentado en la Ley Nacional de Tránsito 24.449 y en el Decreto 32/2018.

La verificación del chasis principal se realizó utilizando aceros Avanzados de Alta Resistencia (AHSS). La característica principal de este tipo de materiales es la de ofrecer un alto valor en la resistencia a la fluencia con límites elásticos superiores a los 550 MPa y tensiones de rotura que sobrepasan los 700 MPa, valores muy superiores a los que tienen los aceros convencionales, lo cual permite disminuir las secciones resistentes y por ende el peso propio de la unidad, aumentando así la capacidad de carga neta a transportar.

Se realiza un análisis de esfuerzos y deformaciones en la estructura aplicando las condiciones de carga que permite la normativa actual, mediante la técnica del Método de Elementos Finitos con el objetivo de obtener una estructura confiable y resistente.

El análisis realizado demuestra que tanto el material seleccionado como el diseño propuesto para el chasis cumplen con los requisitos técnicos y normativos necesarios para su aplicación en un contexto real. Las simulaciones y pruebas han validado la viabilidad estructural y funcional del chasis, garantizando su capacidad para soportar las cargas previstas y operando de manera segura y eficiente. Estos resultados confirman que la implementación de este diseño es adecuada y aplicable, brindando una solución robusta y confiable para las necesidades específicas del proyecto.

Palabras Clave: Acoplado 4 ejes, Ley Nacional de Tránsito, Elementos finitos, Resistencia.

Introducción.

En la búsqueda continua por mejorar la eficiencia y desempeño de los acoplados tipo carretón, el desarrollo de nuevas tecnologías y materiales ha jugado un papel crucial. En este contexto, la utilización de aceros micro aleados de alta resistencia (Bouaziz, 2013), como el SSAB DOMEX 550MC, ha ganado relevancia debido a sus propiedades mecánicas superiores. Este tipo de acero, con un esfuerzo de fluencia de 550 MPa y un esfuerzo de rotura de 700 MPa (Frommeyer, 2006; Yan, 2003), ofrece una combinación ideal de resistencia y ductilidad, lo que lo convierte en una opción óptima para la construcción de chasis en acoplados de múltiples ejes.

El presente informe tiene como objetivo principal la verificación estructural de un chasis de acoplado tipo carretón de 4 ejes fabricado con SSAB DOMEX 550MC. Este análisis es fundamental para asegurar que el diseño cumpla con las exigencias normativas y operativas, garantizando al mismo tiempo la seguridad y durabilidad del equipo bajo condiciones de trabajo realistas.

Un aspecto crítico en el diseño de acoplados tipo carretón es la capacidad de carga, que está regulada por normativas específicas. Según la Ley Nacional de Tránsito N° 24.449 (Ministerio de Transporte, 1994), la capacidad de carga final del acoplado en cuestión está estipulada en 36 tn, distribuidas equitativamente entre los ejes del vehículo; 18 tn en el tándem delantero y 18 tn en el tándem trasero. Esta regulación se basa en la disposición de ejes, que influye directamente en la distribución de carga y el desempeño del acoplado. Cumplir con estas normativas no solo es esencial para la legalidad del transporte, sino que también garantiza una distribución adecuada de cargas para evitar sobrecargas y problemas operativos.

Una de las ventajas significativas de emplear aceros micro aleados como el SSAB DOMEX 550MC es la reducción de la tara del acoplado. Al disminuir el peso propio del chasis, se permite un aumento en la carga útil, optimizando el transporte de maquinaria vial, agrícola y otros bienes. Además, la reducción de peso contribuye a un menor desgaste de los neumáticos y un ahorro significativo de combustible cuando el vehículo se encuentra en vacío, lo que no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también tiene un impacto positivo en términos de sostenibilidad ambiental.

Este trabajo espera contribuir al avance en el diseño y fabricación de acoplados más eficientes y sostenibles, y al mismo tiempo, ofrecer una base sólida para la implementación de aceros micro aleados en aplicaciones de alta exigencia dentro del sector del transporte y la logística.

Metodología.

El empleo de aceros de alta resistencia (AHSS) en la fabricación de equipos de transporte de carga ha sido previamente analizado en investigaciones realizadas por los tutores a cargo de este trabajo (Marino, 2005). Dichos estudios evaluaron el comportamiento de estos materiales en acoplados tipo carretón de cuatro ejes, demostrando el considerable ahorro que su implementación puede generar.

En este trabajo, el análisis se enfoca en un acoplado tipo carretón configurado con un doble tándem: uno delantero y otro trasero. Específicamente, se ha optado por emplear acero DOMEX 550MC (SSAB DOMEX, 2005) en la estructura. El estudio se basa en un modelo de acoplado con una longitud total de 11,00 m, en el cual el tándem delantero se encuentra asociado al bogie y el trasero está ubicado a 7,60 m de este último. La conexión entre la unidad tractora y el acoplado se realiza mediante una lanza de tiro.

La capacidad de carga bruta del equipo es de 36 tn, considerando tanto la carga útil como el peso propio y los elementos constitutivos del acoplado.

El modelo propuesto, presentado en la Fig. 1, incluye las vigas principales, las teleras, los faldones laterales, delantero y trasero, así como el bogie para el tándem delantero. Las vigas principales se diseñaron con espesores de 10 mm para las alas superior e inferior, y de 5 mm para el alma. Por su parte, las teleras se fabricaron con chapa plegada de 6 mm de espesor.

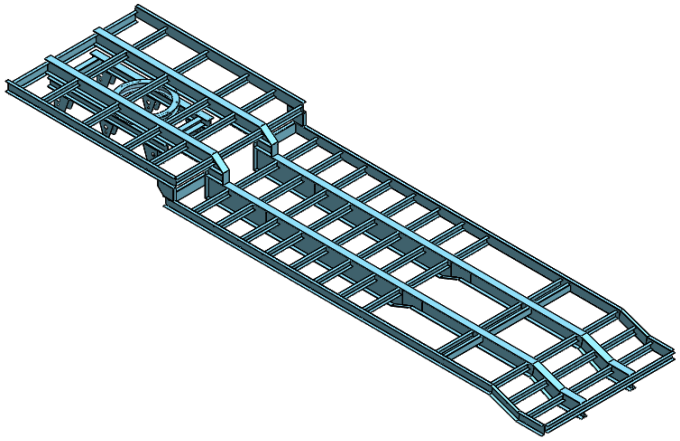


Fig. 1: Modelo acoplado de tipo carretón 4 ejes.

En la Fig. 2, se muestra la transferencia de carga a la estructura, la cual fue analizada considerando las fuerzas aplicadas sobre las vigas principales. Las fijaciones fueron aplicadas en el aro giratorio del bogie, y las manotas (delantera, central y trasera) del tándem trasero.

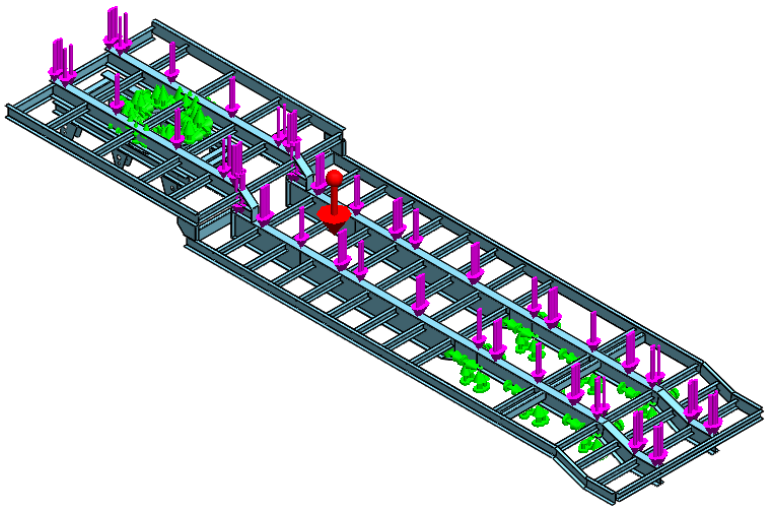


Fig. 2: Sujeciones y estado de cargas considerado.

La carga aplicada incluye una sobrecarga del 30% (Boresi, 1993), resultado de los efectos dinámicos, errores en la distribución de carga y situaciones de impacto derivadas del deterioro de las carreteras. También se ha considerado el peso propio de la estructura.

Las simulaciones numéricas se realizaron utilizando el software SolidWorks Simulation (Dassault Systems, 2010), basado en el Método de los Elementos Finitos (FEM). Los componentes estructurales fueron modelados con elementos sólidos de seis grados de libertad por nodo, generando una malla con elementos cuadriláteros de alto orden para representar la geometría de manera precisa. Aunque no se presenta en este documento por limitaciones de espacio, se ha llevado a cabo un análisis de convergencia que demuestra la precisión de los resultados obtenidos mediante esta discretización.

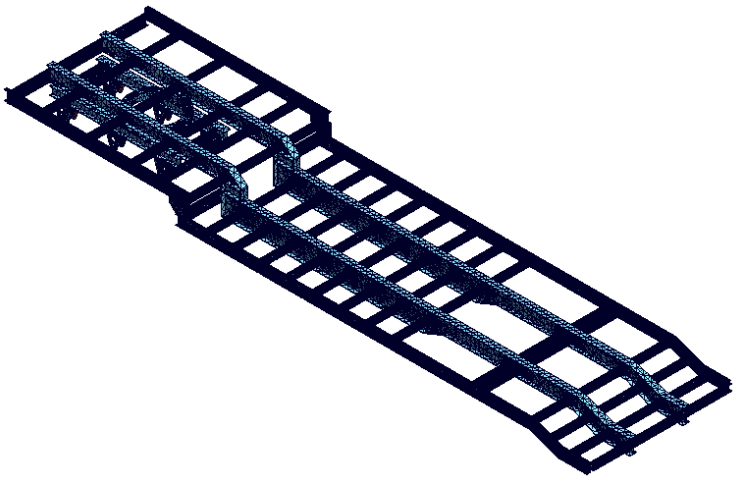


Fig. 3: Mallado con elementos cuadrados de alto orden.

Finalmente, se llevó a cabo el predimensionamiento de la estructura considerando un coeficiente de seguridad equivalente al que se utilizaría para un acero F36. Para las hipótesis de carga planteadas, se consideró que un coeficiente de seguridad aceptable debe ser, como mínimo, N=2 (Faires, 1994).

Modelo matemático

Para analizar el estado de tensiones se utiliza la Teoría de máxima energía de distorsión (Von-Mises) Ec. 1. (Boresi, 1993).

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\frac{(\sigma_1-\sigma_2)^2+(\sigma_2-\sigma_3)^2+(\sigma_1-\sigma_3)^2}{2}} \quad (1)$$

Dónde σ_1, σ_2 y σ_3 son las tensiones principales. Se muestran en la Tabla 1 las propiedades principales de los materiales mencionados en este estudio.

Tabla 1: Propiedades de los materiales.

Material	Densidad [kg/m³]	Módulo de elasticidad [kg/cm²]	Límite de fluencia [kg/cm²]	Tensión de rotura [kg/cm²]
DOMEX 550MC	7.800	2.100.000	5.500	6.000 - 7.600
F36	7.850	2.100.000	2.500	5.500

El coeficiente de seguridad se determina de acuerdo a Ec. 2

$$N = \frac{\sigma_{fl}}{\sigma_{eq}} \quad (2)$$

Dónde σ_{fl} es la tensión de fluencia del material y σ_{eq} es la tensión equivalente calculada con las tensiones principales mediante la Teoría de máxima energía de distorsión (Von-Mises).

Resultados.

Como puede observarse en la Fig. 4, los esfuerzos en el chasis son inferiores a 2.739 kg/cm². Lo cual muestra que la estructura cumple con los requisitos relacionados con las tensiones, considerando que el material utilizado tiene una tensión de fluencia de 5.608 kg/cm².

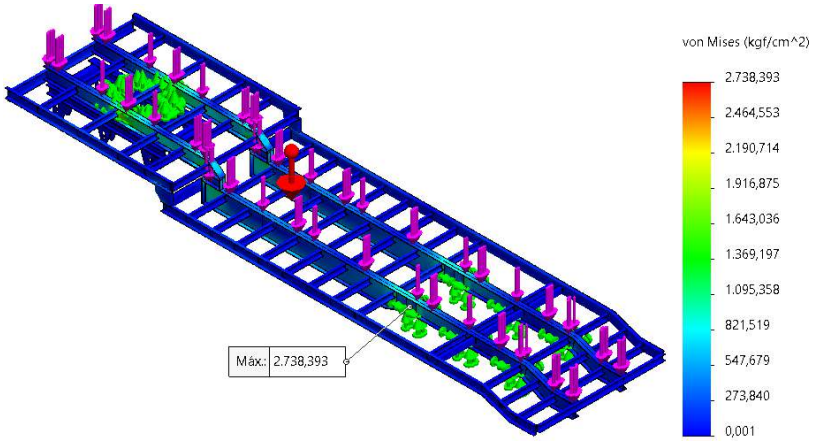


Fig. 4: Distribución de tensiones en la estructura.

En la Fig. 5, se muestran las deformaciones presentes en la estructura. Como puede apreciarse el valor máximo es 7,21 mm y se encuentra en la zona delantera de la plataforma. Esta deformación se considera aceptable para el acoplado de tipo carretón.

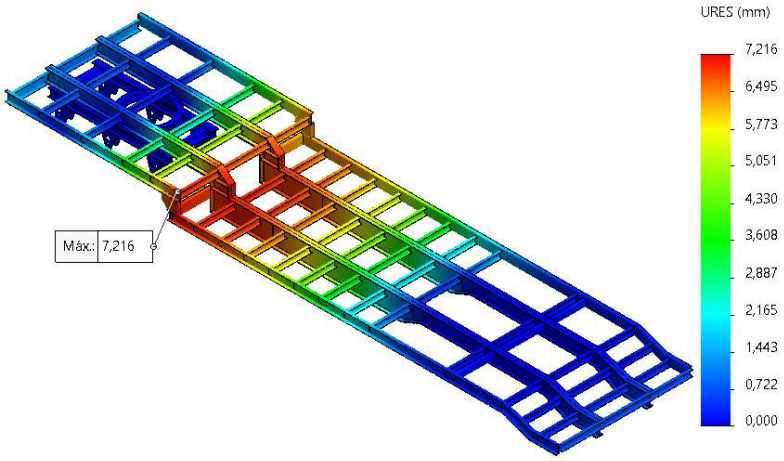


Fig. 5: Distribución de deformaciones en la estructura.

El requisito planteado era obtener un coeficiente de seguridad mayor o igual a 2 en el cual se muestra en la Fig. 6 los valores obtenidos. El mínimo valor obtenido es *N = 2,048.*

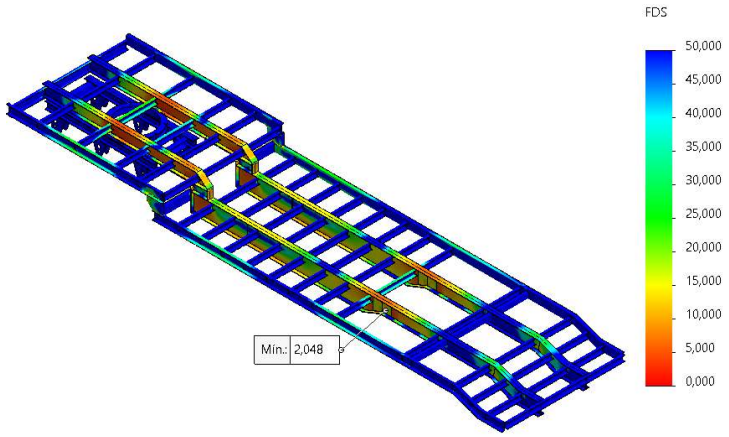


Fig. 6: Distribución del factor de seguridad.

Conclusiones.

Mediante el análisis efectuado en el presente trabajo se concluye que la estructura cumple satisfactoriamente con las condiciones requerida de tensión de trabajo y de deflexión.

Al emplear aceros de alta resistencia y mantener el mismo factor de seguridad que se utilizaría con acero F36, es posible reducir la sección transversal de la estructura. Esto se debe a que la mayor tensión de fluencia de los aceros AHSS permite incrementar la tensión admisible en el diseño. Como resultado, aunque se logre una reducción en el momento de inercia debido a la disminución de la sección, esto también implicará un aumento en la deformación comparado con el uso de aceros convencionales. Esto se compensa con la deformación previa de la estructura (contraflecha), procedimiento usual en la fabricación de este tipo de estructuras.

La estructura fabricada con acero AHSS posee un peso propio de 1.525 kg, mientras que la construida en acero convencional F36, tiene un peso de 2.031 kg. Se puede concluir que, si bien ambas estructuras cumplen satisfactoriamente las condiciones de carga impuestas, se logran reducciones superiores al 20% en el peso propio de la unidad utilizando aceros de alta resistencia. Esto se traduce de manera directa en un incremento de la carga útil a transportar con lo cual, se logra una importante reducción del costo de la tonelada a transportar.

Referencias

Boresi A. P., and Schmidt R. J., Advanced Mechanics of Materials. John Wiley and Sons, 5 Edición, 1993

Bouaziz, O., Zurob, H., and Huang, M., Driving force and logic of development of advanced high strength steels for automotive applications. Steel research international, 84(10), 937-947. 2013

Faires, V. M., Diseño de Elementos de Máquinas (4ta Edición), Montaner y Simon 1994

Frommeyer, G., and Brüx, U., Microstructures and Mechanical Properties of High-Strength Fe-Mn-Al-C Light-Weight TRIPLEX Steels. Steel Research International, 77(9-10), 627-633. 2006

Marino, M., Costamagna, M. and Tais, C. Estudio de aceros microaleados de alta resistencia para su empleo en semirremolques, Mecánica Computacional, XXX, págs. 91-97. 2011

Ministerio de Transporte, Ley Nacional de Tránsito 24449. 1994.

SSAB DOMEX. Catálogo DOMEX 550MC. Informe técnico, 2022

Yan, B., & Xu, K., High strain rate behavior of advanced high strength steels for automotive applications. Iron and Steelmaker, 30(6), 33-42. 2003

Dassault Systems. https://www.3ds.com, 2019

EVALUACIÓN DE LA AUTORREPARACIÓN EN MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA LA SOSTENIBILIDAD VIAL

Brenda I. Martinez[1], Adrián N. Segura[1], Bárbara B. Raggiotti[1], Franco E. Vázquez[1], Lautaro E. Ponce[1]

[1]Centro de Investigación, Desarrollo y Transferencia de Materiales y Calidad (CINTEMAC), Facultad Regional Córdoba, Universidad Tecnológica Nacional, Maestro M. López esq. Cruz Roja Argentina - Ciudad Universitaria (5016) Córdoba
brendaivannamartinez@gmail.com

Resumen

El envejecimiento de los ligantes asfálticos, las solicitaciones y escasos mantenimientos, provocan deterioro en los pavimentos flexibles. Estos, requieren de reparaciones que producen grandes cantidades de materiales como residuos. Sin embargo, en el campo de la construcción están surgiendo nuevas tecnológicas que podrían reducir dicha situación. En este sentido, se pueden utilizar materiales que proporcionen la posibilidad de autorreparación a partir de microondas en las mezclas asfálticas. Esta metodología no solo aspira a prolongar la vida útil de los pavimentos flexibles, sino también a reducir la utilización de recursos naturales, los residuos de la construcción y los costos asociados con sus reparaciones. En este trabajo, se han utilizado nuevos componentes que permiten mejorar dicha propiedad, como escoria de arco eléctrico y nanoplaquetas de grafeno. Además, considerando un mejor desempeño de la mezcla asfáltica y el desarrollo sustentable, se han valorado la respuesta de dichas mezclas, también al incorporar neumático fuera de uso (NFU). Esto a partir de una comparación relativa entre ellas, mediante la determinación de la tasa de autorreparación que es el cociente entre la tensión a tracción indirecta, entre la situación de la mezcla autorreparada y la inicial sin fisurar. Los resultados obtenidos han permitido valorar la capacidad de autorreparación las mezclas al incorporar estos materiales y determinar cuál de ellas presenta el mejor desempeño.

Palabras Clave: Autorreparación, Asfalto, Grafeno, Escoria

Introducción

La autorreparación es un proceso que permite restaurar capas asfálticas dañadas mediante la acción de compuestos presentes en ellas. Esto no solo reduce los daños, sino que también prolonga la vida útil del material. Además, minimiza el impacto ambiental asociado con los residuos generados por el mantenimiento y reparación de estas estructuras.

En el caso de los pavimentos asfálticos, las cargas cíclicas del tránsito y los factores ambientales, como las variaciones de temperatura extremas, contribuyen a la fatiga, reducción de la resistencia y deformaciones del material llevando a la aparición de fisuras, grietas y ahuellamientos (Chatti et al, 2004) (Mączka et al, 2022). Esto reduce la vida útil de dicha estructura y aumenta los costos de reparación. En este sentido, las investigaciones en la tecnología de autorreparación aportan una solución al respecto.

La presente investigación se enfoca en la evaluación de la capacidad de autorreparación de mezclas asfálticas fisuradas, mediante la aplicación de microondas. Esta técnica, incrementa la temperatura del ligante asfáltico presente en la mezcla, permitiendo que fluya y repare las grietas de forma parcial o total (Zhang et al, 2024). La eficiencia de la autorreparación puede depender de los componentes que pueden agregarse a una mezcla. Estos, influyen en el tiempo de exposición a las microondas, disminuyéndolo, permitiendo mejorar la capacidad de autorreparación de la fisura. Es por ello, que se propone evaluar mezclas con escoria de arco eléctrico (EAF) y otras elaboradas con asfaltos modificados con nanoplaquetas de grafeno (GLP) y polvo de neumático fuera de uso (NFU). La valoración de estas se ha realizado a través de medir la tasa de autorreparación en cada una de ellas. Esto mediante la determinación de la resistencia a tracción indirecta de probetas inicial sin fisurar y posterior a la autorreparación con microondas.

Materiales y métodos

Asfalto

En esta investigación, se empleó asfalto base clasificado por viscosidad como CA30, de acuerdo con la norma IRAM 6837 (2011). Este asfalto fue utilizado tanto en mezclas asfálticas convencionales como en mezclas modificadas con EAF y GLP. Adicionalmente, se utilizó asfalto base CA30 modificado con de NFU al 24 %, el cual también fue empleado en combinaciones con EAF y GLP.

Escoria de arco eléctrico

Este material es un subproducto de la industria metalúrgica obtenido a partir de la fundición de la chatarra reciclada, cuyos beneficios dentro de la mezcla asfáltica es brindar mejoras en el comportamiento reológico debido a la angulosidad y porosidad proporcionando una mejor adherencia con el ligante asfáltico.
La escoria utilizada como parte de los agregados finos, proviene de una empresa siderúrgica ubicada en la provincia de Jujuy. La misma, fue tratada previamente para su utilización en la mezcla asfáltica debido a su inestabilidad volumétrica generadas por la presencia de cal (Chesner et al, 2002), la cual se la puede visualizar en forma de manchas blancas que, al ser neutralizadas, la escoria adquiere un color más uniforme (Fig. 1).
La escoria fue tamizada, empleando solo aquellas partículas pasantes del tamiz N°4, sustituyendo en la mezcla asfáltica solo un 3 % de los agregados finos por este material.

Nanoplaquetas de grafeno

Es un nanomaterial inorgánico conformado por monocapas bidimensionales de carbono de un átomo de espesor dispuestos en una estructura similar a las de un panal, que exhibe propiedades mecánicas, térmicas y eléctricas. Esto, permite mejorar la estabilidad de la estructura coloidal del asfalto (Polo-Mendoza et al, 2023), (Brcic, 2016), (Wu et al, 2023).
En esta investigación, se utilizaron grafeno con una pureza del 99% en términos de contenido de carbono (Fig. 1), suministradas por una empresa en España. Existen diferentes tipos de grafeno que pueden influir en las propiedades reológicas de las mezclas asfálticas (Wu et al, 2019). Las características del material utilizado se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Características del grafeno 99%

Grafeno 99	
Carbono	98-99%
Oxígeno	1-2%
Mezcla de nitrógeno con otros elementos	1%
Densidad	0,40-0,60 g/m
Hidrofóbico	

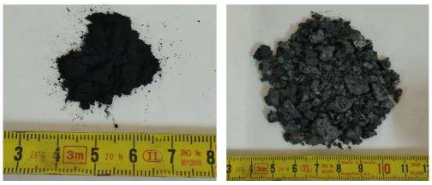


Figura 1. Grafeno (Izquierda), Escoria (derecha)

Incorporación de modificadores en el ligante asfáltico

Para la incorporación del grafeno en el asfalto, primero se acondicionó el asfalto base CA30 a una temperatura de 150 °C. Luego se añadió el grafeno mezclado manualmente con una varilla de vidrio, para ser colocado en el dispersor (Fig. 2), durante 45 minutos a una velocidad de 3000 RPM para

garantizar una correcta homogeneización. Este procedimiento de manera similar se empleó, para la preparación del asfalto base modificado con NFU y grafeno, en el cual la temperatura de dispersión fue de 165 °C, durante 45 minutos a una velocidad de 4500 RPM.

Figura 2. Dispersor

Preparación de las mezclas asfálticas

El pliego de especificaciones técnicas para concretos asfálticos en caliente de la Dirección Nacional de Vialidad (DNV 2017), establece los parámetros a evaluar para obtener las mezclas asfálticas.
En cuanto a la granulometría, se siguió las especificaciones de IRAM 1505 (2006). La curva granulométrica resultante de la combinación de agregados se comparó con los límites establecidos por DNV (2017). El trabajo se realizó con dos curvas granulométricas, una mezcla convencional y otra con incorporación de escoria al 3 %.
El contenido de ligante asfáltico adoptado fue de 5,3 % para mezclas con asfalto convencional y asfalto con grafeno, mientras que las mezclas con asfalto modificado con NFU, fue de 5,8%. Estos valores se obtuvieron mediante la metodología Marshall.

Determinación de la resistencia a tracción indirecta IRAM 6846-1

La evaluación del efecto de los modificadores del asfalto se realizó mediante el ensayo de Resistencia a la tracción indirecta IRAM 6846-1 (2022). Dicha determinación se realizó en 3 probetas, además, se ha buscado que todas las probetas presenten similares alturas. Este, se realizó acondicionando las probetas por un mínimo de 2 horas a 25 °C. Posteriormente, se aplicó una carga diametral hasta obtener la rotura de la probeta, (Fig.3), permitiendo de esta manera la determinación Rits.

Figura 3. Equipo de resistencia a tracción indirecta

Autorreparación mediante microondas

El microondas utilizado es convencional con una potencia de 900 W, aplicándose diferentes tiempos de acuerdo con el tipo de mezcla. Esto a los efectos de buscar que las probetas lleguen a temperaturas promedio de 120 °C en caras externas, mientras mayor capacidad de conducción

eléctrica tenga la mezcla, menor será el tiempo de exposición, partiendo de una temperatura de 25 °C (Tabla 2).
Una vez realizada la tracción indirecta en la situación sin fisurar, se coloca un elemento de contención lateral y confinamiento a las probetas antes de la aplicación de microondas. Esto se realiza para lograr un proceso de autorreparación con confinamiento lateral de la mezcla, simulando la condición de la capa asfáltica que presentaría en el pavimiento.
Las probetas, posterior a la autorreparación por microondas, se dejan reposar por 24 h a 25 °C para poder repetir nuevamente la prueba de resistencia a tracción indirecta y así obtener la tasa de autorreparación, que es la relación entre la resistencia a tracción indirecta final sobre la inicial.

Tabla 2. Mezclas asfálticas autorreparadas

Mezcla Asfáltica	Tasa de Autorreparación [%]	Tiempo de exposición [s]	Temp. [°C]
5,3% CA30	66	210	123
5,3% CA30 + 3%EAF	61	180	115
5,8%CA30 + 3%EAF + NFU 24%	61	180	115
5,3% CA30 + 3%GLP (99%)	79	195	120
5,8% NFU + GLP (99%)	83	195	120

Resultados y discusiones

Influencia de los asfaltos modificados

Los resultados obtenidos en los ensayos de viscosidad IRAM 6837 (2011), penetración IRAM 6576 (2004) y punto de ablandamiento IRAM 6841 (2011), muestran que las modificaciones aplicadas han mejorado significativamente las propiedades del material respecto al asfalto base CA30, como se observa en las Figuras 4, 5 y 6.

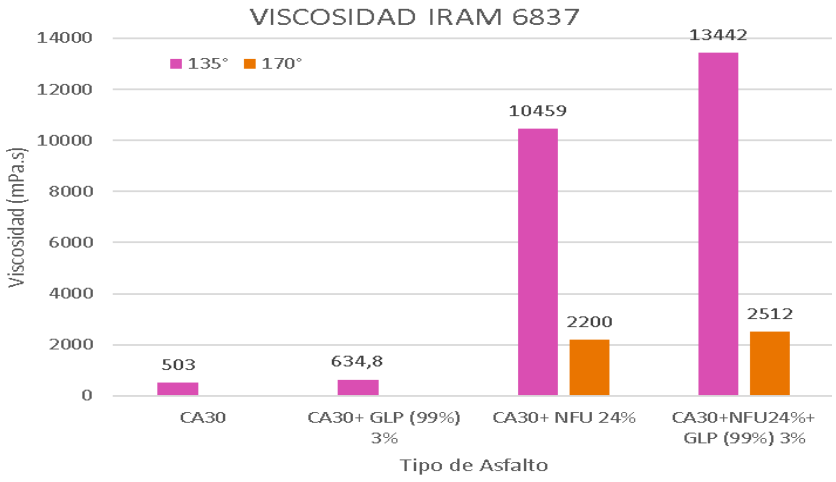


Figura 4. Resultados de viscosidad rotacional a 135 °C y 170 °C

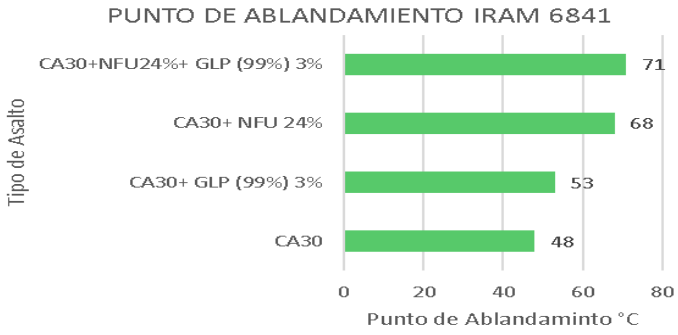


Figura 5. Resultados del punto de ablandamiento

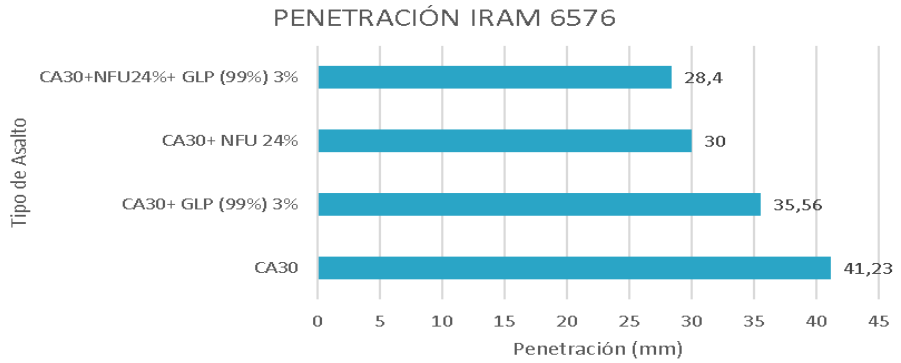


Figura 6. Resultados de penetración

En la Figura 6, se puede observar que la penetración disminuye progresivamente en cada tipo de asfalto modificado en comparación con el asfalto base. En particular, el asfalto modificado con CA30+GLP 3% muestra una reducción en la penetración del 13,75 % en comparación con el CA30. Asimismo, el asfalto CA30+NFU 24 % experimenta una disminución del 33,3 %, y finalmente, el asfalto modificado con CA30+NFU 24 %+GLP 3 % presenta la mayor reducción en la penetración.
En contraste, los resultados del punto de ablandamiento presentados en la Figura 5, muestran un incremento gradual de los valores. El CA30, con un punto de ablandamiento de 48 °C, presenta un aumento progresivo al ser modificado, alcanzando 53 °C en CA30+GLP 3 %, y valores aún mayores en las combinaciones con NFU 24 % y NFU 24 %+GLP 3 %.
Este mismo efecto se observa en la Figura 4, que analiza los valores de viscosidad a diferentes temperaturas, la cual se vio aumentada con la incorporación de NFU y GLP.
En cuanto a las mezclas asfálticas, se observó un incremento en el desempeño de las estabilidades, como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Caracterización de mezclas asfálticas

Dosificación	Marshall [g/cm³]	Vacíos [%]	Estabilidad [Kg]	Fluencia [mm]	VAM [%]	RBV [%]
5,3 % CA30	2,473	3,81	1024	2,71	16,92	77,48
5,3 % CA30 + 3%EAF	2,450	4,67	1494	3,90	17,66	73,55
5,8 %CA30 +3 %EAF + NFU 24 %	2,444	3,36	1703	2,60	17,53	80,86
5,3 % CA30 + 3%GLP (99 %)	2,559	5,08	1207	3,97	18,64	72.761
5,8 % NFU + GLP (99 %)	2,548	3,26	1323	3,78	18,04	81,92

Autorreparación

En la tasa de autorreparación en mezclas asfálticas se observa, una disminución de la misma en las mezclas con incorporación de EAF y con una disminución de tiempo de exposición a las microondas para llegar a la temperatura externa deseada. Las mezclas con incorporación de grafeno presentaron la mayor tasa y un menor tiempo de exposición, según lo presentado en la Tabla 2.

Conclusiones

Las determinaciones de penetración y punto de ablandamiento en los ligantes han evidenciado una modificación que al incorporar el grafeno en el asfalto base y en el que contenía NFU. En la viscosidad se observó que la combinación de NFU y GLP muestran un aumento de la misma en comparación con el asfalto modificado únicamente con NFU.
Además, se ha observado la viabilidad de la autorreparación en mezclas asfálticas mediante la incorporación de EAF, GLP y NFU.
La capacidad de autorreparación de las mezclas asfálticas se encuentra directamente influenciada por el tiempo de exposición a microondas hasta lograr una adecuada temperatura. Esto, sugiere que se podría optar por prolongar el tiempo de exposición o bien por incorporar materiales conductores que faciliten el proceso de autorreparación.

Finalmente, las temperaturas alcanzadas durante la exposición a microondas se tomaron en las caras externas de las probetas. No obstante, en aquellas mezclas que contenían grafeno, se observó una temperatura interna superior, lo que indicaría un comportamiento térmico diferencial que podría ser explotado en investigaciones futuras.

Agradecimientos

Se agradece a la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, en especial al Centro de Investigación, Desarrollo y Transferencia de Materiales y Calidad (CINTEMAC), por el apoyo institucional brindado para la realización de esta investigación.
Esta investigación se realizó en el marco de la “Beca Estímulo a las Vocaciones Científicas” del Consejo Interuniversitario Nacional (CIN).

Referencias

Brcic, H. (2016). Investigation of the rheological properties of asphalt binder containing graphene nanoplatelets (Master's thesis, NTNU).
Chatti, K., Salama, H., & El Mohtar, C. (2004, March). Effect of heavy trucks with large axle groups on asphalt pavement damage. In Proc., 8th Int. Symp. on Heavy Vehicle Weights and Dimensions.
Chesner, W. H., Collins, R. J., MacKay, M. H., & Emery, J. (2002). User guidelines for waste and by-product materials in pavement construction (No. FHWA-RD-97-148, Guideline Manual, Rept No. 480017). Recycled Materials Resource Center.
IRAM 1505. (2006). Agregados. Análisis granulométrico. Instituto argentino de normalización y certificación. Argentina
IRAM 6576. (2004). Determinación de la penetración utilizando un penetrómetro de aguja. Instituto argentino de normalización y certificación. Argentina
IRAM 6837. (2011). Determinación de la viscosidad rotacional. Instituto argentino de normalización y certificación. Argentina
IRAM 6841. (2011). Determinación del punto de ablandamiento. Método del anillo y la esfera. Instituto argentino de normalización y certificación. Argentina
IRAM 6846-1. (2022). Mezclas asfálticas. Parte 1. Determinación de la resistencia a tracción indirecta de probetas y testigos de mezclas asfálticas. Instituto argentino de normalización y certificación. Argentina
Mączka, E., & Mackiewicz, P. (2022). Asphalt mixtures and flexible pavement construction degradation considering different environmental factors. Applied Sciences, 12(23), 12068.
Pliego de especificaciones técnicas generales para concretos asfálticos en caliente y semicaliente del tipo densos. (2017). Dirección Nacional de Vialidad (DNV). Argentina
Polo-Mendoza, R., Navarro-Donado, T., Ortega-Martinez, D., Turbay, E., Martinez-Arguelles, G., &
Wu, S., & Tahri, O. (2019). State-of-art carbon and graphene family nanomaterials for asphalt modification.Road Materials and Pavement Design, 22(4), 735–756. https://doi.org/10.1080/14680629.2019.1642946
Wu, Z., Huang, Y., Gui, L., Liang, L., Ying, J., Li, W., ... & Tian, Z. Q. (2023). 3D porous graphene nanosheets as efficient additives for high-performance styrene–butadiene–styrene/crumb rubber blend-modified asphalt. Materials & Design, 232, 112157.
Zhang, F., Sun, Y., Kong, L., Cannone Falchetto, A., Yuan, D., & Wang, W. (2024). Study on Multiple Effects of Self-Healing Properties and Thermal Characteristics of Asphalt Pavement. Buildings, 14(5), 1313

CARACTERIZACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA CORROSIÓN DE ACERO INOXIDABLE AISI 316L SOMETIDO A ENSAYO EN CÁMARA DE NIEBLA SALINA: UN ESTUDIO EXPERIMENTAL

Agustina S. Valles[1], Graciela A. Mansilla[1], Mariano N. Inés[1]

[1]Línea de Metalurgia Física, Departamento Ingeniería Metalúrgica/DEYTEMA, Facultad Regional San Nicolás, Universidad Tecnológica Nacional, San Nicolás de los Arroyos (2900), agustinavalles@frsn.utn.edu.ar

Resumen

Este estudio enfatiza la necesidad de comprender cómo el tratamiento térmico y la tensión aplicada afectan el comportamiento corrosivo en un acero inoxidable AISI 316L, lo que resulta fundamental para desarrollar estrategias que prevengan y/o reduzcan la corrosión en entornos industriales, aún en estas aleaciones especialmente diseñadas para resistir la corrosión.

Se realizó tratamiento térmico en probetas de AISI 316L, a una temperatura de 900°C, durante dos horas y enfriamiento posterior en aire. Luego, las muestras así tratadas, junto con otras en condición *as-received*, se colocaron en Cámara de Niebla Salina. Todas las muestras se sometieron a flexo-compresión o pandeo (con tensión determinada por molde), y expuestas a niebla salina durante periodos de tiempo específicos, variando entre 50 y 96 horas. También se introdujeron en la cámara muestras testigos (sin flexión). La corrosión se evaluó mediante ensayos en una cámara de niebla salina, donde se utilizó un spray con 5% NaCl para recrear un ambiente corrosivo. La temperatura dentro de la cámara se fijó en 35°C, mientras que la temperatura del aire saturado se registró en 47°C. Se buscó comprender la relación existente entre el tratamiento térmico, la tensión aplicada y el comportamiento durante el ensayo de corrosión de muestras de AISI 316L.

Aspectos superficiales de las muestras se evaluaron con lupa estereoscópica, mientras que la microestructura interna del material y las eventuales grietas típicas de corrosión bajo tensión se analizaron con microscopía óptica. Los resultados revelan que, a mayor tiempo de exposición a la atmósfera salina y con una tensión mecánica, mayor es la cantidad de óxidos formados en superficie de las muestras.

Palabras Clave: Acero AISI 316L, Corrosión bajo tensión, Tratamiento térmico, Cámara de niebla salina, Iones cloruros.

Introducción

Los aceros inoxidables austeníticos, como el AISI 316L, presentan excelente resistencia a la corrosión, pero ésta puede comprometerse además por exposiciones térmicas inadecuadas (entre 550°C y 900°C) que generan la precipitación de partículas de carburos de cromo (principalmente $M_{23}C_6$) en bordes de grano austeníticos, creando zonas empobrecidas en cromo en la microestructura del acero inoxidable [3]. Esto dificulta la regeneración de la capa de óxido de cromo protectora, dejando al material en un estado tal que, bajo condiciones de trabajo no ideales (exposiciones continuas a altas temperaturas, ciertas atmósferas y tensiones mecánicas) los bordes de grano se pueden disolver, activando mecanismos de corrosión, preferentemente del tipo localizados [2]. De esta manera, el material puede llegar a corroerse a velocidades cercanas a las del acero al carbono y el hierro puro [4], lo que puede dar lugar a fallas prematuras de los componentes [1].

El agrietamiento por corrosión bajo tensión (CBT) es la formación y el crecimiento de grietas a través de materiales sujetos a tensión de tracción y un medio corrosivo específico; este puede provocar una falla repentina inesperada de metales normalmente dúctiles. Las combinaciones metal-

ambiente susceptibles de agrietarse son específicas. Es decir, que no todos los entornos causan CBT en todas las aleaciones, además los entornos que provocan este tipo de falla tienen poco efecto de corrosión sobre la aleación en condiciones normales. Aunque se sabe que los aceros inoxidables tienen una buena resistencia a la corrosión, porque forman una película superficial pasivante delgada rica en cromo, son susceptibles a ataques de corrosión localizados como picaduras, corrosión intergranular y agrietamiento por corrosión bajo tensión especialmente cuando se sensibiliza la estructura mediante determinados tratamientos térmicos [10]. En este fenómeno, las tensiones aplicadas generan concentraciones locales de esfuerzo que, en presencia de cloruros, pueden iniciar microgrietas que se expanden con el tiempo, comprometiendo la integridad estructural del material y eventualmente llevando a su fractura.

Este estudio se enfoca en investigar cómo el tratamiento térmico y la aplicación de tensión mecánica interactúan para influir en el comportamiento corrosivo del acero inoxidable AISI 316L en ambientes de niebla salina. Los resultados obtenidos proporcionan una base científica sólida para mejorar el diseño y la selección de materiales que deben resistir condiciones corrosivas extremas.

Materiales y métodos

Se trabajó con un acero inoxidable austenítico AISI 316L, de procedencia finlandesa, cuya composición química otorgada por el fabricante se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición química del acero inoxidable AISI 316L.

Elemento	Fe	C	Si	Cr	Mn	Ni	Mo	P	S	N
% Masa	Bal.	0,032	0,65	17,2	1,50	10,7	2,57	0,032	0,010	0,044

Inicialmente, sobre el material en condición *as-received* se aplicó tratamiento térmico según la siguiente secuencia: calentamiento a 900°C, durante 2 horas y enfriamiento en aire. El propósito fue lograr una distribución homogénea de carburos de distintas composiciones. Para aplicar una tensión constante a las probetas, tanto las muestras en condición *as-received* como con tratamiento térmico, se empleó un dispositivo similar al presentado por [11], Fig. 1. La tensión mecánica (por flexo-compresión) es regulada por el ajuste del tornillo, el diseño de estos dispositivos permite colocar más de una probeta entre las mordazas, optimizando de esta manera el espacio en el interior de la cámara. La tensión se mantuvo constante en 100 MPa según los parámetros predefinidos para asegurar uniformidad entre las muestras. El radio de curvatura de las probetas dentro de los dispositivos fue para todas de 100 mm para asegurar uniformidad entre las muestras. Posteriormente, tanto las muestras tensionadas como aquellas en estado plano (sin tensiones actuantes), se colocaron en una Cámara de Niebla Salina, con tiempos variables de exposición al spray salino (solución de NaCl al 5%), esto es, 50h y 96h. Las muestras se identificaron como AR (*as-received*), TT (tratamiento térmico), y la presencia de tensiones se marcó con una X seguida de la condición, es decir, ARX o TTX.

Una vez finalizados los ensayos de corrosión, considerando los tiempos definidos previamente, se registró el estado superficial de los óxidos desarrollados en las muestras con lupa estereoscópica (*Olympus SZ61*). Se registró en cada extracción el peso de las probetas para evaluar la pérdida de masa siguiendo el procedimiento explicado por los autores en [5], y poder así calcular la velocidad de corrosión que presentó el material para las condiciones experimentales aquí indicadas.

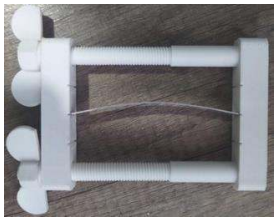


Fig. 1. Probeta en el interior del dispositivo para realizar CBT en cámara de niebla salina.

Luego, se prepararon las probetas para hacer estudios metalográficos con microscopio óptico (*Olympus GX51*), con el objetivo de poder determinar aspectos inherentes al avance de la corrosión en el material. Tanto en las macrografías como las micrografías de las muestras se trabajó con software *ImageJ*® para cuantificar la extensión de los óxidos formados en la superficie de las muestras, y para determinar el grado de avance (profundidad) de la corrosión dentro del material. Finalmente, se aplicó microscopía electrónica de barrido con análisis puntual EDS (SEM-EDS) para la observación de detalles microestructurales relacionados con la corrosión y hacer estudios de composición. El análisis microestructural de las partículas precipitadas luego de los tratamientos térmicos se completó con la identificación de las fases cristalinas, aplicando la técnica de Difracción de Rayos X (DRX).

Resultados y discusiones

De la caracterización del material *as-received* (AR) se determinó presencia de partículas de carburos de cromo ($Cr_{23}C_6$ – por DRX) en bordes de grano y también, dentro de los granos de austenita, Fig. 2a. Sin embargo, en las muestras tratadas térmicamente (TT) se obtuvo una mayor cantidad (+1.35%) y variedad de partículas precipitadas ($Cr_{23}C_6$ – $(Cr,Mo)_2(C,N)$ – Mn_3N_2) que se ubicaron mayormente en los bordes de grano, Fig. 2b. El tamaño medio de estas partículas osciló en 1 μm - 4μm, para ambas condiciones de las muestras. No obstante, esta formación masiva de carburos deja un área empobrecida en cromo (EDS-SEM) en las cercanías a los bordes de grano que induce a una mayor probabilidad de que el acero sea atacado bajo ciertas condiciones de exposición.

a) b)

Fig. 2. Micrografías ópticas de acero inoxidable AISI 316L, condición: a) *as-received*, y b) con tratamiento térmico (900°C/2h/aire).

Luego de los ensayos de corrosión acelerada, se procedió con el cálculo de cantidad de óxidos generados. Se trabajó con las muestras AR y con TT, a las que se aplicó tensión por flexión, discriminándose para este análisis, los sectores sometidos a esfuerzos de tracción y compresión, y se consideraron también los resultados de la exposición de muestras sin la aplicación de tensión. Del análisis, se pudo determinar un aumento en la cantidad de óxidos formados en superficies de las muestras con TT frente a sus pares en condición AR, Fig.3, independientemente del tiempo de exposición al spray salino, y de la aplicación o no de tensión mecánica.

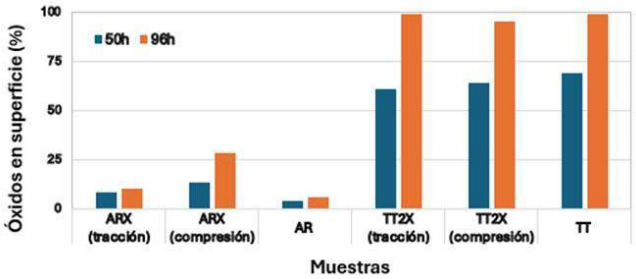
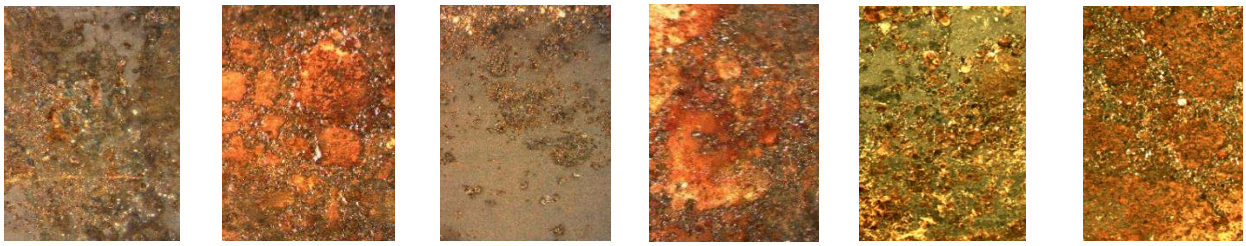


Fig. 3. Cuantificación de óxidos en superficie de muestras en función del tiempo de exposición al spray salino.

Respecto del tiempo de exposición al spray, se observa de la gráfica anterior que, al aumentar éste, también lo hace la cantidad de productos de la corrosión formados, siendo el aumento considerable

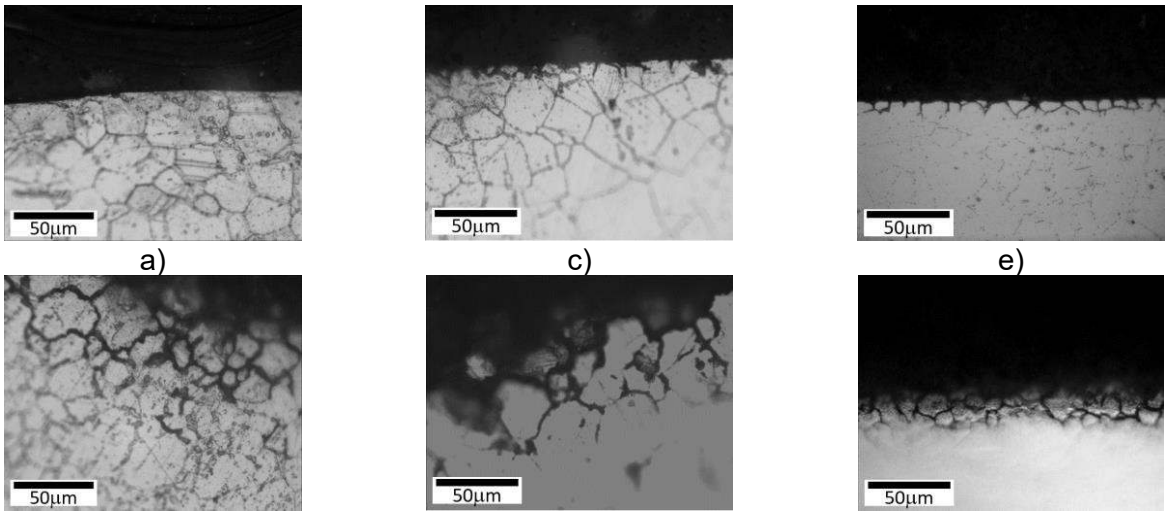
para aquellas que poseen tratamiento térmico. Del análisis se observa que no hay variación en la cantidad de óxidos al considerar sectores de las muestras sometidos a esfuerzos de tracción y de compresión, frente a su par sin tensión, es más, se obtienen prácticamente valores similares de superficie cubierta por óxidos por condición de muestra, Fig. 3. Complementando esta información con aquella obtenida del análisis con lupa estereoscópica, en las muestras AR prevaleció la formación muy aislada de óxidos superficiales, en cambio, en las muestras con TT (independientemente de la aplicación de tensión por flexo-compresión), se observó mayor extensión cubierta por óxidos de hierro, de aspecto anaranjado-rojizo, dando un aspecto superficial irregular y rugoso, Fig. 4. En dicha figura se observan solamente las macrografías de las superficies de muestras con tratamiento térmico, con y sin tensión por flexo-compresión impuesta. Para un tiempo de exposición de 50 horas, todas las muestras (con y sin tensión aplicada) desarrollaron zonas con presencia de óxidos sobre la superficie, Fig. 4(a-c-e). En contraste, los productos de corrosión bien desarrollados fueron más evidentes para las muestras que permanecieron 96h dentro de la cámara salina. La pátina rojiza observada en las muestras consistiría principalmente en óxido de hierro hidratado con mezclas de lepidocrocita (γ-FeOOH), hematita (α-Fe2O3), hidróxido ferroso (Fe(OH)2) y óxido ferroso hidratado (FeO.H2O), [6, 7, 8].



a) b) c) d) e) f)

Fig. 4. Aspecto superficial tras ensayos de corrosión acelerada durante 50 h (a-c-e) y 96 h (b-d-f) de exposición a niebla salina en muestras con tratamiento térmico previo, con y sin tensión aplicada. a-b) Zona muestra con esfuerzo de tracción, c-d) Zona muestra con esfuerzo de compresión, e-f) Muestras planas, sin tensión aplicada. Aumento [1x].

Ahora bien, para poder avanzar con el estudio en regiones internas de la microestructura del acero inoxidable, en la Fig. 5 se observan micrografías ópticas de las muestras que presentaron mayor avance de la corrosión a nivel interno, esto es, con TT (con y sin tensión).



a) c) e)

b) d) f)

Fig. 5. Avance de la degradación intergranular, según tiempo de exposición a la niebla salina, en muestras con y sin tensión. a) Muestra con esfuerzo de compresión - 50h, b) Muestra con esfuerzo de compresión - 96h, c) Muestra con esfuerzo de tracción - 50h, b) Muestra con esfuerzo de tracción - 96h, e) Muestra sin tensión - 50h, f) Muestra sin tensión - 96h.

De las mismas se aprecia una propagación de la corrosión intergranular en todas ellas, pero siendo más agresivo en las componentes de tracción y compresión, esto es, en las muestras tensionadas. También, se determinaron indicios de corrosión por picado, pero no sería este el mecanismo mayoritariamente imperante. En cambio, en la muestra sin aplicación de tensión, si bien también se observaron indicadores de corrosión intergranular, la misma tuvo un desarrollo menor. No obstante, sea en las muestras con tensión aplicada o sin esta, la corrosión intergranular avanzó siguiendo caminos o zonas con marcada presencia de carburos de cromo. Se destaca que la profundidad de penetración es claramente mayor en las muestras con tensión.

De acuerdo con cálculos realizados con software *ImageJ*® acerca de la extensión de la corrosión hacía el interior de las muestras, aquellas en condición AR presentaron desarrollos internos muy pequeños, independientemente si estaban tensionadas o no, alcanzando a las 96h de exposición a la niebla salina una profundidad de avance de la corrosión máxima de 7 micrones para AR (sin tensión) y de 9 micrones para ARX (con tensión). Sin embargo, en líneas generales, la propagación de la corrosión fue mayor en las muestras con TT (con y sin tensión) respecto de AR, en idénticas condiciones de trabajo. Haciendo una comparación entre la profundidad de avance para las muestras con TT y sometidas a tensión por flexo-compresión, se determinó que aquella que presentaba esfuerzo de tracción fue la que evidenció el mayor grado de propagación de la corrosión de manera intergranular, esto es, mostrando un avance de 232 micrones, frente a 17 micrones presentados por el sector de la muestra bajo componente de compresión. La literatura reporta que para juntas de acero NiCrMoV, la superficie de muestras con componentes de esfuerzos por tracción manifiesta mayor sensibilidad de la iniciación de grietas que en la superficie de compresión, y esto se relaciona con los enlaces metálicos debilitados y al aumento de la cantidad en vacancias causadas por la tensión de tracción, [9].

A modo de resumen, la acción conjunta de una matriz austenítica con contenido reducido en cromo debido a la mayor cantidad y variedad de partículas de carburos precipitadas en muestras TT, junto con una atmósfera agresiva, como lo es la niebla salina, producen en el material una caída marcada de la resistencia a la corrosión, evidenciada en este caso por la aparición de zonas con productos de la corrosión en bordes de grano (corrosión intergranular) en el material. Este comportamiento se maximiza si además se considera la imposición de un estado de tensiones a las muestras junto con la exposición a una atmósfera clorada.

Para finalizar, se calcula la tasa de corrosión para la totalidad de las muestras, a partir del procedimiento explicado en [5]. Los resultados se presentan en la Fig. 6, notándose comportamientos disímiles.

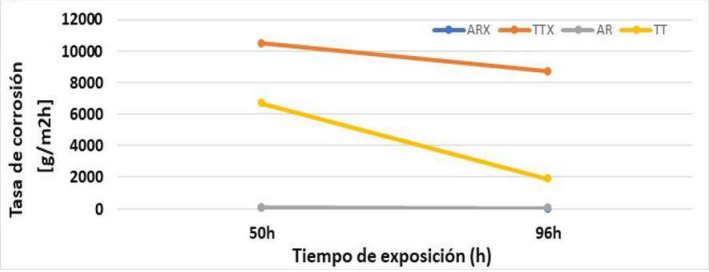


Fig. 6. Tasa de corrosión

Esto es, en cuanto a las muestras en estado AR (con y sin tensión) como era de esperar, la tasa de corrosión presentó valores muy pequeños, manteniéndose prácticamente constante durante el ensayo. Esto se condice, en principio, con el bajo grado de avance de la corrosión calculado y expresado en la Fig. 6. Por el contrario, las muestras tratadas térmicamente exhibieron una tasa de corrosión máxima con 50h de exposición, para luego disminuir hasta llegar a las 96h. Si se consideran solo las muestras con aplicación de tensión (TTX) durante el ensayo de corrosión, independientemente del tiempo de permanencia en la cámara de niebla salina, éstas presentaron una mayor velocidad de corrosión frente a sus pares sin la aplicación externa de tensión (TT). Esto

es debido a que la aplicación de tensión introduce energía interna adicional en el material, lo que hace que éste sea termodinámicamente más inestable (y anódico), facilitando las reacciones químicas con el ambiente corrosivo. Es decir, y avalando lo manifestado anteriormente, las muestras con tratamiento térmico y tensionadas, esto es TTX, mostraron un incremento de la velocidad de corrosión del 57% y 362% en comparación con aquellas sin tensión, para 50h y 96h de exposición. Estos valores dejan en evidencia que, la imposición de un estado de tensión al material en conjunto con una microestructura susceptible, es decir, con precipitación variada de partículas de carburos y carbonitruros, generan un estado de sensibilización microestructural tal, que al someter al material a un ambiente de exposición nocivo (spray de NaCl), éste se degrada siguiendo un camino preferencial por zonas de carburos (corrosión intergranular), acrecentando la extensión o profundidad de la corrosión hacia zonas internas del acero inoxidable.

Conclusiones

La implementación de un estado de tensiones por flexo-compresión en muestras de un acero inoxidable AISI 316L, con tratamiento térmico previo a los ensayos de corrosión, generó mayor avance y daño intergranular en comparación con sus pares sin tensión aplicada. Los resultados resaltan la importancia de considerar adecuadamente las condiciones de servicio (tratamientos térmicos y ambientes de trabajo) a las que serán sometidos estos materiales para evitar posibles fallas causadas por la corrosión.

Referencias

[1] A., Galván, J. C., & Bethencourt, M. (2018). The importance of steel chemistry and thermal history on the sensitization behavior in austenitic stainless steels: Experimental and modeling assessment. *Materials Characterization*, 135, 151-160. https://doi.org/10.1016/j.matchar.2017.11.030.
[2] Fargas, G., Anglada, M., & Mateo, A. (2009). Effect of the annealing temperature on the mechanical properties, formability and corrosion resistance of hot-rolled duplex stainless steel. *Journal of Materials Processing Technology*, 209(4), 1770-1782.
[3] Zhang, Z. L., Wang, H., & Chen, Y. (2019). Effects of 3-D grain boundary geometrical angles and the net normal stress on intergranular stress corrosion cracking initiation in a 316 stainless steel. *Materials Science and Engineering: A*, 765, 138307. https://doi.org/10.1016/j.msea.2019.138307.
[4] D. M., Materna-Morris, E., Plaut, R. L., & Padilha, A. F. (2009). Chi-phase precipitation in duplex stainless steel UNS S31803. *Materials Characterization*, 60(11), 1214-1219.
[5] M. J. Bertucelli, M. N. Inés, M. N. Delpupo, G. A. Mansilla: Corrosion study in SAE 1016 electro-galvanized steel. XI Corrosion Latinamerican Congress, Latincorr, Buenos Aires, Argentina: NACE International, 031, 2018, 23-25.
[6] Balasubramaniam, R., Kumar, A.V.R., and Dillman, P. (2005). Characterisation of ancient indian iron. Sci. Archaeol. Archaeomater. 85: 275–314.
[7] Saji, V.S. (2019). Progress in rust converters. Prog. Org. Coat. 127:88–99.
[8] Antunes, R.A., Costa, I., and de Faria, D.L.A. (2003). Characterization of corrosion products formed on steels in the first months of atmospheric exposure. Mater. Res. 6: 403–408.
[9] Mechanism Study of Stress Corrosion Behavior under Tensile and Compressive Stresses for Welded Joint Used in Nuclear Turbine Rotor. 2023; Tongjiao Chu. Journal Scanning (0161-0457).
[10] Solomon N., Solomon, I. (2010). Deformation induced martensite in AISI 316 stainless steel. Revista metalúrgica Madrid, 46 (2), marzo-abril, 121-128.
[11] Demassi, B. P., Mansilla G. A., Desarrollo de un ensayo de corrosión bajo tensión en cámara de niebla salina sobre aceros inoxidables (2022), 10º Congreso de Investigaciones y Desarrollos en Tecnología y Ciencia - IDETEC - ISBN 978-987-8992-02-0 - pp.583-588

OPTIMIZACIÓN DE LA ADSORCIÓN DE PLOMO SOBRE CÁSCARA DE ARROZ APLICANDO UN DISEÑO ESTADÍSTICO DE EXPERIMENTOS

Emiliano Centurión, Cristal Villarrubia, Melisa S. Romano, Valeria Corne, María C. García

Grupo de Investigación en Química y Ambiente. Facultad Regional Concepción del Uruguay, Universidad Tecnológica Nacional. Ingeniero Pereira 676, Concepción del Uruguay, Entre Ríos, Argentina.

romanom@frcu.utn.edu.ar

Resumen

La contaminación de los recursos hídricos con plomo es considerado un grave problema ambiental ya que es un metal altamente tóxico de naturaleza no biodegradable, persistente y acumulativo. Diversas tecnologías han sido desarrolladas para eliminar este contaminante en solución, destacándose la adsorción como una técnica atractiva por su simplicidad, eficacia y bajo costo. En este contexto, la cáscara de arroz, un residuo agrícola ampliamente disponible, se presenta como una opción prometedora para ser utilizada como adsorbente. En base a ello, el objetivo de este trabajo consistió en optimizar el proceso de adsorción de plomo empleando cáscara de arroz como adsorbente mediante un diseño estadístico de experimentos.

Se empleó un diseño factorial para identificar las variables significativas y su interacción, seguido de un diseño central compuesto para optimizar las condiciones experimentales. Los resultados mostraron que el pH y la dosis de adsorbente son los factores con mayor influencia en la remoción de plomo. El modelo de regresión obtenido, validado con un coeficiente de correlación de 0,9455, predijo de forma eficaz la eficiencia de remoción de plomo. Bajo condiciones óptimas, el modelo cuadrático predijo una remoción máxima del 96,24 %, mientras que el valor experimental obtenido fue de 96,07 %. Estos resultados permiten sugerir el uso de la cáscara de arroz como una alternativa eficiente para la remoción de plomo mediante el proceso de adsorción.

Palabras Claves: Remoción de plomo, Cáscara de arroz, Optimización, Diseño factorial, Diseño central compuesto

Introducción

En los últimos años, la industrialización ha experimentado un crecimiento acelerado provocando un incremento en la explotación de recursos naturales a un ritmo insostenible (Briffa, 2020). Esta situación ha generado una perturbación en el ambiente debido a la liberación de sustancias contaminantes, tanto de origen antropogénico como natural, que afectan los ecosistemas. Entre los contaminantes inorgánicos, los metales tóxicos se destacan por su persistencia en el medio ambiente y su resistencia a la biodegradación, acumulándose en los ecosistemas acuáticos y terrestres (Hama Aziz, 2023).

El plomo (Pb^{2+}), en particular, es un metal de gran relevancia debido a su uso extensivo en el sector automotriz y en la generación y almacenamiento de energía (Singh, 2020). La utilización intensiva de este metal conduce a altos niveles de contaminación del agua, con una subsecuente acumulación a lo largo de la cadena alimentaria. Este xenobiótico es considerado mutagénico y teratogénico, con efectos toxicológicos significativos sobre la médula ósea, el sistema nervioso, los riñones y el sistema inmunológico, especialmente en niños. Por consiguiente, en nuestro país existe una estricta regulación de sus niveles en el agua potable, con una concentración máxima de g/L según lo establece la Ley Nº 24.051 y el Decreto Reglamentario 831/1993.

Se han propuesto numerosas tecnologías de remediación para el tratamiento de aguas contaminadas con plomo (Saleh, 2022). Entre éstas, técnicas como el intercambio iónico, los procesos de oxidación avanzados, la precipitación química, procesos electroquímicos, adsorción,

ósmosis inversa, extracción con solventes y filtración por membrana han demostrado ser efectivas (Carolin,. 2017; Azimi, 2017; Sarode, 2019). De todas ellas, la adsorción se destaca por su versatilidad, bajo costo, alta eficiencia y facilidad de operación (Ngeno, 2022).

En los últimos años, se han desarrollado diversos materiales con capacidades y selectividades de adsorción sobresalientes. Los adsorbentes más sostenibles y respetuosos con el medio ambiente son aquellos derivados de materiales naturales abundantes y de bajo costo (Wang, 2022). Adicionalmente, el uso de desechos como adsorbentes para el tratamiento de aguas residuales se presenta como la principal tendencia en este campo (Ngeno, 2022). En este contexto, numerosos estudios han empleado residuos agrícolas e industriales como materiales adsorbentes para distintos contaminantes (Ngeno, 2022; Singh, 2018). En esta línea de investigación, la cáscara de arroz es un subproducto agrícola altamente disponible en la región de Entre Ríos que tiene gran potencial para ser empleado como sólido adsorbente de metales tóxicos en solución.

En este marco, el objetivo del presente estudio fue optimizar las condiciones del proceso de adsorción de plomo mediante el empleo de cáscara de arroz como adsorbente. Para ello, se implementó un diseño estadístico de experimentos (DEE) para identificar las variables que influyen significativamente en el proceso y su interrelación. Inicialmente, se utilizó un diseño factorial, seguido de la metodología de superficie respuesta. El DEE permite observar el efecto combinado de todos los factores del proceso en un menor tiempo y sustituye al método tradicional de variación unifactorial, el cual requiere un gran número de experiencias y costos elevados (Montgomery, 2005).

Materiales y métodos

Preparación del adsorbente y adsorbato:

La cáscara de arroz (CA) empleada en las experiencias fue proporcionada por una empresa arrocera de Concepción del Uruguay (Entre Ríos). Al llegar al laboratorio, el sólido fue lavado con agua destilada para eliminar residuos y secado en estufa a 80 °C para su posterior conservación. El material en estas condiciones fue empleado en los ensayos de adsorción.

La solución que contiene plomo divalente se preparó disolviendo una cantidad adecuada de nitrato plumboso en agua destilada. Para ajustar el pH del medio se emplearon soluciones de hidróxido de sodio (NaOH) o de ácido clorhídrico (HCl) 1 M. En todos los casos se utilizaron reactivos de grado analítico.

Estudios de adsorción:

En estudios anteriores se exploró la influencia del pH en la remoción de plomo a partir de CA donde se observó la aparición de precipitado para valores de pH superiores a 6. Esto podría deberse a la formación del correspondiente hidróxido por lo que se definió un pH de trabajo por debajo de este valor (Centurión, 2022).

Para todos los protocolos de adsorción se fijó el volumen del *batch* en 25 mL, la temperatura del medio en 20 ± 4 °C y la agitación se mantuvo constante. Los parámetros con mayor influencia en el proceso de adsorción fueron evaluados mediante un diseño factorial, cuya variable respuesta, porcentaje de remoción de Pb^{2+}, se calculó según la siguiente ecuación (Ec.1):

$$\%\ Remoción\ Pb^{2+} = \frac{C_i - C_f}{C_i} \cdot 100\ \%. \qquad (1)$$

Donde C_i es la concentración inicial de plomo y C_f es la concentración del metal finalizado el protocolo de adsorción. La cuantificación del metal remanente se realizó por espectroscopia de absorción atómica utilizando una llama de aire-acetileno a una longitud de onda de 283,3 nm.

Diseño de experimento:

Diseño factorial completo para el *screening:* teniendo en cuenta los resultados de los ensayos preliminares y los valores límites para cada factor a estudiar, se elaboró un diseño factorial completo 2^k (k=4). El diseño factorial fue empleado para reducir el costo y el tiempo de los experimentos, buscando así la mejor optimización general de las condiciones experimentales (Bertoni, 2015; Zolgharnein, 2010). Este diseño determina cuales son los factores y sus interacciones que tienen efectos importantes sobre la variable respuesta.
Los factores estudiados en este trabajo fueron pH, concentración inicial de metal ($[Pb^{2+}]_0$), dosis de adsorbente (m) y tiempo de contacto (t). Los niveles de los factores experimentales se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1. Factores y niveles empleados en el diseño factorial completo 2^4.

Factor	Símbolo	Nivel	
		Bajo	Alto
Dosis de bioadsorbente (g)	m	0,025	0,25
pH	pH	2	4,5
Tiempo (min)	t	15	120
Concentración inicial de Pb^{2+} (mg/L)	$[Pb^{2+}]_0$	5	25

Diseño de superficies de respuesta: este enfoque se emplea con el objetivo de hallar un modelo matemático capaz de predecir la respuesta. Para ello, se empleó un Diseño Central Compuesto (DCC) donde se midió la variable respuesta en puntos determinados del dominio de trabajo. Para la selección de estos puntos experimentales es necesario contar con ensayos previos y debe hacerse cuidadosamente para obtener un mapeo correcto del dominio experimental. Mediante la ejecución de DCC, se ajustó la respuesta (% de remoción de Pb^{2+}) mediante un modelo de regresión. Para verificar la aplicabilidad del modelo se utilizaron pruebas como la falta de ajuste, análisis de la varianza (ANOVA), distribución de los residuos y el coeficiente de correlación (R^2) (Zolgharnein, 2010).

Todos los cálculos estadísticos y matemáticos se realizaron con el software Minitab 18.

Discusión y Resultados

La identificación preliminar de las variables con mayor significancia sobre la adsorción de plomo sobre CA se realizó mediante un diseño factorial completo 2^4. Las experiencias realizadas con la respuesta obtenida se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Condiciones experimentales del diseño factorial completo 2^4. Volumen del lote = 25 mL, Temperatura = 20 °C ± 4 °C, agitación constante.

Ensayo	**m**	**pH**	**t**	**$[Pb^{2+}]_0$**	**Remoción de Pb^{2+} (%)**
1	0,250	2	120	25	5,33
2	0,025	2	120	25	1,32
3	0,250	2	15	25	0,88
4	0,250	4,5	120	25	97,75
5	0,025	4,5	15	25	68,73
6	0,025	2	15	25	0,00
7	0,025	2	15	5	0,00
8	0,250	2	15	5	2,39
9	0,025	4,5	15	5	92,04
10	0,025	4,5	120	25	62,14
11	0,250	4,5	15	25	90,06

12	0,250	4,5	15	5	93,61
13	0,025	2	120	5	1,50
14	0,025	4,5	120	5	93,87
15	0,250	4,5	120	5	92,83
16	0,250	2	120	5	5,66

El análisis de los resultados reveló que el pH y la dosis de adsorbente se consideran factores significativos ($p<0,05$), siendo el pH el factor que presenta un mayor efecto.

Para optimizar la remoción de plomo sobre el sólido estudiado se aplicó el DCC. Las experiencias realizadas y la respuesta obtenida se detallan en la Tabla 3.

Tabla 3. Condiciones experimentales del DCC. Volumen del lote = 25 mL, Temperatura = 20 ± 4 ºC, agitación constante, tiempo de contacto 60 min y $[Pb^{2+}]_0$= 25 mg/L.

Ensayo	**m**	**pH**	**Remoción de Pb^{2+} (%)**
1	0,300	3,25	88,13
2	0,300	3,25	89,35
3	0,300	1,48	0,00
4	0,300	3,25	89,84
5	0,300	3,25	79,80
6	0,500	2,00	4,91
7	0,300	3,25	81,84
8	0,583	3,25	91,55
9	0,017	3,25	22,39
10	0,500	4,50	94,68
11	0,300	5,02	94,78
12	0,100	4,50	74,71
13	0,100	2,00	0,00

Los datos se estudiaron mediante análisis de regresión múltiple donde se obtuvo como ecuación de regresión en unidades no codificadas la expresión que se muestra a continuación (Ec.2):

$$\%\ Remoción\ Pb^{2+} = -201{,}2 + 114{,}2 \cdot pH + 276 \cdot m - 13{,}67 \cdot pH^2 - 414 \cdot m^2 + 15{,}1 \cdot pH \cdot m \qquad (2)$$

Para validar el coeficiente de regresión, se realizó el análisis de varianza. El valor F del modelo fue de 24,27 lo que muestra que el modelo es significativo. Los valores de p menores de 0,05 indican que los términos del modelo son significativos. El coeficiente de correlación obtenido fue de 0,9455 (R^2), lo cual supone una alta correlación. De esta forma, se considera adecuado aplicar el modelo cuadrático obtenido para analizar las tendencias de la respuesta.

En la Figura 1 se muestra la representación gráfica de la superficie de respuesta dada por la ecuación 2, que permite predecir el porcentaje de remoción de Pb^{2+} a diferentes valores de pH y dosis de adsorbente.

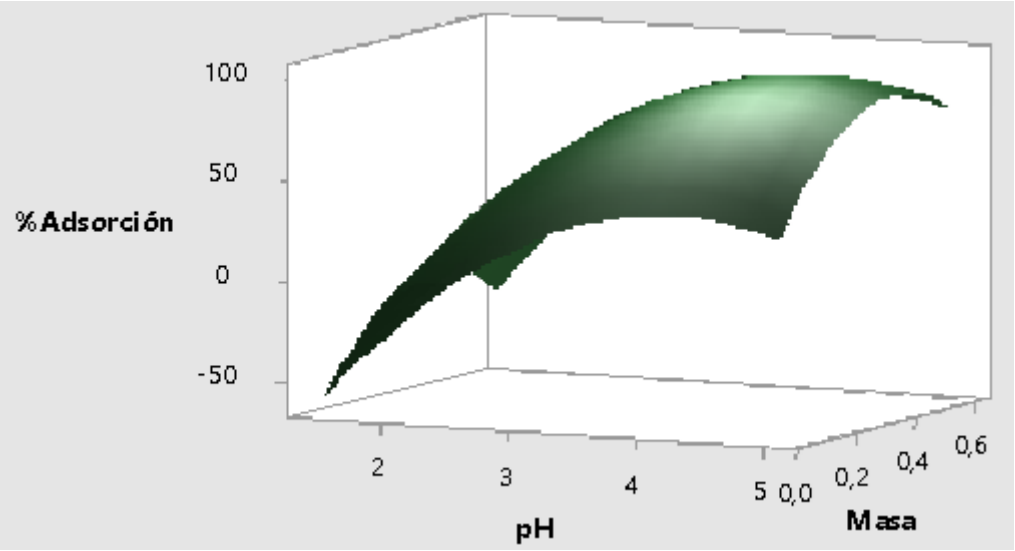


Fig. 1. Representación gráfica del modelo cuadrático obtenido.

Para verificar los valores predichos por el modelo, se realizaron experiencias de adsorción a pH = 5 y dosis de CA de 0,300 g. El valor experimental obtenido para estas condiciones fue de 96,07 ± 0,03 (n=3), mientras que al emplear el modelo cuadrático (Ecuación 2) fue de 96,24 %. Esta similitud entre el resultado predicho y el observado refleja la aplicabilidad del DCC como un método efectivo para optimizar la adsorción de plomo sobre cáscara de arroz.

Conclusiones

En este trabajo se llevó a cabo la optimización de los parámetros fisicoquímicos involucrados en la adsorción de plomo en solución utilizando cáscara de arroz. Éste adsorbente demostró ser altamente efectivo para la remoción del contaminante, alcanzando una eficiencia de aproximadamente el 96 % en condiciones óptimas. Los estudios identificaron el pH del medio y la dosis de adsorbente como los factores más significativos que afectan la remoción del metal, con el pH mostrando la mayor influencia.

La implementación de un diseño factorial completo seguido de un DCC permitió optimizar las condiciones experimentales, reduciendo costos y tiempo de experimentación. El modelo cuadrático obtenido del análisis de regresión proporcionó una herramienta para predecir el porcentaje de remoción de plomo en función de las variables estudiadas. Los experimentos de validación confirmaron la eficacia del modelo predictivo, evidenciando la robustez del enfoque aplicado.

Este estudio destaca la importancia de utilizar métodos estadísticos avanzados en la optimización de procesos de tratamiento de aguas, reflejando además, el potencial de los materiales naturales y de desecho en soluciones ambientales sostenibles. El empleo de un subproducto agrícola como la cáscara de arroz no solo ofrece una solución económica y eficiente para la remoción de metales tóxicos del agua, sino que promueve la gestión sostenible de residuos.

Referencias

Azimi, A. (2017). Removal of Heavy Metals from Industrial Wastewaters: A Review. *ChemBioEng Review* 4 (1), 1-24. https://doi.org/10.1002/cben.201600010.

Bertoni, F. (2015). Application of Green Seaweed Biomass for MoVI Sorption from Contaminated Waters. Kinetic, Thermodynamic and Continuous Sorption Studies. *Journal of Colloid and Interface Science* 446, 122-32. https://doi.org/10.1016/j.jcis.2015.01.033.

Briffa, J. (2020). Heavy Metal Pollution in the Environment and Their Toxicological Effects on Humans. *Heliyon* 6 (9), e04691. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04691.

Carolin, C. (2017). Efficient Techniques for the Removal of Toxic Heavy Metals from Aquatic Environment: A Review. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 5 (3), 2782-99. https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.05.029.

Centurión, E. (2022). Valorización de un Residuo Agroindustrial como Bioadsorbente de Plomo en Solución y su Reutilización en la fabricación de ladrillos Cerámicos. En 10º Congreso de Investigaciones y Desarrollos en Tecnología y Ciencias, IDETEC 2022: Libro de trabajos completos. 524-529.

Hama Aziz, K. (2023). Heavy Metal Pollution in the Aquatic Environment: Efficient and Low-Cost Removal Approaches to Eliminate Their Toxicity: A Review. *RSC Advances* 13 (26), 17595–610. https://doi.org/10.1039/D3RA00723E.

Montgomery, D. (2004). Diseño y análisis de experimentos. Segunda Ed.

Ngeno, E. (2022). Sustainable Re-Utilization of Waste Materials as Adsorbents for Water and Wastewater Treatment in Africa: Recent Studies, Research Gaps, and Way Forward for Emerging Economies. *Environmental Advances* 9 (August). https://doi.org/10.1016/j.envadv.2022.100282.

Saleh, T. (2022). Water treatment technologies in removing heavy metal ions from wastewater: A review. Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management. https://doi.org/10.1016/j.enmm.2021.100617.

Sarode, S. (2019). Overview of Wastewater Treatment Methods with Special Focus on Biopolymer Chitin-Chitosan. *International Journal of Biological Macromolecules* 121, 1086-1100. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.10.089.

Singh, N. (2018). Water Purification by Using Adsorbents: A Review. *Environmental Technology and Innovation* 11, 187-240. https://doi.org/10.1016/j.eti.2018.05.006.

Singh, R. (2020). Optimization and Experimental Design of the Pb^{2+} adsorption Process on a Nano-Fe_3O_4-Based Adsorbent Using the Response Surface Methodology. *ACS Omega* 5 (43), 28305-18. https://doi.org/10.1021/acsomega.0c04284.

Wang, W. (2022). Perspectives on Green Fabrication and Sustainable Utilization of Adsorption Materials for Wastewater Treatment. *Chemical Engineering Research and Design* 187, 541-48. https://doi.org/10.1016/j.cherd.2022.09.006.

Zolgharnein, J. (2010). Characterization of Sorption Isotherms, Kinetic Models, and Multivariate Approach for Optimization of Hg(II) Adsorption onto Fraxinus Tree Leaves. *Journal of Chemical and Engineering Data* 55 (11), 5040–49. https://doi.org/10.1021/je1006218.

CARACTERIZACIÓN Y CALIBRACIÓN DE UNIDADES DE MEDICIÓN INERCIAL DE BAJO COSTO

Ibrahim Jaime[1], Federico Beck Ferrero[1], Marco L. Miretti[1], Emanuel Bernardi[1]

[1]Applied Control & Embedded Systems - Research Group (AC&ES-RG, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco (UTN-FRSFCO), San Francisco, Córdoba, Argentina.
ibrahimjaime@gmail.com

Resumen

Considerando que la agricultura es una de las bases fundamentales de nuestra economía, su modernización resulta crucial para mejorar el rendimiento. La incorporación de tecnologías avanzadas permite una mejor gestión de los recursos, mayor precisión en las labores y una reducción significativa de los tiempos de trabajo. Además, estas tecnologías contribuyen a disminuir el impacto ambiental y a reducir la frecuencia de accidentes laborales.
Con el objetivo de contribuir a la tecnificación de los procesos agro-industriales, desde el grupo de investigación de control aplicado y sistemas embebidos se inició el desarrollo de un vehículo autónomo multipropósito, para la evaluación de estrategias de navegación y control.
Un componente fundamental para el seguimiento de trayectorias de manera autónoma es el sistema de adquisición de datos sobre la actitud del vehículo, en cada instante. Esto es, para determinar la orientación del mismo se utiliza una unidad de medición inercial (IMU), la cuál está compuesta por tres tipos de sensores: magnetómetro, giroscopio y acelerómetro. Dichos sensores son del tipo microelectromecánico y brindan mediciones de campo magnético, aceleración y velocidad angular. Las unidades de bajo costo comerciales cuentan con nueve grados de libertad, ya que poseen tres sensores de cada tipo, apropiadamente dispuestos.
En el presente trabajo se presentarán las técnicas empleadas para la caracterización y calibración de IMU's de bajo costo. Dicho proceso es fundamental para su correcto funcionamiento debido a las perturbaciones que los sensores reciben por parte del entorno y también por el movimiento y vibraciones del vehículo en movimiento. Esto es, se realizará la caracterización de los sensores empleando el método varianza de Allan. Dicha información será utilizada tanto en el desarrollo del algoritmo de control como también en la determinación del período de recalibración del sensor, para asegurar un correcto funcionamiento.

Palabras Clave: vehículo autónomo, sensor inercial, varianza de Allan.

Introducción

Las unidades de medición inercial (IMU), generalmente están compuestas por tres elementos sensores (Froyum et al., 2012). Siendo éstos: magnetómetro, giroscopio y acelerómetro, con los cuales se obtiene información de los ángulos azimut (yaw), cabeceo (pitch) y balanceo (roll) (López Revuelta, 2017). Las principales aplicaciones de este dispositivo incluyen el control de sistemas no tripulados, las aplicaciones cartográficas móviles ya sean terrestres, aéreas o marítimas y toda carga útil que requiera estabilización o apuntamiento (Ahmad et al., 2013).
Es conocido, que las IMU's desarrolladas a partir de sensores microelectromecánicos (MicroElectroMechanical Systems, MEMS) poseen errores de medición de considerable magnitud, complejos, no lineales y variantes en el tiempo. Es por esto que los mismos deben ser calibrados (Skog & Händel, 2006, entre otros).

Por lo tanto, el análisis de las mediciones de los sensores se realizó mediante el método varianza de Allan. Esta es una herramienta de análisis estadístico empleada para caracterizar varios tipos de contribuciones de error existentes en las mediciones de un sensor (Hussen & Jleta, 2015). Al aplicar el método se obtiene una curva característica cuya inspección proporciona una identificación sistemática de diversos errores aleatorios contenidos en los datos de salida del sensor inercial. Al ser una cantidad directamente medible, la varianza de Allan puede proporcionar información sobre los tipos y la magnitud de las distintas fuentes de error (El-Sheimy et al., 2007).

En consecuencia, la información obtenida brinda la posibilidad de generar un modelo matemático del sensor. Esto es necesario para simular su comportamiento y así diseñar métodos para reducir su error o determinar los parámetros adecuados al realizar una fusión con otros sensores (Miretti et al., 2018; Han et al., 2009).

Desarrollo

Calibración

A continuación se presentará el proceso de calibración de cada uno de los sensores que componen la unidad de movimiento inercial. Éstos se encuentran dispuestos en una misma placa representada en la figura 1.

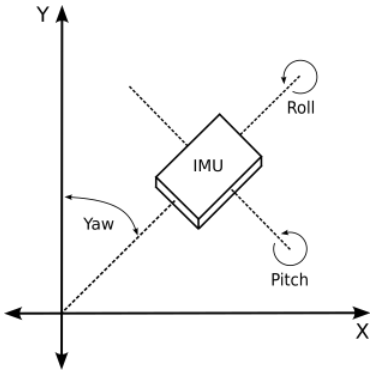


Fig. 1. Ejes de referencia de mediciones de unidad de movimiento inercial.

El proceso de calibración del elemento acelerómetro consiste en la adquisición de mediciones mientras el mismo se gira $360\,°$ en cada uno de los tres ejes. El giro debe ser lento para evitar inducir aceleraciones adicionales a la gravedad. En el mejor de los casos, las mediciones se deberían ubicar en el rango de $\pm 1\,g$ en cada eje. Por otra parte, si el rango es mayor o menor al mencionado se debe incluir un factor de escala para corregir las mediciones. Teniendo en cuenta ambos fenómenos las mediciones calibradas se obtienen mediante la ec. 1,

$$A_{calibrado} = \left(A_{medida} - A_{compensación}\right) A_{escala}. \quad (1)$$

Por otro lado, el proceso de calibración del giróscopo consiste en adquirir una gran cantidad de mediciones en estado de reposo. Luego se promedian los mismos para obtener el valor de compensación necesario para obtener valores de velocidad angular cercanos a cero. La ec. 2 muestra la velocidad angular calibrada,

$$G_{calibrado} = G_{medida} - G_{compensación}. \quad (2)$$

Finalmente, con respecto al magnetómetro cabe destacar que en el presente trabajo sólo se considerarán las mediciones de los ejes 'X' e 'Y' (figura 1). Por otro lado, se sabe que las distorsiones que afectan a este dispositivo pueden ser del tipo ’hard iron’ producidas por elementos ferromagnéticos que se encuentran magnetizados de forma permanente o ’soft iron’ generados por objetos de alta permeabilidad magnética. Para determinar la influencia de cada efecto sobre los sensores se debe girar el dispositivo $360\,°$ en cada eje. El efecto ’hard iron’ se manifestará como un desplazamiento en las mediciones al hacer una comparación entre los diferentes ejes. Esto se corrige mediante la ec. 3,

$$M_{calibrado} = M_{medida} - M_{compensación}. \quad (3)$$

Idealmente, luego de aplicar la compensación la gráfica de las componentes 'X' e 'Y' del vector de campo magnético debería presentar un círculo perfecto y centrado. Sin embargo, si se encuentra presente el efecto ’soft iron’ dicha gráfica mostrará una elipse. Para corregir este efecto se debe determinar la magnitud del eje mayor 'r', del eje menor 'q' y del ángulo de inclinación θ. Luego, con el objetivo de rotar la esfera se emplea la ec. 4,

$$R = \begin{bmatrix} cos(\theta)\ sen(\theta) \\ -sen(\theta)\ cos(\theta) \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Finalmente, para escalar las mediciones se deben multiplicar las del eje 'X' por el facto:

$$\sigma = \frac{q}{r}. \tag{5}$$

En resumen, en el caso de contar con ambos efectos el valor medido es compensado, luego se multiplica el vector conformado por las mediciones de ambos ejes, por la matriz 'R' y finalmente uno de los eje es escaldo con el factor σ.

Caracterización

El método consiste en la obtención de una gran cantidad de datos con el sensor quieto. Los N datos consecutivos, obtenidos en un tiempo de muestreo de t_0 se dividen en M subgrupos donde $M = \frac{N}{n}$ (teniendo en cuenta que, $n < \frac{N}{2}$), siendo n el número de muestras por grupo.

Asociado a cada grupo hay un tiempo $T = n \times t_0$. Si la tasa de salida instantánea del sensor inercial es $\Omega(t)$, el promedio del grupo se define como:

$$\overline{\Omega}_k(T) = \frac{1}{T}\int_{t_k}^{t_k+T} \Omega(t)dt. \tag{6}$$

Donde $\overline{\Omega}(t)$ representa el promedio del grupo de la tasa de cambio para un grupo que comienza desde el punto k y contiene n datos. La varianza de Allan de una longitud T para tiempo discreto se define como,

$$\sigma^2(T) = \frac{1}{2(N-2n)}\sum_{k=1}^{N-2n}\left[\overline{\Omega}_{k+1}(T) - \overline{\Omega}_k(T)\right]^2. \tag{7}$$

La varianza de Allan también se define en términos de ángulos como

$$\theta(t) = \int^t \Omega(t)dt. \tag{8}$$

A partir de ello, la varianza de Allan se estima como

$$\begin{aligned}\overline{\Omega}_k(T) &= \frac{\theta_{k+n} - \theta_k}{T} \\ \overline{\Omega}_{prox}(T) &= \frac{\theta_{k+2n} - \theta_{k+n}}{T} \\ \sigma^2(T) &= \frac{1}{2T^2(N-2n)}\sum_{k=1}^{N-2n}\left[\theta_{k+2n} - 2\theta_{k+n} + \theta_k\right]^2\end{aligned} \tag{9}$$

Un gráfico logarítmico en ambos ejes de la raíz cuadrada de la varianza de Allan (desviación estándar), $\sigma(T)$ con respecto a T proporciona un medio para identificar y cuantificar varios términos de ruido que existen en el sensor inercial. Un ejemplo de este gráfico se muestra en la figura 2.

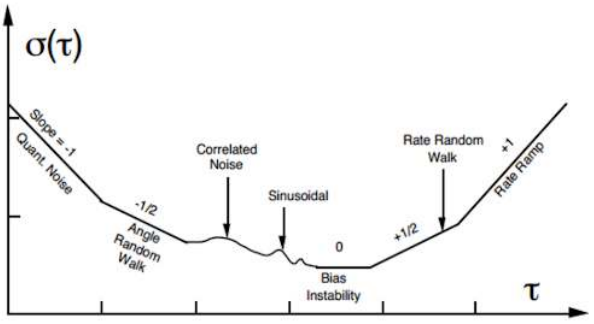


Fig. 2. Varianza de Allan.

A continuación se definirán los cinco términos de ruido que se pueden identificar empleando este método. Así, si las fuentes de ruido son estadísticamente independientes, entonces la varianza de Allan calculada es la suma de los cuadrados de cada tipo de error.

Ruido de cuantificación (Q): El ruido de cuantificación es un tipo de error que se introduce en una señal analógica durante el proceso de conversión a formato digital. Este ruido surge debido a las pequeñas discrepancias entre las amplitudes reales de los puntos muestreados y la precisión del convertidor analógico-digital, que está limitada por la resolución en bits del mismo. En la gráfica de desvío estándar este término es representado con una curva de pendiente -1. Su valor se obtiene ubicando un punto en dicha parte de la gráfica y empleando la ec. 10,

$$\sigma\ (T) = Q\frac{\sqrt{3}}{T}. \tag{10}$$

Random Walk/Deriva (N): Cuando se integra una señal de salida ruidosa de un sensor, como una señal de velocidad angular para calcular un ángulo, el valor obtenido tenderá a aumentar con el tiempo debido al ruido, incluso si el sensor permanece inmóvil. Este fenómeno se conoce como "random walk" o "caminar aleatorio", ya que la integración parece seguir una trayectoria de pasos aleatorios de una muestra a la siguiente. En la gráfica de desvío estándar este término es representado con una curva de pendiente $-1/2$. El valor de N se obtiene mediante la siguiente ecuación,¡

$$\sigma\ (T) = \frac{N}{\sqrt{T}}. \tag{11}$$

Inestabilidad de sesgo (B): También conocido como ruido de parpadeo o "flicker", este tipo de ruido se manifiesta como fluctuaciones de sesgo de baja frecuencia en los datos medidos. Su origen suele ser la electrónica u otros componentes susceptibles a variaciones aleatorias. Debido a su baja frecuencia, el ruido de parpadeo se manifiesta como fluctuaciones en el sesgo de los datos a lo largo del tiempo. Su valor se obtiene cuando la varianza tiende a cero, en esta región se determina su valor empleando la ec. 12,

$$\sigma\ (T) = B\sqrt{\frac{2ln(2)}{\pi}}. \tag{12}$$

Rate Random Walk (K): Este término se refiere a un comportamiento en el que la tasa de cambio de una señal exhibe una caminata aleatoria. El Rate Random Walk (RRW) define la escala temporal en la que ocurren estos cambios y ofrece una base para planificar la recalibración en aplicaciones críticas que requieren una vida útil prolongada. El RRW está relacionado con el ruido browniano y se calcula mediante la ecuación 13 donde se observa una pendiente de $+\ 1/2$.

$$\sigma\ (T) = K\sqrt{\frac{T}{3}}. \tag{13}$$

Drift Rate Ramp (R): El Drift Rate Ramp se manifiesta como una variación sistemática y continua en la tasa de cambio de la señal a lo largo del tiempo. Este error se caracteriza por una deriva gradual y predecible en la señal medida, que puede indicar un comportamiento sistemático en el sistema bajo estudio. Identificar y comprender el Drift Rate Ramp es crucial para ajustar y mejorar la precisión en aplicaciones que dependen de una alta estabilidad temporal. Este tipo de ruido es representado con una pendiente $+\ 1$ en la gráfica de desvío estándar. Y se obtiene con la ec. 41,

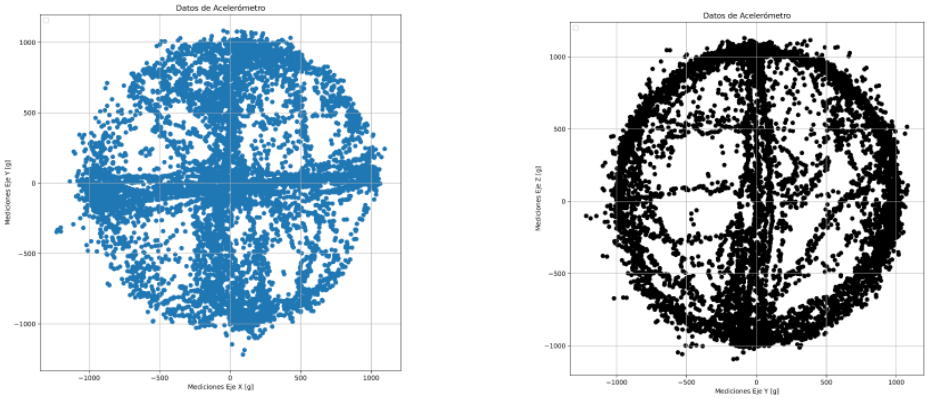
$$\sigma\ (T) = R\frac{T}{\sqrt{2}}. \tag{14}$$

Herramientas

El sistema implementado para éste análisis consiste en la conexión de dos IMU's con la placa de desarrollo 'Raspberry Pi Pico W'. Una de las IMU's empleadas fue conformada empleando dos integrados. Uno de ellos es el 'MPU-6050' que cuenta con un giroscopio de tres ejes y un acelerómetro de tres ejes. El giroscopio fue programado con una sensibilidad de $\pm 250\ [deg/s]$, mientras que el rango de medición del acelerómetro fue establecido en $\pm 4[g]$. El filtro pasa bajos fue configurado con un ancho de banda de $5,05[Hz]$. Mientras que la frecuencia de muestreo se empleada fue $1[kHz]$. El otro integrado que compone el sistema es el 'QMC5883' que contiene tres sensores de campo magnético. Su rango de medición fue de $\pm 2[Gauss]$ y su frecuencia de muestreo fue establecida en $200[Hz]$. Además, se empleó una tasa de sobre-muestreo de con lo que se redujo al máximo el ancho de banda del filtro pasa-bajos incluido en el dispositivo. Cabe destacar que la frecuencia del sistema en conjunto fue de $100[Hz]$ debido a restricciones en la decodificación y almacenamiento de los datos.

Resultados y discusiones

Para comenzar, se presentarán los resultados de calibración del sistema compuesto por los dispositivos ‘MPU6050’ y ‘QMC5883l’. Luego de realizar la secuencia de calibración del acelerómetro se determinó que las mediciones eran correctas y no se realizó compensación ni se escalaron los datos. A continuación se presenta la gráfica de los datos del vector ‘xy’ y en la figura siguiente, la gráfica del vector ‘yz’.



a. Vector ‘xy’. b.Vector ‘yz’.

Fig. 3. Datos del acelerómetro.

Tras recopilar los datos del giroscopio en reposo durante 90 minutos, se determinaron los valores necesarios para su compensación. Los resultados obtenidos fueron: eje X = -1,6022 [°/s], eje Y = 0,2899 [°/s] y eje Z = 1,8464 [°/s]. Seguidamente, se realizó el procedimiento de calibración del magnetómetro y se determinó la presencia del fenómeno ‘hard-iron’. Se observa en la figura 4 las mediciones desplazadas, los valores empleados para compensar las mediciones fueron: eje X = -77272.842 [uGauss], eje Y = -4699.849 [uGauss] y eje Z = 13977,473 [uGauss].

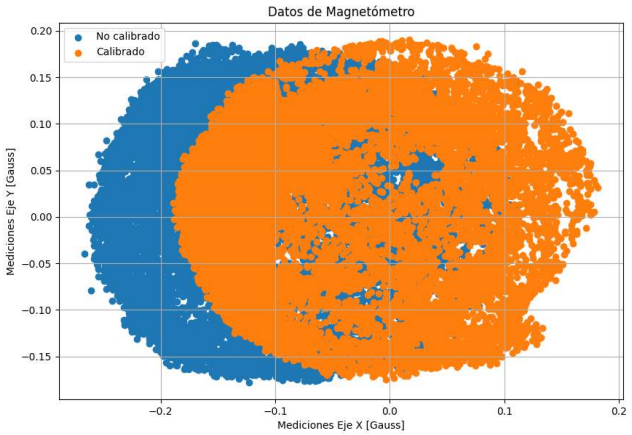


Fig. 4. Datos de magnetómetro (vector ‘xy’) anteriores y posteriores a la calibración.

Por otro lado, la tabla 1 muestra los resultados de la caracterización del giroscopio empleando el método de varianza de Allan.

Tabla 1. Valores de errores de giroscopio obtenidos de la gráfica de desvío de Allan.

Eje	Cuantización $[deg]$	Random Walk $[deg/s/\sqrt{h}]$	Inestabilidad de sesgo $[deg/s]$	Rate Random Walk $[deg/s\text{^}2]$	Drift Rate Ramp $[deg/h]$
x	0,4782	0,8050	0,2108	0,0120	2,8284e-5
y	0,4988	0,6932	0,1249	5,2494e-3	1,4142e-5
z	0,4919	1,1268	0,0820	3,1754e-3	8,4853e-6

A continuación, la tabla 2 presenta los datos obtenidos mediante el método de varianza de Allan para el acelerómetro.

Tabla 2. Valores de errores de acelerómetro obtenidos de la gráfica de desvío de Allan.

Eje	Cuantización $[m/s]$	Random Walk $[m/s/\sqrt{h}]$	Inestabilidad de sesgo $[m/s\text{^}2]$	Rate Random Walk $[m/s\text{^}2/s]$	Drift Rate Ramp $[m/s/h]$
x	0,6640	1,3560	0,3839	0,0698	4,0992e-3
y	0,6351	1,6168	0,3989	0,0395	1,6638e-3
z	0,8660	1,9818	0,5269	0,0783	3,2056e-3

Seguidamente, en la figura 5 se observan los desvíos de Allan del giroscopio y acelerómetro.

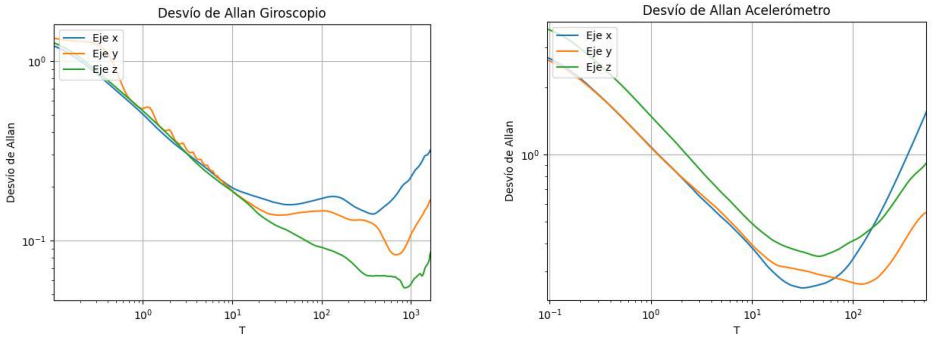


Fig. 5. Desvíos de Allan.

Conclusiones

En el presente trabajo se presentó un método de caracterización y calibración para IMU's. Además, se logró verificar este método en una IMU de bajo costo, donde se identificó y corrigió con éxito el error de tipo 'hard-iron' del magnetómetro y se analizaron las mediciones del giroscopio, determinando y aplicando la compensación necesaria para reducir el error en velocidad angular medida en estado de reposo.

Por otro lado, se llevó a cabo una caracterización de los sensores mediante el método de varianza de Allan, tanto para el acelerómetro como para el giroscopio. Este análisis permitió identificar que el error predominante en el acelerómetro y el giroscopio es del tipo Random Walk. Para mitigar este defecto, se procederá a implementar una fusión de datos entre el giroscopio y el acelerómetro. Esta estrategia permitirá corregir y compensar los errores acumulativos del Random Walk, mejorando así la precisión y fiabilidad del sistema de navegación del vehículo.

Referencias

Ahmad, N., Ghazilla, R. A. R., Khairi, N. M., & Kasi, V. (2013). Reviews on various inertial measurement unit (IMU) sensor applications. *International Journal of Signal Processing Systems*, *1*(2), 256-262.

El-Sheimy, N., Hou, H., & Niu, X. (2007). Analysis and modeling of inertial sensors using Allan variance. *IEEE Transactions on instrumentation and measurement*, *57*(1), 140-149.

Froyum, K., Goepfert, S., Henrickson, J., & Thorland, J. (2012). Honeywell micro electro mechanical systems (MEMS) inertial measurement unit (IMU). *Proceedings of the 2012 IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium* (pp. 831-836). IEEE.

Han, S., Wang, J., & Knight, N. (2009). Using allan variance to determine the calibration model of inertial sensors for GPS/INS integration. In *6th Interational Symposium on Mobile Mapping Technology*.

Hussen, A. A., & Jleta, I. N. (2015). Low-cost inertial sensors modeling using Allan variance. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, *9*(5), 1230-1235.

López Revuelta, Á. (2017). Orientation estimation and movement recognition using low cost sensors. Faculty of Computing at Blekinge Institute of Technology. Karlskrona, Sweden

Miretti, M., Busano, F., Bernardi, E., Pipino, H., & Peretti, G. C. (2018). Estimación híbrida de posición angular en dispositivos de captura de imágenes aéreas.

Skog, I., & Händel, P. (2006). Calibration of a MEMS inertial measurement unit. In *XVII IMEKO world congress* (pp. 1-6).

LA GAMIFICACIÓN APLICADA AL APRENDIZAJE DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE SUSTANCIAS COTIDIANAS

Deisy I. Galuppo[1], Luciano Neyra Vivas[1], Lucía V. Castellano[1], Santiago V. Cézar[1], Hugo A. Pipino[1]

[1]Museo Interactivo de Ciencias (MuIC), Facultad Regional San Francisco, Universidad Tecnológica Nacional, San Francisco (Córdoba)
dgaluppo@facultad.sanfrancisco.utn.edu.ar

Resumen

El presente trabajo aborda la generación de una experiencia interactiva en línea que vincula la programación y los conocimientos web que brinda actualmente la tecnología, junto con la comprensión de la química presente en la vida diaria. Así, el objetivo es desarrollar un juego interactivo virtual que, a través de la iniciativa del entusiasmo, permita aprender sobre la química que subyace en los entornos cotidianos. Esta propuesta surge de la sugerencia de estudiantes en el ámbito de la química, quienes consideran que contar con herramientas interactivas versátiles habría sido útil durante su proceso de aprendizaje. La idea principal se basa en la gamificación, convirtiéndola en una herramienta efectiva para el aprendizaje, donde la diversión se establece como un medio por el cual se puede adquirir un entendimiento lógico y razonable con mayor profundidad de un tema específico.

El prototipo diseñado busca atraer a personas de todas las edades, tanto conocedores de la química como personas que no se desenvuelven en tal ámbito, para que puedan divertirse y enriquecerse de conocimiento. Durante el juego, se ofrecen datos interesantes sobre la versatilidad y los usos tanto industriales como domésticos de diversos compuestos y sustancias, acompañados de imágenes que tienen el propósito de facilitar la comprensión de los textos y fomentar la curiosidad de los usuarios. En su interfaz, cuenta con una selección de elementos de la tabla periódica dispuestos en una plantilla de modo que varíen su posición aleatoriamente dentro de la misma. Los jugadores pueden arrastrar estos elementos hacia una sección de la pantalla para combinarlos unos con otros, o no, según sea adecuado para el compuesto que se requiera formar. El juego consta de distintos niveles que aumentan en dificultad progresivamente, desafiando cada vez más los conocimientos de los participantes e incentivándolos a seguir explorando y aprendiendo.

Palabras Clave: Gamificación, Química, Aprendizaje Activo, Sustancias Cotidianas.

Introducción

La química, que estudia la composición, estructura, propiedades y cambios de la materia, es una asignatura muy importante en los programas de estudio de educación secundaria y en los primeros años de educación superior a nivel global, ya que es central para las carreras de ciencias básicas, ciencias de la salud, e ingenierías, entre otras (Quirós, 2020).

Los átomos son los componentes básicos de las moléculas, las cuales representan la forma estable de muchos elementos y compuestos (Whitten et al., 2014). Para formar las moléculas, los átomos se enlazan entre sí, exhibiendo diferentes propiedades en base a las fuerzas de atracción presentes. Diariamente, las personas interactúan directa e indirectamente con todo tipo de sustancias y compuestos que influyen en el desarrollo normal de la vida cotidiana. Por ello, estudiar la estructura y las propiedades de las moléculas resulta fundamental para utilizar los productos de manera eficiente, cuidar el medioambiente y fomentar avances tecnológicos.

Al principio, los estudiantes de química aprenden cómo están unidos los átomos a partir de las fórmulas de Lewis, lo que facilita la comprensión del tema. Sin embargo, para personas no afines a

este ámbito, no es tan sencillo. Abordar estos temas, en los que la observación directa no es posible, plantea un desafío al momento de despertar el interés de la sociedad por la química.

Teniendo en cuenta esta problemática, y en concordancia con los objetivos del Museo Interactivo de Ciencias (MuIC) perteneciente a la Facultad Regional San Francisco de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN), en este trabajo se encara el diseño de una experiencia interactiva virtual con el propósito de brindar conocimientos químicos sobre sustancias que probablemente encontramos en nuestro día a día. Si bien existen algunas aplicaciones web que permiten unir las fórmulas moleculares con su nomenclatura correspondiente, estas aplicaciones son estáticas y facilitan que el usuario memorice su resolución. Además, por tratarse de la unión de los objetos, brindan la información completa en pantalla evitando que el participante pueda cuestionarse la cantidad de cada elemento químico que conforma la sustancia en cuestión. El prototipo propuesto en este trabajo pretende abordar estas deficiencias y ofrece información adicional para concientizar sobre cada sustancia.

El desarrollo de la experiencia está enmarcado en la gamificación. Esta estrategia se sustenta en la utilización de sistemas interactivos que tienen como objetivo motivar y comprometer a los usuarios finales a través del uso y la mecánica de estímulos comúnmente incluidos en los juegos (Zatarain Cabada, 2018). El juego es un sistema de reglas que define un desafío, donde la participación de los jugadores en este desafío se traduce en un resultado cuantificable (Tekinbas, 2003).

Los juegos didácticos son excelentes alternativas a los métodos de enseñanza tradicionales, porque permiten trabajar diferentes habilidades de los estudiantes, conjugando enseñanza y diversión (Martínez Villalobos, 2019). Dicho esto, la gamificación se considera como una estrategia pedagógica innovadora y presenta un gran interés en la comunidad académica y científica, tanto por la eficacia para potenciar el aprendizaje de los estudiantes como por el fomento de la educación inclusiva (Arteaga-Alcívar, 2023).

Esta metodología que aboga por el juego y la gamificación como estrategia educativa se basa en gran medida en la idea de que la participación en un juego implica una reacción emocional del jugador. Esta reacción la provoca el desafío del juego, la retroalimentación y la interacción constante del proceso de jugar y el resultado derivado de jugar (ganar, perder, pasar al siguiente nivel, etc.) (Simó, 2018).

De esta manera, con el objetivo de fomentar la comprensión de la composición de sustancias cotidianas por parte de estudiantes y de la sociedad en general, en este trabajo se presentan las principales características del prototipo de una experiencia interactiva desarrollado que contiene diversas sustancias clasificadas objetivamente según la dificultad que suponen, las cuales se detallan en la sección “Análisis de compuestos seleccionados”. Asimismo, la experiencia interactiva provee elementos químicos diversos que se incrementan en número con cada nivel, como se explica en la sección “Desarrollo y proceso del juego”. Finalmente, en la sección “Conclusiones” se sintetizan los principales resultados del trabajo y propuestas a futuro.

Análisis de compuestos seleccionados

El juego “Desafío Molecular” desarrollado[1] contiene cuatro niveles (Básico, Medio, Avanzado y Experto), cada uno formado por varias sustancias de complejidad similar. Estos compuestos son sustancias cotidianas y conocidas, facilitando así la relación del contenido aprendido con la realidad. Aun así, se plantea la posibilidad de agregar nuevas opciones en cada uno de los niveles mediante el desarrollo realizado. Las sustancias incluidas se detallan en la Tabla 1.

[1] La experiencia interactiva “Desafío Molecular” se puede acceder desde http://conciencia.frsfco.utn.edu.ar/?page_id=15

Como se observa, los compuestos seleccionados para el nivel básico emplean un menor número de átomos, y la nomenclatura empleada permite inferir claramente el resultado esperado. A medida que se avanza a niveles de mayor dificultad, la cantidad de átomos necesarios es mayor y la nomenclatura provista se vuelve menos descriptiva de la composición química de la molécula resultante.

Tabla 1. Sustancias presentes en el juego.

Nivel Básico	Nivel Medio	Nivel Avanzado	Nivel Experto
Monóxido de dihidrógeno	Peróxido de dihidrógeno	Tetraoxosulfato de hidrógeno	Ácido acético
Dióxido de carbono	Monocloruro de sodio	Tetraoxosulfato de calcio	Etanol
Dióxido de silicio	Cloruro de hidrógeno	Hidróxido de calcio	Hipoclorito de sodio
Tricloruro de hierro	Trihidruro de nitrógeno	Tetraoxosulfato de cobre	Monohidrógeno carbonato de sodio
Óxido de calcio	Hidróxido de sodio	Trioxocarbonato de calcio	Nitrato de amonio

Desarrollo y proceso del juego

Para lograr un aprendizaje eficaz en los participantes se tienen en cuenta seis aspectos (Lozada-Ávila, 2017):
Objetivo pedagógico: Definir el alcance y representarlo.
Simulación: Que sea un juego, debe tener reglas y parámetros que permitan que éste se replique y no genere situaciones interpretativas que no se encuentren contempladas.
Interacción con la simulación: Ahonda en la manera en la cual el jugador interactúa mientras avanza.
Problemas y progresión: Ruta metodológica que coloca una serie de desafíos de aprendizaje.
Decoración: Elementos no relacionados con el objetivo de conocimiento que enriquecen la experiencia de usuario.
Condición de uso: Delimitar quién, cuándo, dónde y cómo se utilizará el juego.

De esta manera, en esta sección se abordan estos aspectos en términos generales profundizando en los puntos propios del proceso del juego.

Para la realización del prototipo se hace uso de las tecnologías web para facilitar la difusión por distintos medios. En tanto que para el desarrollo de la interfaz se opta por *JavaScript* (JS) debido a su compatibilidad con los navegadores web. Esta elección se centra en que JS permite agregar interactividad a las páginas y realizar funciones en el dispositivo del usuario, evitando costos por la utilización de servidores externos y reduciendo los tiempos de respuesta.

Al acceder a cada nivel, el juego proporciona una sustancia seleccionada aleatoriamente del total de compuestos disponibles para el nivel seleccionado, cargados previamente a la experiencia interactiva mediante *JavaScript Object Notation* (JSON), este lenguaje permite la transferencia de datos con facilidad y por ser nativo de JS, resulta sencilla su integración. Además, la utilización de JSON permite la incorporación de nuevas sustancias sin modificar la funcionalidad del juego, promoviendo la escalabilidad de la experiencia.

Cada sustancia se presenta preferentemente mediante la nomenclatura de la sustancia establecida por la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC, por sus siglas en inglés), con vocabulario químico y técnico presuntamente desconocido para el participante. En la parte inferior de la pantalla, se encuentra un tablero con los elementos que pertenecen a la sustancia solicitada, así como algunos elementos adicionales, como se muestra en la Figura 1.

Los elementos también se posicionan de forma aleatoria para evitar que el participante memorice su ubicación y, en su lugar, se enfoque en identificar la sustancia correcta mediante el análisis de la nomenclatura química y los elementos disponibles.

Fig. 1. Sustancia y elementos químicos en el nivel básico.

Para construir la molécula, el jugador debe arrastrar los elementos químicos hacia el área designada para la molécula y soltarlos. El participante debe seleccionar los elementos que considere apropiados para formar la sustancia en cuestión. Si el elemento pertenece a la molécula solicitada, se "acepta"; en caso contrario, el elemento regresa a su posición inicial.

Una vez que el participante forma correctamente y de manera completa la molécula, se muestra una pantalla con el nombre común de la sustancia, es decir, con el que se conoce colectivamente, además de características particulares, tales como datos históricos, curiosidades, aplicaciones e imágenes (Fig. 2). Para la elaboración de esta información, es necesaria la búsqueda de información y recolección de datos de cada compuesto.

Fig. 2. Pantalla con carteles informativos.

En este momento, también se habilita la posibilidad de avanzar a la siguiente sustancia hasta completar cinco compuestos. Una vez formados las cinco sustancias de cada nivel, el jugador puede registrar su puntuación final, que se calcula en función de la relación entre el número de intentos necesarios para completar el nivel y el número total de intentos realizados. Se otorga la puntuación máxima cuando se completa en el menor número de intentos, y un porcentaje menor por cada error cometido. Además, se otorga una puntuación extra en función del tiempo empleado para resolver las cinco sustancias propuestas en el nivel, para ello se multiplica el valor máximo por la inversa del tiempo empleado en segundos para resolver, ya que, una vez finalizado un compuesto hasta presionar siguiente, el cronómetro se detiene para favorecer la lectura de la información provista. La Ecuación (1) especifica lo descripto.

$$1000\left(\frac{nº\ de\ intentos\ necesarios}{nº\ de\ intentos\ realizados}+\frac{1}{tiempo\ neto\ empleado}\right) \quad (1)$$

De la Ecuación (1) se desprende que los errores cometidos en los niveles avanzado y experto tienen una incidencia menor que en los niveles básico y medio, esto está pensado ya que la probabilidad de ocurrencia de errores en los niveles superiores es mayor. En pantalla se muestra un ranking con las diez mejores puntuaciones registradas para cada uno de los niveles descriptos, destacando el desempeño sobresaliente de los participantes. De esta manera, se pretende fomentar el desafío de la autosuperación.

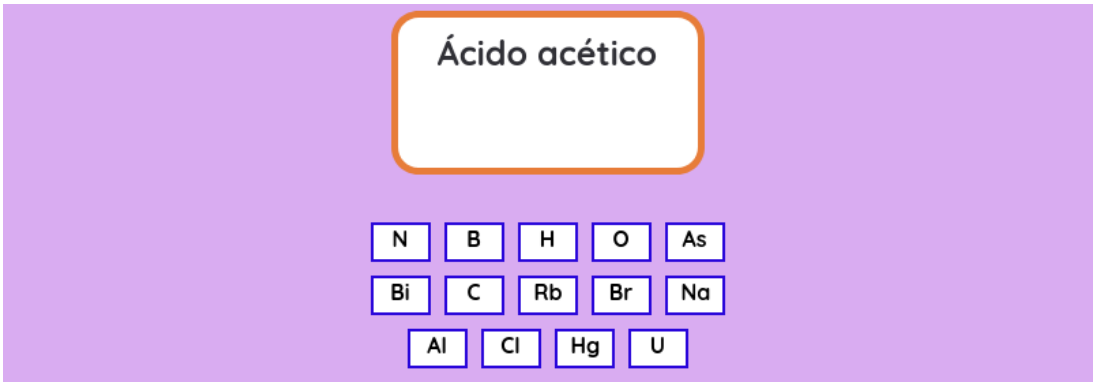


Fig. 3. Sustancia y elementos químicos en el nivel experto.

A medida que el participante avanza de nivel, la cantidad y/o variedad de los elementos químicos que componen la sustancia aumenta, así como el número de opciones disponibles, lo que presenta un mayor reto para completar cada nivel (Fig. 3).

Conclusiones

Según lo expuesto, se cumple con el diseño, junto con la aplicación de conocimientos de programación, un juego interactivo que permite a las personas conocer más sobre la química cotidiana. Esta iniciativa está en línea con los objetivos del grupo I+D MuIC, el cual tiene como propósito promover el aprendizaje de personas de todas las edades en distintos ámbitos académicos relacionados a temáticas de ingeniería.

La actividad se encuentra disponible en el sitio web del Museo Interactivo de Ciencias y ha sido probada por los integrantes del equipo de trabajo y un grupo de prueba de público objetivo determinando una buena aceptación. Aunque aún no se ha evaluado en alumnos, se estima que se obtengan buenos resultados tanto en cursos y clases dictadas en la institución como entre personas interesadas en el tema. Además, se espera que la utilización de este juego haga que la enseñanza en cátedras afines a la química se torne didáctica y divertida.

A futuro, se pretende ampliar la cantidad de sustancias por cada nivel, organizar las fórmulas moleculares de cada compuesto según las reglas IUPAC a medida que transcurre el juego e incluir la posibilidad de solicitar pistas cuando sea necesario. Estas mejoras tienen como objetivo enriquecer la experiencia del juego, ofreciendo a los usuarios mayor variedad y recursos para facilitar su participación y aprendizaje.

Referencias

Arteaga-Alcívar, Y., & Guaña-Moya, J. (2023). Gamificación para fomentar la participación de estudiantes en la investigación científica. RECIAMUC, 7(1), 914-922.

Lozada-Ávila, C., & Betancur-Gómez, S. (2017). La gamificación en la educación superior: una revisión sistemática. Revista Ingenierías Universidad de Medellín, 16(31), 97-124.

Martínez Villalobos, G., & Ríos Herrera, J. F. (2019). Gamificación como estrategia de aprendizaje en la formación de estudiantes de Ingeniería. Estudios pedagógicos (Valdivia), 45(3), 115-125.

Quirós, C. (2020). “Estrategias de gamificación para la enseñanza de la química”. En Libro de Memorias XII Festival Internacional de Matemáticas XXII Congreso Nacional de Ciencia, Tecnología y Sociedad (Vol. 45).

Simó, V. L., & Domènech-Casal, J. (2018). Juegos y gamificación en las clases de ciencia: ¿una oportunidad para hacer mejor clase o para hacer mejor ciencia? Revista Eletrônica Ludus Scientiae, 2(1).

Tekinbas, K. S., & Zimmerman, E. (2003). Rules of play: Game design fundamentals. MIT press.

Whitten, K. W., Davis, R. E., Peck, M. L., & Stankey, G. G. (2014). Chemistry, Tenth Edition. Belmont, USA: Brooks/Cole Cengage Learning.

Zatarain Cabada, R. (2018). Reconocimiento afectivo y gamificación aplicados al aprendizaje de Lógica algorítmica y programación. Revista electrónica de investigación educativa, 20(3), 115-125.

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE COLECTORES SOLARES ANTE LA VARIACIÓN DE SUS PARÁMETROS FUNDAMENTALES

Nicolás A. Bon, Johann M. Schmidt Waigel, Adrian F. D'andrea.

[1]Mecanica-Electrica, UTN Facultad Regional Santa Fe, Lavaisse 610 - S3004EWB Santa Fe
johannschmidt60@gmail.com

Resumen

El desarrollo productivo y económico del país trae aparejado una necesidad implícita de optimizar el gasto de energía y minimizar el alto impacto que genera en diferentes ámbitos. Los costos del aprovisionamiento de energía y las externalidades, sobre todo ambientales, comenzaron a generar una nueva visión al respecto.
El presente trabajo desarrolla y resume el funcionamiento y evaluación de un sistema solar térmico, analizado mediante un banco de pruebas, utilizado para el calentamiento de agua sanitaria. El mismo, funciona mediante el aprovechamiento de una fuente de energía alternativa, como lo es la energía solar.
Se lograrán obtener parámetros del comportamiento de este en diferentes condiciones, como así también en diferentes épocas del año.

Palabras Clave: Gastó de energía; Funcionamiento; Sistema solar térmico; Energía alternativa.

Introducción

Actualmente, el gasto energético para calentar agua implica altos costos económicos y ambientales debido a métodos convencionales de generación de energía. Según (Almanza 2003), el sol proporciona a la Tierra cuatro mil veces más energías de la que consumimos, por lo que es vital aprovechar esta fuente gratuita, limpia e inagotable. Diversos laboratorios buscan tecnologías para usar eficientemente la energía solar (Arbane, 2013).
La matriz energética global se está desplazando hacia fuentes alternativas, apoyada por avances tecnológicos que mejoran la eficiencia. Los sistemas solares térmicos utilizan la energía solar para calentar agua, aplicable en usos domésticos, industriales y climatización.
En Argentina, los colectores solares están en desarrollo, con fabricantes nacionales que presentan limitaciones tecnológicas. Es crucial que como institución y jóvenes investigadores colaboremos con el sector privado para impulsar el desarrollo nacional.
El proyecto tiene como objetivo optimizar equipos de calentamiento solar de agua, proporcionando datos cuantitativos de rendimiento a través de un banco de ensayos, conforme a las normas IRAM 210004 (2016).
La evolución del mercado exige mejoras tecnológicas continuas. Proyectos como este serán fundamentales debido al agotamiento de fuentes de energía convencionales (Quadri, 2016), y es esencial que tomemos un papel activo en la preservación del medio ambiente.
Al finalizar, el trabajo permitirá predecir el rendimiento de los equipos en diversas condiciones meteorológicas y proyectar su desempeño futuro, siendo útil para el diseño y caracterización a largo plazo de instalaciones solares (Hernández et al., 2007).

Determinación del Rendimiento diario

Los ensayos y pruebas a los equipos solares se realizaron por medio de un banco de ensayos. El mismo consiste en una serie de sensores de temperatura y equipos necesarios para la realización de este, se detalla en la (Fig. 1) un diagrama esquemático del circuito hidráulico como también las referencias de cada símbolo.
Cabe aclarar que actualmente no se cuenta con el funcionamiento del piranómetro como así tampoco del anemómetro, por lo que dichos datos son obtenidos de una estación meteorológica aledaña a la UTN - Facultad Regional Santa Fe (FRSF). PWS Weather "estación General Paz", (2024).

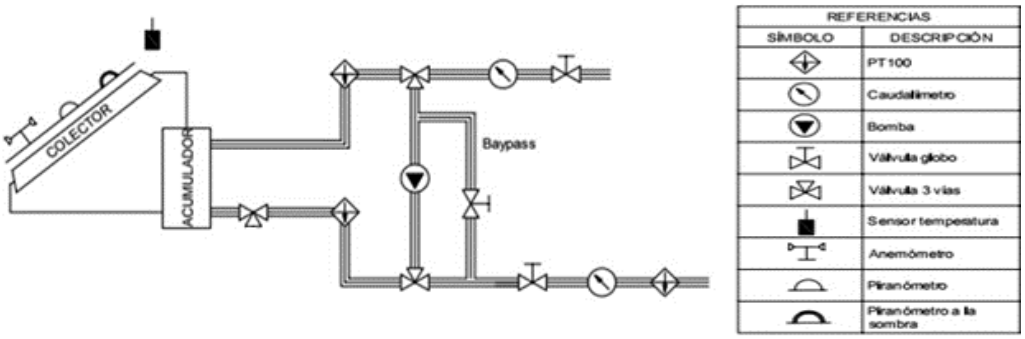


Fig. 1. Diagrama esquemático del banco de ensayos y símbolos.

Para la realización de los ensayos el banco presentado anteriormente utiliza un controlador lógico programable o más conocido como PLC, de la empresa Schneider Electric. Se utiliza el modelo TM221CE40R y se le anexa al mismo un módulo de entradas analógicas modelo Modicon TM3-M221.
De esta manera se logra una mayor confiabilidad en los resultados, lo que deriva en la disminución de errores de medición.
El colector solar es del tipo tubos de vacío marca KingShip, cuenta con 30 tubos y un tanque de almacenamiento de 300 litros. El mismo está instalado en el segundo piso de la UTN - FRSF con orientación norte e inclinación de 50°; el cual se utiliza para alimentar una sección de la UTN-FRSF, como así también un dispenser de agua caliente.
De una forma reducida y simple el procedimiento utilizado consiste en realizar mediciones de ciertos parámetros climáticos, como la temperatura ambiente, radiación solar y temperatura del agua de red para luego mediante la metodología existente en IRAM 210004 (2016) obtener los resultados de rendimiento diario y comportamiento del colector.
El periodo de ensayo dura aproximadamente 12 horas de corrido luego de obtener en el colector la temperatura t(main).

Resultados y discusiones

El análisis se centra en los resultados del ensayo correspondiente al rendimiento y la energía útil generada por el equipo.
Cabe aclarar que los valores como los resultados obtenidos no son valores absolutos sino una aproximación representativa del comportamiento del colector solar evaluado, (Fig. 2).

Fig. 2**.** Colector solar utilizado.

Rendimiento diario

El procedimiento en cuestión tiene como finalidad obtener un valor de rendimiento instantáneo del colector (η), es decir, se busca determinar un coeficiente que luego pueda ser utilizado para predecir el comportamiento de los equipos en diferentes condiciones ambientales. El mismo se obtiene mediante la (Ec. 1).

$$\eta = \eta_0 - a1(\frac{tm - ta}{tg}) \quad (1)$$

En la siguiente tabla se presentan las unidades de los distintos parámetros, con sus respectivas unidades (Tabla 1).

Tabla 1. Unidades utilizadas y coeficientes de cálculo.

Descripción	Unidades
Coeficiente de rendimiento óptico “η。”	0,55
Coeficiente de pérdidas térmicas de 1° grado “a1”	2,1(W/Km²)
Temperatura media del fluido caloportador “tm"	K
Temperatura de ambiente “ta”	K
Irradiancia solar “Ig”	W/m²

En la siguiente tabla se representan los valores obtenidos de los ensayos realizados hasta la fecha (Tabla 2).

Tabla 2. Valores obtenidos de cada ensayo para determinar la ecuación (1).

Fecha ensayo	12-06-23	22-08-23	25-08-23	25-03-24
Temperatura media del fluido caloportador “tm"	304,11	302,10	300,05	318,65
Temperatura de ambiente “ta”	292,15	292,15	291,15	304,15
Irradiancia solar (W/m²)	281,58	375,83	406,91	585,07

El valor de la irradiancia solar “Ig” que se muestra en la (Tabla 2). Hace referencia al promedio de la radiación solar en un día de ensayo, obteniendo las mediciones de PWS Weather “estación General Paz”, (2024) y haciendo un promedio de estas respecto a las doce horas que dura el ensayo según *IRAM 210004, (2016).*

Mediante la ecuación (1) y utilizando los datos plasmados en las (Tabla 1) y (Tabla 2) se calculan los rendimientos diarios para cada día de ensayo. Los mismos están plasmados en la (Tabla 3).

Tabla 3. Rendimiento del colector.

Rendimiento Ensayo 12/06/23	η=0,46
Rendimiento Ensayo 22/08/23	η=0,49
Rendimiento Ensayo 25/08/23	η=0,50
Rendimiento Ensayo 25/03/24	η=0,49

Producción del colector

La potencia útil extraída, se representa con la siguiente ecuación (Ec. 2).

$$\dot{Q} = \dot{m}\, cf\, \Delta T \quad (2)$$

Se presentan las unidades de los distintos parámetros, con su respectiva referencia (Tabla 4).

Tabla 4. Unidades utilizadas calculo potencia útil extraída.

Descripción	Unidades
Potencia útil extraída $\dot{Q}$	MJ/s
Caudal másico del fluido caloportador $\dot{m}$	Kg/s
Poder calorífico fluido caloportador *cf*	J/KgK
Delta de temperaturas ΔT (Salida/ingreso colector)	K

A continuación, se procede a calcular cada término de la ecuación (2).
El caudal másico del fluido caloportador, se representa con la siguiente ecuación (Ec. 3).

$$\dot{Q} = \frac{L\, \varphi}{s\, \varphi'} \quad (3)$$

En la siguiente tabla, se presentan las unidades de los distintos parámetros, con su respectiva referencia (Tabla 5).

Tabla 5. Unidades utilizadas cálculo caudal másico.

Descripción	Unidades
Litros de fluido caloportador “L”	L
Duración del ensayo “s”	s
Densidad del fluido caloportador a temperatura ambiente “φ”	Kg/m^3
Densidad del fluido caloportador a temperatura media “φ’”	Kg/m^3

Se representan los datos obtenidos de los ensayos realizados hasta la fecha (Tabla 6).

Tabla 6. Valores utilizados calculo caudal másico.

Fecha ensayo	12-06-23	22-08-23	25-08-23	25-03-24
Litros de fluido caloportador (L)	965	909	900	893
Duración del ensayo (s)	4200	5100	4260	4920
Densidad del fluido caloportador a temperatura ambiente “φ” (Kg/m^3)	1000	1000	1000	1000
Densidad del fluido caloportador a temperatura media “φ’” (Kg/m^3)	996	996	996	990

En la siguiente tabla se representan los datos obtenidos de los ensayos realizados hasta la fecha, (Tabla 7).

Tabla 7. Valores utilizados calculo potencia útil extraída.

Fecha ensayo	12-06-23	22-08-23	25-08-23	25-03-24
Caudal másico del fluido caloportador “ m ” (Kg/s)	0,22	0,18	0,21	0,18
Poder calorífico fluido caloportador “Cf” (J/KgK)	4178	4179	4179	4178
Delta de temperaturas “ΔT” (Salida/ingreso colector) (K)	23	19	17	32

Mediante la ecuación (3) y utilizando los datos plasmados en la (Tabla 7), calculamos la producción del colector para cada día de ensayo (Tabla 8).

Tabla 8. Resultados cálculo de potencia extraída.

Fecha ensayo	12-06-23	22-08-23	25-08-23	25-03-24
Potencia útil extraída "Q " (MJ/s)	0,022	0,014	0,015	0,024

Mediante la (Ec. 4) se calcula la irradiancia sobre el plano del colector.

$$Irradiancia\ en\ el\ plano\ del\ colector\ \left(\frac{MJ}{m^2}\right) = I = Ig * \Delta T \qquad (4)$$

En la (Tabla 10). se presentan las unidades de los distintos parámetros, con su respectiva referencia.

Tabla 10. Unidades utilizadas cálculo de irradiancia plano del colector.

Descripción	Unidades
Irradiancia solar “Ig”	(W/m²)
Delta de tiempo en las doce horas solares “ΔT”	s

Se representan los datos obtenidos de los ensayos realizados hasta la fecha (Tabla 11).

Tabla 11. Valores para cálculo de irradiancia en el plano del colector.

Fecha Ensayo	12-06-23	22-08-23	25-08-23	25-03-24
Irradiancia solar “Ig” (W/m²)	281,58	375,83	406,91	585,07
Delta de tiempo en las doce horas solares “ΔT” (s)	43200	43200	43200	43200

Mediante la ecuación (4) y utilizando los datos de la (Tabla 11). se obtiene la Irradiancia en el plano del colector (Tabla 12).

Tabla 12. Resultados cálculo de Irradiancia en el plano del colector.

Fecha ensayo	12-06-23	22-08-23	25-08-23	25-03-24
Irradiancia en el plano del colector (MJ/m²)	12,16	16,23	17,58	25,26

Conclusiones

En este informe detallamos el rendimiento de un equipo solar térmico de tubos de vacío, calculando parámetros clave según la norma IRAM 210004 (2016). La eficiencia del equipo depende de la inclinación, temperatura ambiente, radiación solar, velocidad del viento y caudal de circulación. Utilizando los datos de las (Tablas 1 y 2), calculamos los rendimientos del colector en la (Tabla 3), observando que el 12-06 el rendimiento disminuyó por la menor irradiancia solar.
La energía útil almacenada, determinada por la ecuación (2), refleja la cantidad de energía térmica generada para un valor específico de radiación solar. Aunque el 12-06 mostró una potencia extraída mayor (Tabla 8), esto se atribuye a la inercia térmica del depósito, ya que lógicamente debería ser menor, debido a la baja irradiancia solar.
Concluimos que el rendimiento de un equipo depende de varios factores y seguiremos analizando diferentes colectores solares para entender mejor su comportamiento ante cambios climáticos. El objetivo es mejorar técnicamente estos dispositivos y su instalación para maximizar su rendimiento y eficiencia.
Como jóvenes investigadores, estamos comprometidos con esta problemática, ya que la implementación de estos equipos en hogares puede reducir significativamente el uso de energías no renovables.

Agradecimientos

Agradecimiento al Grupo de Estudio Sobre Energía de UTN - FRSF por brindar un hogar de estudio y capacitación, y al equipo de trabajo por transmitir conocimientos y experiencias adquiridas. De manera especial agradecer al Ing. D´ Andrea Adrián y al Ing. Pacheco Gustavo, por el apoyo total en el desempeño diario de nuestras actividades.

Referencias

Almanza S., Muñoz F. (2003). Ingeniería de la energía solar (2ª edición). México.
Hernández, J., Willson, H., Ten, A., Duharte, G., Rodriguez, J. (2007). Métodos de ensayos del comportamiento térmico del colector solar integral "COMPACSOL". Revista tecnología química, Vol. XXVII, No.
IRAM 210002-1. (2016). Energía solar. Colectores solares térmicos. Parte 1 - Métodos de ensayo para determinar el rendimiento térmico de los colectores solares con cubierta para el calentamiento de líquidos.
IRAM 210004. (2016). Energía solar. Sistemas de calentamiento de agua sanitaria. Método de ensayo exterior para la caracterización y predicción del rendimiento anual de los sistemas solares. Parte 7.6 - 8.2 - 8.3.
Quadri, N. (2016). Energía solar (6ª edición). Editorial Alsina.
PWS Weather. (2024). Estación General Paz. Recuperado de https://www.pwsweather.com/station/pws/ESTGRALPAZ?timespan=day&date=2023-08-22.

APLICACIÓN DE PRUEBAS DE CONOCIMIENTO CERO (ZKP) EN INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA LA MEJORA DE LA SEGURIDAD Y PRIVACIDAD DE LOS DATOS

Francisco G. Borgogno, Felipe Cañas, Paolo E. Cetti, Maximo Lucero Ruiz, Santiago N. Quesada, Fernando Boiero

Facultad de Ingeniería, Universidad Católica de Córdoba,
Av. Armada Argentina 3555, Ciudad de Córdoba, Argentina
maximolr.itr@gmail.com

Resumen

Este proyecto aborda la implementación de Pruebas de Conocimiento Cero (ZKP) en sistemas de inteligencia artificial para mejorar la seguridad y privacidad en la autenticación de usuarios. El objetivo principal es utilizar la dinámica de tecleo (Keystroke Dynamics) para crear un modelo de autenticación biométrica que reconozca a los usuarios basándose en sus patrones únicos de escritura, sin necesidad de revelar información sensible.

Para lograr esto, se recopiló un conjunto de datos a través de un keylogger que capturó las pulsaciones de teclas, el tiempo de presión y el tiempo de vuelo entre teclas de los usuarios. Estos datos fueron utilizados para entrenar una red neuronal profunda (DNN) que aprendió a identificar los patrones de escritura de cada usuario. El modelo fue optimizado mediante un algoritmo de descenso de gradiente y se ajustaron los hiperparámetros para mejorar su precisión y capacidad de generalización.

Los resultados indican que el modelo desarrollado puede distinguir eficazmente entre usuarios con patrones de escritura claramente diferenciados, mostrando una alta precisión en estos casos. Sin embargo, se encontró que la similitud en los perfiles de escritura entre usuarios con características similares dificulta la diferenciación, lo que sugiere la necesidad de incrementar la diversidad en los datos de entrenamiento. En conclusión, la aplicación de ZKP combinada con Keystroke Dynamics ofrece un enfoque prometedor para mejorar la seguridad en la autenticación, aunque se requieren ajustes adicionales para maximizar su efectividad en escenarios con usuarios similares.

Palabras Clave: Pruebas de Conocimiento Cero, Inteligencia Artificial, Privacidad y Seguridad de los Datos, Autenticación Biométrica, Deep Learning.

Introducción

El objetivo de este proyecto es lograr utilizar el concepto de Zero Knowledge Proof (ZKP) en el campo de la contraseña mediante la creación y posterior validación de un nuevo dato biométrico del usuario obtenido a través de la forma de escribir del mismo. Esto se puede lograr partiendo de las bases teóricas de la noción de mecanografía conocida como Keystroke Dynamics, la cual nos brindará las primeras dimensiones a tener en cuenta para alimentar y entrenar a nuestro modelo de Inteligencia Artificial utilizando Deep Learning con el fin de conocer los patrones de escritura de cada usuario y así poder identificarlos.

La importancia del proyecto radica en su capacidad para ofrecer una alternativa más segura y conveniente a los métodos tradicionales de autenticación, abordando problemas comunes como el robo de contraseñas. Además, este enfoque puede mejorar la experiencia del usuario al eliminar la necesidad de recordar y gestionar múltiples contraseñas. Desde una perspectiva económica y tecnológica, esta implementación utiliza el hardware ya existente sin la necesidad de implementar sensores biométricos adicionales, lo que elimina los costos y facilita su adopción en diversas plataformas y dispositivos existentes.

Materiales y métodos

Para la creación del Training Dataset (Conjunto de datos de entrenamiento), dos de los integrantes tipearon un texto de alrededor de 1500 caracteres. La idea es que cada usuario tenga un modelo propio entrenado con sus datos de escritura; un modelo especializado en identificar a dicho usuario. Con esto se espera que el algoritmo pueda validar y otorgarle acceso al usuario tras haber ingresado una frase aleatoria luego de ingresar su nombre de usuario.

El tamaño del Dataset fue de 3000 caracteres, y se utilizó una Deep Neural Network (DNN).

Utilizamos un Keylogger para capturar la información del teclado al momento de la escritura, esto nos permitió identificar 3 dimensiones: *Pressed Key* (Tecla Presionada), *Hold Time* (Tiempo de Presión) y *Flight Time* (Tiempo de vuelo entre teclas). Estas dimensiones son determinantes al momento de generar el patrón de escritura del usuario que luego se utilizó para entrenar el modelo de Deep Learning, aprendiendo a reconocer las características individuales de la escritura de cada usuario.

El modelo se entrenó utilizando un algoritmo de Gradient Descent, también conocido como Backpropagation (retropropagación) con optimización mediante el optimizador Adam para evitar que el modelo se estanque en puntos de ensilladura con pendiente pequeña retrasando su velocidad de aprendizaje. La función de pérdida utilizada fue la entropía cruzada binaria, adecuada para problemas de clasificación binaria. Las métricas de evaluación incluyeron la precisión y el nivel de confianza del modelo, que fueron monitoreadas durante el entrenamiento para ajustar los Hyperparameters (parámetros que controla el entrenador) y mejorar el rendimiento.

Códigos de programas

El código a continuación muestra la implementación del motor neuronal, clase creada por nosotros, que define la estructura en capas de la red neuronal. Este motor se encarga de entrenar, evaluar y predecir la autenticidad de los usuarios basándose en sus patrones de escritura.

```
class NeuralEngine:
   def __init__(self):
       self.model = Sequential(
           [
               Input((3,)),
               Dense(128, activation=LeakyReLU(negative_slope=0.1)),
               Dense(64, activation=LeakyReLU(negative_slope=0.1)),
               Dense(32, activation=LeakyReLU(negative_slope=0.1)),
               Dense(16, activation=LeakyReLU(negative_slope=0.1)),
               Dense(8, activation=LeakyReLU(negative_slope=0.1)),
               Dense(4, activation=LeakyReLU(negative_slope=0.1)),
               Dense(2, activation=LeakyReLU(negative_slope=0.1)),
               Dense(1, activation="sigmoid"),
           ]
       )
       self.model.compile(
           optimizer="adam",
           loss="binary_crossentropy",
           metrics=["accuracy"],
       )
```

La arquitectura del modelo está compuesta por 9 capas: Input Layer, 7 Hidden Layers con activaciones LeakyReLU[1] con un α (pendiente negativa) de 0.1 y la Output Layer que utiliza Sigmoid[2] como función de activación, finalizando con una capa sigmoide para producir una salida binaria que indica si el usuario es auténtico o no.

$$LeakyReLU(x) = max(0, x) + \alpha \cdot min(0, x) \quad (1)$$

$$\sigma(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (2)$$

Resultados y discusiones

Inicialmente, los niveles de precisión y confianza del modelo fueron bajos, esto debido al entrelazamiento de los datos de entrenamiento como podemos ver en la Fig. 1. Sin embargo, estos niveles mejoraron significativamente a medida que fuimos ajustando los parámetros del modelo y aumentando la cantidad de datos de entrenamiento, alcanzando los niveles que se muestran en la Fig. 2. Durante las pruebas, encontramos que el modelo era efectivo pero no excelente para distinguir a los dos integrantes. Indagando en las dinámicas de escritura comprendimos que esto se debía a que ambos tienen perfiles muy similares, siendo ambos programadores y estudiantes de ingeniería de la misma edad; por lo que sus patrones de escritura son muy similares y complejos de distinguir para la red. No obstante, cuando las pruebas se realizaron con personas de perfiles más diversos observamos un entrelazamiento menor (Fig. 3), gracias a esto, el modelo logró mejores niveles de precisión como podemos observar en la Fig. 4.

A continuación, se presentarán los gráficos antes mencionados donde los colores de los puntos permiten identificar a las distintas personas que entrenaron el modelo.

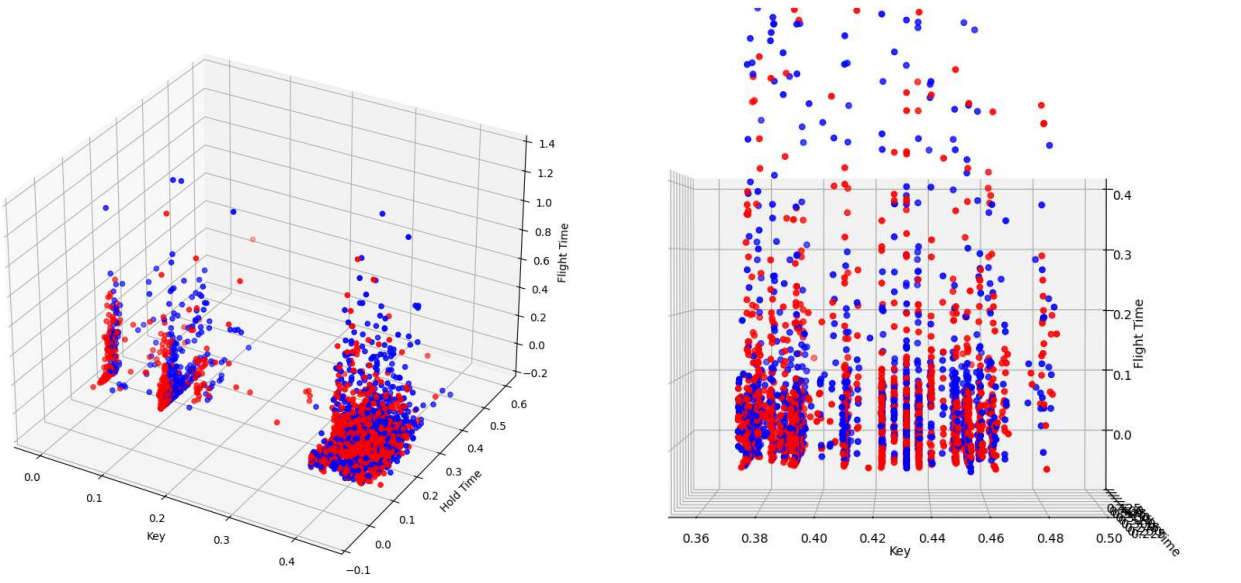


Fig. 1. Perspectiva isométrica y perpendicular del conjunto de datos - Perfiles similares

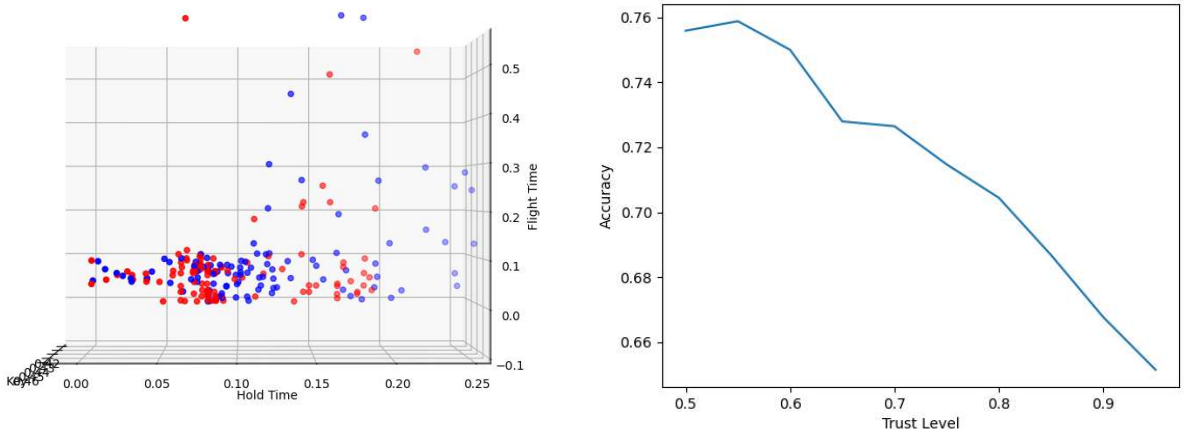


Fig. 2. Vista de valores de un único carácter y gráficos de resultados de predicción obtenidos - Perfiles similares.

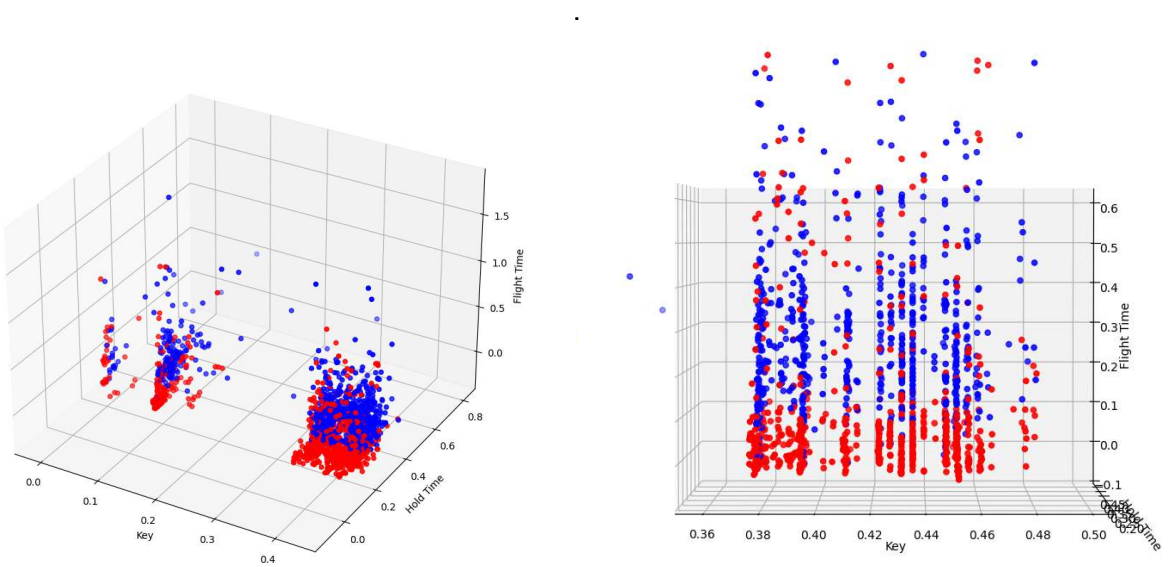


Fig. 3. Perspectiva isométrica y perpendicular del conjunto de datos - Perfiles diferentes.

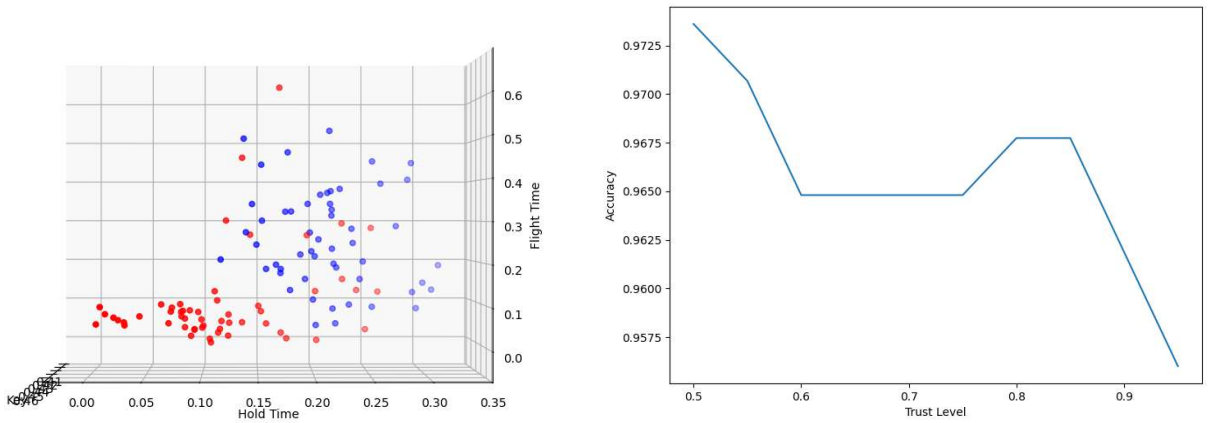


Fig. 4. Vista de valores de un único carácter y gráfico de resultados de predicción obtenidos - Perfiles diferentes.

El análisis de los resultados mostró que el modelo podía distinguir eficazmente entre los usuarios cuando sus perfiles de escritura eran significativamente diferentes. En cambio, en usuarios con perfiles similares, el modelo presentó dificultades para diferenciarlos correctamente, lo que reduce la efectividad del mismo. Esto sugiere que la diferenciabilidad en los datos de entrenamiento es crucial para mejorar el rendimiento del modelo en escenarios reales.

Además, se observó que la precisión del modelo aumentaba con el número de iteraciones de entrenamiento, probando la convergencia del problema e indicando que el modelo era capaz de aprender y generalizar mejor con más datos y entrenamiento prolongado.

Los ajustes en los Hyperparameters (hiper parámetros), como el Learning Rate (Tasa de aprendizaje) y el Batch Size (Tamaño del lote), también tuvieron un impacto significativo en el rendimiento del modelo.

Conclusiones

El modelo desarrollado para la identificación de usuarios mediante Keystroke Dynamics muestra una efectividad prometedora, especialmente cuando se aplica a usuarios con perfiles diversos. Sin embargo, la precisión actual del modelo, con las configuraciones empleadas, no es suficiente para sustituir por completo el uso de contraseñas tradicionales. La similitud en los patrones de tipeo de individuos con características similares puede afectar la precisión del modelo, lo que destaca la importancia de considerar una mayor variabilidad en los datos de entrenamiento.

Asimismo, estamos seguros de que para alcanzar una precisión adecuada y cumplir con el objetivo planteado inicialmente, es necesario aumentar la dimensionalidad del problema. Esto implica buscar nuevas direcciones de diferenciación que hagan que el conjunto de datos sea más diferenciable, habiendo diferencias destacables entre los datos relevados de distintos usuarios. Además, es importante continuar investigando técnicas de preprocesamiento y normalización de datos que puedan ayudar a resaltar las diferencias individuales en los patrones de escritura.

Estos hallazgos indican el potencial del uso de Deep Learning en la autenticación basada en Keystroke Dynamics y sugieren áreas para futuras investigaciones y mejoras.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a su tutor, Fernando Boiero, por incentivarlos a realizar esta investigación y por sus valiosos consejos, recomendaciones y su continuo apoyo.

Glosario

Zero Knowledge Proof: Método criptográfico en el cual una parte (el probador) puede demostrar a otra parte (el verificador) que sabe un valor determinado sin revelar ninguna información adicional sobre ese valor.
Biométrico: Relativo a las técnicas de identificación de individuos basadas en características físicas y comportamentales únicas.
Keystroke Dynamics: Técnica de autenticación que analiza los patrones de escritura y pulsaciones de teclas de un usuario para verificar su identidad.
Inteligencia Artificial: Campo de la informática que se enfoca en la creación de sistemas capaces de realizar tareas que normalmente requieren inteligencia humana.
Deep Learning: Subcampo del machine learning que utiliza redes neuronales artificiales con muchas capas (deep neural networks) para modelar y analizar patrones complejos en datos grandes.
Hardware: Componentes físicos que conforman una computadora o un sistema informático.
Entrenamiento (Machine learning): Proceso mediante el cual un modelo de machine learning aprende a realizar una tarea específica a partir de datos de entrenamiento, ajustando sus parámetros internos para mejorar su rendimiento.

Deep Neural Network (DNN): Tipo de red neuronal artificial con múltiples capas ocultas entre la capa de entrada y la capa de salida, utilizada para modelar relaciones complejas en los datos.
Keylogger: Software o dispositivo que registra las pulsaciones de teclas en un teclado.
Gradient Descent (Backpropagation): Algoritmo de optimización utilizado para ajustar los pesos de una red neuronal durante el entrenamiento, minimizando el error al actualizar los pesos en función de la gradiente del error con respecto a cada peso.
Puntos de Ensilladura: Puntos en el espacio de parámetros de una red neuronal donde la gradiente es cero, pero que no son mínimos locales ni globales, dificultando la convergencia durante el entrenamiento.
Velocidad de Aprendizaje (Learning Rate): Parámetro que controla el tamaño de los pasos que toma el algoritmo de optimización al ajustar los pesos de una red neuronal durante el entrenamiento.
Entropía Cruzada Binaria: Función de pérdida utilizada para evaluar la calidad de las predicciones de un modelo en problemas de clasificación binaria, comparando las probabilidades predichas con las etiquetas verdaderas.
Input Layer: Primera capa de una red neuronal que recibe las características de entrada y las pasa a las capas ocultas para su procesamiento.
Hidden Layer: Capa de una red neuronal que se encuentra entre la capa de entrada y la capa de salida, donde se realizan cálculos intermedios para modelar las relaciones complejas en los datos.
LeakyReLU: Variante de la función de activación ReLU (Rectified Linear Unit) que permite un pequeño gradiente cuando la entrada es negativa, ayudando a mitigar el problema de los "neuronal death".
Output Layer: Última capa de una red neuronal que produce las predicciones finales o las salidas del modelo.
Sigmoid: Función de activación utilizada en redes neuronales que transforma la entrada en un valor entre 0 y 1, útil para problemas de clasificación binaria.
Efectividad (Accuracy): Métrica que mide la proporción de predicciones correctas realizadas por un modelo en comparación con el total de predicciones realizadas.
Nivel de Confianza (Trust Level): Medida de la certeza con la que un modelo de machine learning hace sus predicciones, a menudo expresada como una probabilidad.
Hyperparameters: Parámetros configurables de un modelo de machine learning que no se aprenden directamente de los datos, como la tasa de aprendizaje, el tamaño del batch y el número de capas ocultas.
Batch Size: Número de muestras de entrenamiento utilizadas para actualizar los pesos del modelo en cada iteración del algoritmo de optimización.

Referencias

Abhijeet. (s.f.). *User Verification based on Keystroke Dynamics*. Recuperado de https://github.com/abhijeet3922/User-Verification-based-on-Keystroke-Dynamics
CMU. (s.f.). *Keystroke*. Recuperado de http://www.cs.cmu.edu/~keystroke/
Janakiev, N. (s.f.). *Keystroke Biometrics*. Recuperado de https://github.com/njanakiev/keystroke-biometrics/blob/master/keystroke-biometrics.ipynb
KeyStroke-Dynamics. Recuperado de https://github.com/rakshithca/KeyStroke-Dynamics

OPTIMIZACIÓN DE TÉCNICAS DE PREPARACIÓN METALOGRÁFICA PARA TITANIO COMERCIALMENTE PURO.

Mariela E. Melia[1], Oriana L. Correa[1], Elena Brandaleze[1]

[1]Línea de Tecnología de los procesos, Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Facultad Regional San Nicolás, Universidad Tecnológica Nacional, San Nicolás de los Arroyos (2900)
ocorrea@frsn.utn.edu.ar

Resumen

El titanio comercialmente puro o Ti grado 2 (G2), presenta desafíos significativos en cuanto a la preparación de muestras metalográficas debido a la elevada ductilidad del metal y la tendencia a la formación de fases indeseables que se presentan como consecuencia de las deformaciones superficiales, provocadas durante el proceso de pulido mecánico. Es relevante mencionar que las técnicas de microscopía óptica y electrónica de barrido avanzadas requieren una alta calidad superficial para lograr información de alta precisión. Este hecho motiva a llevar a cabo un estudio para desarrollar una metodología de preparación de muestras metalográficas de Ti (G2), que evite el daño superficial durante la preparación de la muestra.
El trabajo contempla un estudio comparativo a través de la aplicación de diversas técnicas de preparación de muestras metalográficas: a) una metodología tradicional (embutido, desbaste, pulido y ataque metalográfico habitual), b) embutido, desbaste semiautomático y pulido químico y c) pulido y ataque químico. La observación de las muestras se lleva a cabo mediante técnicas de microscopía óptica, utilizando luz blanca y polarizada.
Es importante destacar que las fases indeseables se identificaron en estudios previos de la línea de investigación aplicando microscopía óptica y se corroboraron mediante la técnica de *Electron Backscatter Diffraction* (EBSD). Dichas fases afectan las respuestas mecánicas del material a nivel superficial lo cual es crítico en los procesos de ultra alta deformación.
Los resultados obtenidos mediante el trabajo comparativo realizado indican que el pulido y ataque químico del Ti (G2), es mejor dado que permite lograr mayor nitidez en la observación de la microestructura y evita la degradación de las propiedades mecánicas superficiales del material. A partir de este estudio se pudo establecer un protocolo de preparación de muestras del Ti G2 a ser utilizado en futuras investigaciones.

Palabras Clave: Titanio comercialmente puro, Preparación de muestras, Técnicas de microscopía.

Introducción

El titanio y sus aleaciones se emplean en diversos campos de aplicaciones, entre ellas la ingeniería biomédica y la aeroespacial. En la industria aeroespacial, se utilizan para componentes del tren de aterrizaje de aviones, tuberías hidráulicas, discos de compresor y palas de ventilador, entre otros usos. En depósitos de almacenamiento, se utiliza para componentes de agitadores, bombas, válvulas, mezcladores. También en intercambiadores de calor, por ejemplo: centrales eléctricas de turbinas de vapor, refinerías, entre otras aplicaciones.
En particular, la aleación de titanio comercialmente puro (Ti cp) se utiliza en aplicaciones donde se requiere resistencia mecánica moderada, combinada con alta resistencia a la corrosión, buena conformabilidad y soldabilidad. Se destacan en ingeniería biomédica las placas óseas, tornillos y clavos para fracturas, válvulas del corazón, silla de ruedas, cables, sondas.
En la industria arquitectónica, se emplea titanio para material para techos, revestimientos de madera y columnas, para esculturas, placas y monumentos además de fachadas.

A partir de las aplicaciones mencionadas, es evidente el requerimiento de técnicas de evaluación metalográficas confiables que permitan evaluar el material. Un estudio de caracterización de productos de Ti requiere partir del conocimiento de la estructura para correlacionar con las propiedades mecánicas, térmicas y otras que puedan ser de interés particular.

El titanio y sus aleaciones son más difíciles de preparar para el examen metalográfico que los aceros. Tienen tasas de esmerilado y pulido mucho más bajas. La macla por deformación puede inducirse en aleaciones α mediante procedimientos de corte y rectificado demasiado agresivos. Es más seguro montar muestras de Ti cp en resinas moldeables ("frías") en lugar de utilizar un montaje por compresión en caliente debido a la posibilidad de alterar el contenido de hidruro y la morfología. La eliminación de manchas y rayones durante la preparación puede resultar bastante difícil, especialmente para el Ti puro [1].
Se debe considerar que tanto para fines de investigación como de diseño y desarrollo de materiales asociados al Ti y sus aleaciones resulta fundamental abordar la caracterización estructural del mismo con el objetivo de establecer las fases presentes en la estructura entre otras características específicas que puedan explicar comportamientos físicos y mecánicos del material. En este sentido es necesario contar con protocolos de preparación de muestras metalográficas y ataques adecuados que faciliten la observación e interpretación de los resultados obtenidos mediante diferentes técnicas de microscopía. No obstante, estos metales no resultan simples de preparar por su alta ductilidad y susceptibilidad a la formación de fases o artefactos como consecuencia de los procesos de deformación ocasionados por el pulido.

En todo estudio metalográfico tradicional, se requiere realizar etapas de corte o dimensionamiento de las muestras, operaciones de embutido en diferentes tipos de resinas epoxi o poliméricas, para luego proceder al pulido de la superficie de observación. Para llevar a cabo el estudio estructural de un metal en este caso Ti y sus aleaciones, existen dificultades con la preparación tradicional de una muestra [2].
Las operaciones de corte en las aleaciones de Ti, pueden generar recalentamiento por fricción si no se halla bien lubricado y además puede generar rebabas. Muchos investigadores utilizan discos de corte específicos para Ti. Además, las operaciones de pulido pueden generar deformaciones no deseadas, por lo que se pueden emplear técnicas de preparación de muestras alternativas, como pulido químico o electrolítico [3].
También pueden realizarse acciones combinadas de pulido mecánico y químico. En este caso la superficie resulta libre de daño, siempre y cuando se haga de manera controlada para no generar *pittings* de corrosión.

En esta investigación uno de los objetivos principales se centra en optimizar las técnicas de preparación y revelado de estructuras de Ti (α) cp.

Materiales y métodos
Se trabajó con una aleación Ti cp Grado 2 presentada en una barra laminada en frío con un diámetro de 19,42 mm. Se cortan muestras transversales mediante una cortadora Leco VC-50 y un disco de diamante (Figura 1). Se utilizó una velocidad de corte de 150 rpm.
Se obtuvieron 3 especímenes que se destinaron a distintos tipos de preparación de muestras:
Método A: embutido, desbaste, pulido y ataque metalográfico tradicional.
Método B: embutido, desbaste semiautomático y pulido químico.
Método C: pulido y ataque químico.

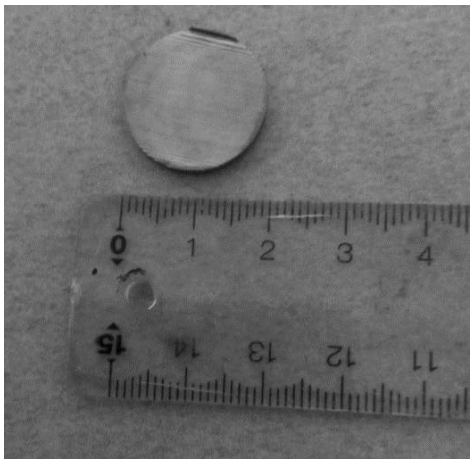


Figura 1- Muestra obtenida a partir de cortar una barra de Ti cp.

Para el método A) el embutido se realizó con resina fenólica en una embutidora ArgenTest INCMP5AT, a una temperatura de 150ºC. En el desbaste se utilizaron lijas al agua de SiC de las siguientes granulometrías: 400, 600, 1000 y 1200. El pulido se efectuó con paños microcloth con pasta de diamante de 6 µm, 3 µm y 1 µm. Ambos procedimientos se llevaron a cabo de forma manual con pulidoras mecánicas. Para revelar la estructura metalográfica se empleó el reactivo Kroll, compuesto por 90 ml agua desmineralizada, 8 ml de ácido nítrico pro-análisis y 2 ml de ácido fluorhídrico pro-análisis. Se realizó un doble ataque a temperatura ambiente, primero de 20 segundos, luego se realizó un enjuague con agua y alcohol. A continuación, se ejecutó un nuevo ataque por 10 segundos más y, finalmente, se lavó con agua y alcohol nuevamente.

Para el método B) el embutido se realizó de la misma manera que el método A). Sin embargo, el desbaste se llevó a cabo en una pulidora semiautomática Struers, con papeles de SiC de granulometría 400, 600, 800, 1000, 1200 y 1500. El pulido químico se efectuó con un reactivo compuesto por 2 ml de ácido fluorhídrico pro-análisis, 5 ml de ácido nítrico pro-análisis y 43 ml de agua desmineralizada. A temperatura ambiente y en un recipiente plástico se sumergió a la muestra durante 10 minutos, luego se enjuagó con agua y alcohol para el análisis microscópico.

Para el método C) se partió de la muestra cortada, a la cual se la sometió directamente a un pulido químico en el mismo reactivo empleado en el caso B). Primero se sumergió en dicha preparación durante 10 minutos a temperatura ambiente, luego se lavó con agua y alcohol. Se repitió el proceso durante dos etapas de 5 minutos cada una.

Para el análisis de todas las microestructuras se utilizó un microscopio Olympus GX51.

Resultados y Discusiones

Micrografías obtenidas a partir del método A).

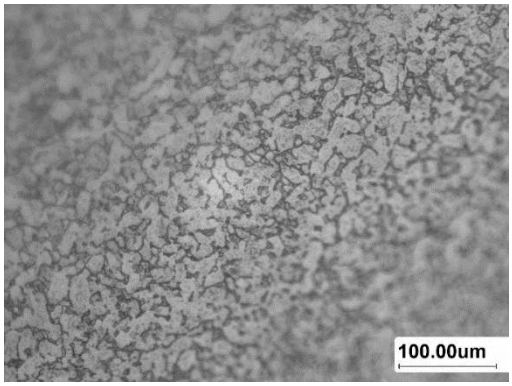


Figura 2 Ti cp, Método A- primer ataque.

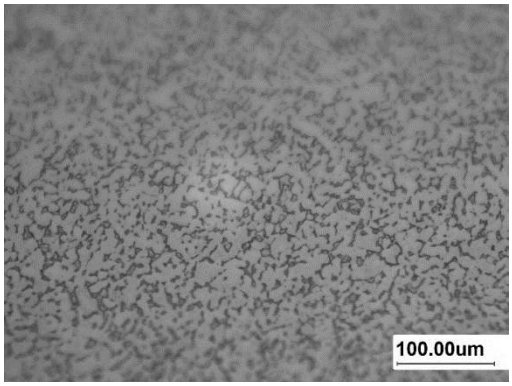


Figura 3- Ti cp, Método A- segundo ataque.

Micrografías obtenidas a partir del método B).

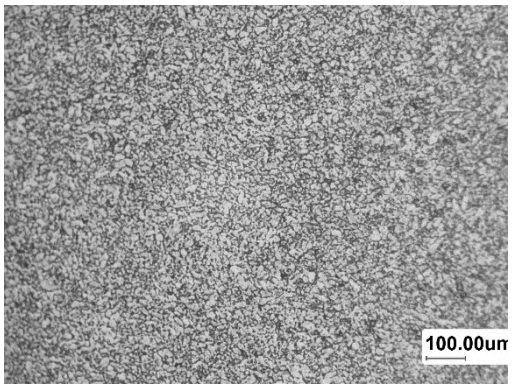


Figura 4- Ti cp, Método B.

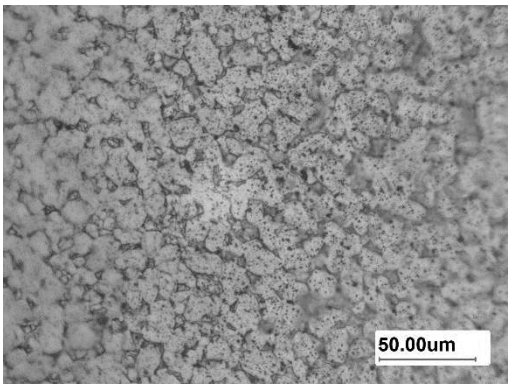


Figura 5-Ti cp, Método B.

Micrografías obtenidas a partir del método C).

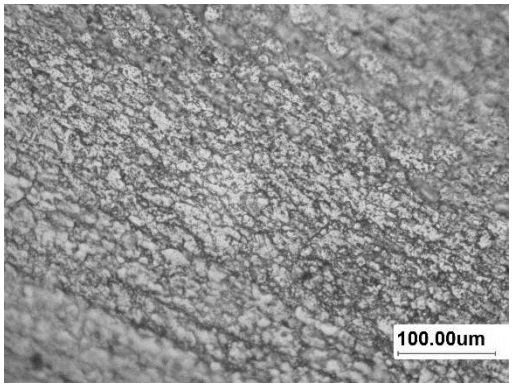


Figura 6-a) Ti cp, Método C- primer ataque

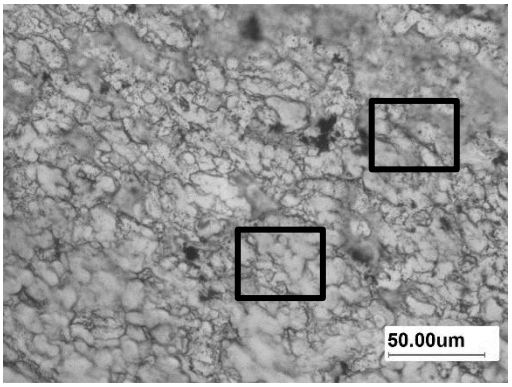


Figura 6-b) Ti cp, Método C- primer ataque

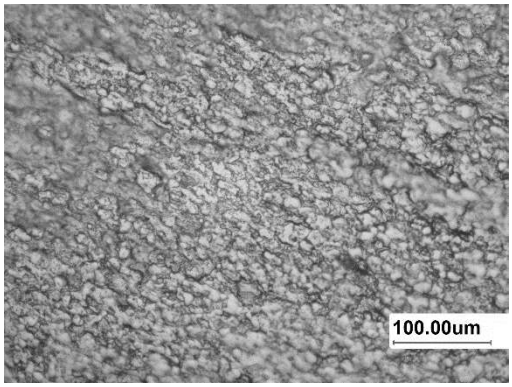


Figura 7- Ti cp, Método C- segundo ataque

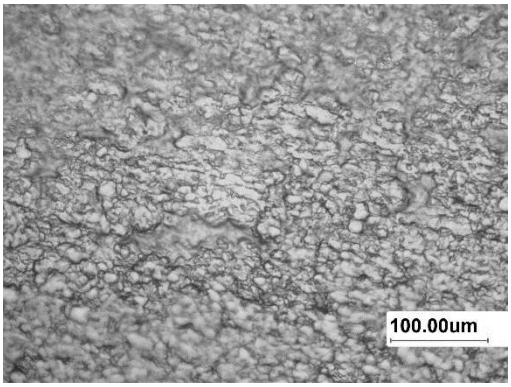


Figura 8- Ti cp, Método C- tercer ataque

Tal como se observan en las micrografías expuestas, en los tres casos el titanio comercialmente puro exhibe una estructura monofásica α (HCP), caracterizada por granos equiaxiados y homogéneos, los cuales pudieron ser visualizados con claridad mediante diversos aumentos empleados en la microscopía óptica.
En el método B se incorporó el uso de un papel abrasivo de granulometría 1500 como un paso adicional en la etapa de desbaste, con el fin de prescindir del pulido final con pasta de diamante. Se optó por esta modificación para simplificar el proceso y asegurar una superficie libre de artefactos.
Si bien otros autores [1] recomiendan no realizar pulido mecánico debido a que podrían inducirse deformaciones y alterar la estructura que se quiere revelar, en esta investigación se ha evidenciado

que el proceso B, que consiste en la combinación de desbaste mecánico semiautomático y pulido, químico arrojó resultados superiores de nitidez en comparación con el método C de pulido químico (figura 5), respaldando los hallazgos aportados en [4].
En la figura 6 a) y b) se presenta la micrografía de la muestra pulida y atacada químicamente. Se pueden apreciar áreas de mayor oscuridad, tal como se señala en la figura 6-b), que no concuerdan con las características del material, sugiriendo la posibilidad de que se haya desarrollado una nueva fase como resultado de una deformación inducida mediante el procedimiento de corte, como lo mencionan otros investigadores [4d]. Estas heterogeneidades se pueden corroborar con la técnica de *Electron Backscatter Diffraction* (EBSD) [5].

A pesar de la conocida corrosividad y peligrosidad asociada con la combinación de ácido fluorhídrico y ácido nítrico, como lo han señalado otros autores en [3], en este estudio se ha optado por su utilización de manera meticulosa y controlada. Los resultados obtenidos han sido altamente satisfactorios, coincidiendo con las observaciones previas sobre la rapidez de acción de estos reactivos, tal como se describe en la literatura sobre la preparación metalográfica de titanio [3]. La aplicación de esta técnica ha permitido revelar la microestructura con una excepcional claridad, superando notablemente en eficacia a los demás métodos evaluados en este trabajo. Este descubrimiento no solo respalda la viabilidad de emplear esta combinación de ácidos bajo condiciones controladas, sino que también resalta su superioridad en términos de la calidad y nitidez de los resultados obtenidos en la caracterización microestructural del material investigado.

En la tabla 1 se sintetizan los pasos involucrados en cada uno de los procesos de preparación de muestras para la observación por microscopia óptica.

Tabla 1. Resumen de pasos de preparación de muestras.

	Procesos de preparación de muestras		
Pasos	**A**	**B**	**C**
Corte	X	X	X
Embutido	X	X	
Desbaste	X	X	
Pulido mecánico (pasta de diamante)	X		
Pulido químico (sumergido en ácidos)		X	X
Ataque químico	X		

El análisis comparativo de los métodos de preparación de muestras revela que el método A requiere la mayor cantidad de pasos e insumos entre los tres métodos evaluados. Por su parte, el método B optimiza costos al eliminar la necesidad de utilizar pasta de diamante para el pulido. Sin embargo, el método C se destaca por su eficiencia, al reducir significativamente tanto el número de pasos como los insumos, lo que resulta en una disminución considerable de los costos asociados. A pesar de esto, el método B demostró ser la mejor solución de compromiso, ya que proporciona una calidad micrográfica superior en comparación con el método C, sin incurrir en los costos adicionales asociados al pulido mecánico final con pasta de diamante.

Conclusiones

El presente trabajo de investigación ha demostrado ser beneficioso en la mejora y optimización de las técnicas de preparación de muestras. Los hallazgos han dado lugar a una innovadora alternativa, notablemente más económica que las metodologías convencionales previamente establecidas. Estos descubrimientos no solo representan un avance significativo en el campo, sino que también ofrecen una solución práctica y rentable para los desafíos inherentes a la preparación de muestras. En este sentido, se presenta una excelente oportunidad para adoptar una estrategia más eficiente

y económicamente viable en el procesamiento de muestras, lo que sin duda contribuirá a la mejora sustancial de diversos campos de investigación y aplicación práctica.
Se ha logrado el desarrollo exitoso de un procedimiento integral de preparación de muestras y ataque metalográfico específicamente diseñado para el titanio grado 2, cumpliendo en su totalidad con los objetivos establecidos. La meticulosa aplicación de diversas técnicas de preparación y observación de especímenes ha conducido a la exitosa identificación de la principal fase presente en el material objeto de estudio.
Si bien los resultados obtenidos mediante el método A son satisfactorios, el método B también ha demostrado ser una alternativa válida y altamente atractiva. Este último simplifica el proceso de preparación de muestras al eliminar el uso de pulido final con pasta de diamante, sin comprometer la calidad de los resultados micrográficos obtenidos. Además, el método B permite lograr una mayor nitidez en la observación de la microestructura del Ti G2, lo que lo convierte en una opción eficiente. Por otro lado, al reducir tanto el número de pasos como los insumos necesarios, el método B presenta una disminución considerable de los costos y la complejidad del procedimiento, lo que lo posiciona como una alternativa rentable para su implementación en futuras investigaciones y aplicaciones industriales.

Trabajos futuros

Sería altamente favorable fortalecer esta investigación mediante la realización de un conjunto más amplio de ensayos complementarios. Esta medida permitiría no solo corroborar los resultados obtenidos hasta el momento, sino también explorar posibles aspectos adicionales y validar de manera más sólida las conclusiones alcanzadas. Dicha ampliación en el alcance de los ensayos no solo contribuiría a robustecer la base de evidencia de este estudio, sino que también abriría la puerta a nuevas perspectivas y descubrimientos que podrían enriquecer significativamente el entendimiento en el campo abordado.

Bibliografía y Referencias

[1] Vander Voort, Web Seminars Series, Buehler, “Metallographic Preparation of Titanium and its Alloys”, 2021.
[2] Metallography and Microstructures, ASM Handbook, Vol. 9 (1985).
[3] Struers. (n.d.). Preparação metalográfica de titânio. Recuperado de https://publications.struers.com/brochures/spanish/application-notes/titanium/?_ga=2.117111364.311355533.1671203597-228233023.1671203597
[4] Randy Markle, Chemcut, “Etching Titanium with HF and Nitric Acid Solutions Part 1”.
[5] Melia, M. Tartalini, V. Avalos, M. Brandaleze, E. Análisis de la formación atípica de fase cúbica centrada en las caras en aleaciones de titanio comercialmente puro tratadas termicamente. 20º congreso internacional de materiales-SAM CONAMET. 2022. Recuperado de http://intema.gob.ar/sam2022/assets/files/libro_de_resumenes_2022.pdf

DESARROLLO DE UN DISPOSITIVO MEDIDOR DE HUMEDAD EN MEZCLAS PARA LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA (BTC)

Renato A. Pilatti[1], Santiago P. Cabrera[2].

[1] Grupo de Investigación y Desarrollo en Técnicas de Construcción con Tierra -TIERRA FIRME
Facultad Regional Santa Fe, Universidad Tecnológica Nacional, 3000
renatoadolfopilatti@gmail.com

[1] Grupo de Investigación y Desarrollo en Técnicas de Construcción con Tierra -TIERRA FIRME
Facultad Regional Santa Fe, Universidad Tecnológica Nacional, 3000
spcabrera@outlook.com

Resumen

Para garantizar la calidad de los Bloques de Tierra Comprimida (BTC) es de fundamental importancia que la humedad de la mezcla sea la adecuada, ya que esto garantiza la óptima compresión del bloque y previene fallas como la aparición de fisuras, el faltante de material que se adhiere al molde de la prensa por exceso de humedad y variaciones dimensionales, entre otras. Dadas las características higroscópicas de los materiales constitutivos de los BTC (principalmente tierra y arena) y las condiciones de acopio de estos, su contenido de humedad varia día a día, lo cual imposibilita incorporar una cantidad fija de agua para una misma dosificación. De esta manera, para alcanzar la humedad óptima de prensado, la cantidad de agua a incorporar es variable en función de las condiciones ambientales y la humedad retenida por la materia prima.

Desde el Grupo de Investigación y Desarrollo en Técnicas de Construcción con Tierra de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe (UTN FRSF), se diseñó y fabricó un dispositivo versátil que, a partir de la conductividad eléctrica de la mezcla, indique instantáneamente su humedad. Dado que la curva que correlaciona la conductividad eléctrica de una mezcla con su contenido de humedad varía en función de los materiales utilizados, una premisa fundamental de diseño fue que este dispositivo sea fácilmente programable. El objetivo de este trabajo consiste en detallar el proceso de calibración utilizado para ajustar la precisión de las mediciones realizadas por el dispositivo fabricado.

Palabras Clave: Medidor de Humedad, BTC, Producción Industrial.

Introducción

Para garantizar la calidad de los Bloques de Tierra Comprimida (BTC) es de fundamental importancia que la humedad de la mezcla sea la adecuada, ya que esto garantiza la óptima compresión del bloque y previene fallas como la aparición de fisuras, el faltante de material que se adhiere al molde de la prensa por exceso de humedad y variaciones dimensionales, entre otras. Dadas las características higroscópicas de los materiales constitutivos de los BTC (principalmente tierra y arena) y las condiciones de acopio de estos, su contenido de humedad varia día a día, lo cual imposibilita incorporar una cantidad fija de agua para una misma dosificación. De esta manera, para alcanzar la humedad optima de prensado, la cantidad de agua a incorporar es variable en función de las condiciones ambientales y la humedad retenida por la materia prima.

La incorporación de cantidades de agua diferentes a la óptima (la cual se encuentra entre 9 y 11% del peso seco de los materiales) posee un alto impacto en la calidad final de los bloques. Un exceso de agua incrementa la porosidad final de los bloques y disminuye su densidad seca y, consecuentemente, su resistencia y durabilidad. Además, en producciones industriales, dificulta la remoción de los BTC de la prensa luego de producirse, ya que estos se adhieren a la matriz de la prensa, generándose en algunos casos roturas. Por el contrario, la incorporación de cantidades de agua menores a la óptima impide efectuar una correcta compresión del bloque durante la etapa de prensado, produciéndose BTC de mayor altura y menor densidad seca. Los inconvenientes

mencionados se generan aún con variaciones mínimas de humedad, del orden del 2%. Por este motivo, determinar de manera precisa la humedad de las mezclas durante la etapa de fabricación de los BTC es de vital importancia para garantizar la calidad de los bloques producidos.

Finalmente, debe destacarse que, dadas las características higroscópicas de los materiales constitutivos de los BTC (principalmente tierra y arena) y las condiciones de acopio de estos en contextos industriales (en almacenes bajo techo, pero expuestos a la humedad del ambiente), su contenido de humedad varia día a día, lo cual imposibilita incorporar una cantidad fija de agua para una misma dosificación. De esta manera, para alcanzar la humedad optima de prensado, la cantidad de agua a incorporar es variable en función de las condiciones ambientales y la humedad retenida por la materia prima. En este contexto, la posibilidad de medir directamente la humedad de la mezcla presenta una ventaja adicional: no es preciso determinar la humedad de la materia prima antes de incorporarla en la mezcladora, ni calcular (en función de la humedad de cada materia prima), la cantidad de agua a incorporar. Simplemente se adiciona agua de manera controlada durante el mezclado hasta alcanzar la humedad óptima indicada por el medidor de humedad.

Actualmente en Argentina, los fabricantes de BTC miden la humedad de la mezcla de manera organoléptica, comprimiendo la mezcla con la mano y evaluando su compresibilidad. Este método, a pesar de ser efectivo, posee una baja sensibilidad y depende del criterio del operario de turno. Por este motivo, la utilización de un dispositivo medidor de humedad permitiría eliminar una variable de incertidumbre en una de las etapas crítica del proceso de fabricación de BTC, como lo es la incorporación del agua de mezclado.

Por los motivos mencionados, desde el Grupo de Investigación y Desarrollo en Técnicas de Construcción con Tierra de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe (UTN FRSF), se diseñó y fabricó un dispositivo versátil que, a partir de la conductividad eléctrica de la mezcla, indique instantáneamente su humedad. Dado que la curva que correlaciona la conductividad eléctrica de una mezcla con su contenido de humedad varía en función de los materiales utilizados, una premisa fundamental de diseño fue que este dispositivo sea fácilmente programable. El objetivo de este trabajo consiste en detallar el proceso de calibración utilizado para ajustar la precisión de las mediciones realizadas por el dispositivo fabricado.

Materiales y métodos

Para realizar la calibración del dispositivo medidor de humedad se confeccionó una mezcla de suelo limo arcilloso (CL ML) y arena proveniente del Río Paraná, comúnmente empleada en la fabricación BTC. El agua de amasado utilizada proviene del sistema de agua potable de la ciudad de Santa Fe, extraída del Río Colastiné.

La metodología empleada para calibrar el dispositivo medidor de humedad implicó la conformación de mezclas con diferentes contenidos de agua, sobre las cuales se realizaron mediciones de humedad directas e indirectas. Se define como medición directa a la determinación del contenido de humedad *H* mediante el método de secado de muestra en estufa a 105 ºC. Para ello, se tomó una muestra de unos pocos gramos de la mezcla cuya humedad se quiere conocer, y mediante la utilización de una balanza electrónica con una apreciación de 0,01 g, se determinó el peso húmedo (*Ph)* y el peso seco (*Ps)* de la misma luego de permanecer 24 hs en estufa, Finalmente, la determinación de la humedad *H* se efectuó empleando la (Ec. 1).

$$\mathrm{H}(\%) = \frac{(Ph - Ps)(g)}{Ps\ (g)} . 100(\%) \quad (1)$$

Por el contrario, se define como medición indirecta a los valores analógicos obtenidos con el medidor de humedad que se pretende calibrar, el cual determina la conductividad eléctrica del material (mezcla para la fabricación de BTC) y devuelve números naturales comprendidos entre 0

y 1023, siendo el valor 1023 el correspondiente con un material completamente seco, no conductor. De esta manera, un menor valor en la lectura indica que hay menos oposición al paso de la corriente, por ende un mayor contenido de agua. Sin embargo, para facilitar la lectura, el dispositivo se programó de manera tal de “convertir” los valores numéricos de conductividad eléctrica en % de humedad, de manera tal de leer directamente sobre la pantalla el valor deseado, siendo precisamente el objetivo de este trabajo detallar el proceso de calibración empleado para convertir los valores de conductividad en valores de humedad.

En la Figura 1 se muestra la secuencia de uso del dispositivo medidor de humedad: primeramente, se coloca la muestra cuya humedad se quiere determinar dentro del recipiente porta muestras, llenándolo al ras sin compactar (Fig. 1 a), luego se introducen las sondas del dispositivo medidor dentro del porta muestras tapado (Fig. 1 b) y, una vez introducidas se presiona el pulsador para dar comienzo a la medición de la conductividad eléctrica de la muestra. Transcurrido el tiempo de lectura, de aproximadamente de 7 segundos (Fig. 1 c), se muestra en pantalla el resultado “Humedad: xx %”.

Fig. 1 a.

Fig. 1 b.

Fig. 1 c.

Fig. 1 d.

Fig. 1 a. Extracción de muestra, 1 b. Colocación de zondas, 1 c. Medición y 1.d Impresión de la lectura de la humedad de mezcla en porcentaje. (Equipo ya calibrado, por eso indica los % de humedad y no los valores naturales).

En síntesis, para calibrar el dispositivo se produjeron muestras con niveles de humedad crecientes y se realizó sobre cada una de ellas una determinación directa de humedad (por secado en estufa) y otra indirecta, con el dispositivo fabricado. A continuación, se grafican los resultados de ambas determinaciones en un sistema de ejes cartesianos, se construye una curva de calibración y se estudia cual es el tipo de función que mejor la ajusta y cual es la fragmentación de datos más adecuadas para la calibración en el rango de humedades deseado. Finalmente se edita el programa de medición del dispositivo medidor de humedad cargando el modelo empírico en su paca procesadora.
Para simplificar el procesamiento de los resultados, las muestras mezclas con niveles de humedad variable se identificaron de la siguiente manera:

1. Seco: Muestra secada en estufa a 105 ºC por 24 (h).
2. Humedad ambiente: Muestra proveniente del ambiente de laboratorio.
3. Bajo para BTC: Muestra con agua de amasado agregada pero no logra cumplir los requisitos para poder conformar un bloque correctamente.
4. Mínimo para BTC: Muestra con agua de amasado mínima para conformar un bloque, tiende a existir fallas de cohesión.
5. Óptimo para BTC: Muestra con cantidad de agua óptima para realizar un bloque.

6. Máximo para BTC: Muestra con agua de amasado máxima para realizar un bloque.
7. Pasado para BTC: Muestra con excesiva agua.

Cabe destacar que, esta calibración únicamente es válida para los materiales empleados, debiendo realizarse nuevamente si se modifican los materiales y dosificaciones de la mezcla (suelo y arena). El proceso de calibración lleva aproximadamente 2 hs de trabajo neto y un día de secado en estufa.

Para esta calibración se confeccionaron 2 muestras por cada contenido de humedad, realizando 2 mediciones directas sobre cada una de ellas y tres mediciones indirectas con el dispositivo medidor de humedad. Posterior a la toma de datos, en gabinete se grafican en un sistema cartesiano los resultados de las mediciones directas vs. los resultados de las mediciones indirectas

Resultados y discusiones

En la tabla 1 se observan los resultados obtenidos tras las determinaciones del contenido de humedad por el método directo e indirecto sobre mezclas de tierra con contenidos de agua variable.

Tabla 1. Calibración del equipo medidor para mezcla de tierra y arena.

Punto de Humedad		Medición Directa			Medición Indirecta				
		H %	Promedio %	Desviación %	1	2	3	Promedio	Desviación
1	Seco.	0,30 0,27	0,29	0,02	1023	1023	1023	1023,0	0,00
2	Humedad ambiente.	2,82 2,82	2,82	0,00	1020	1020	1020	1020,0	0,00
3	Bajo para BTC.	5,68 5,62	5,65	0,04	985	991	988	988,0	3,00
4	Mínimo para BTC.	7,79 7,70	7,74	0,06	965	977	957	966,3	10,07
5	Óptimo para BTC.	9,63 9,72	9,67	0,06	951	942	931	941,3	10,02
6	Máximo para BTC.	11,73 11,63	11,68	0,08	909	917	907	911,0	5,29
7	Pasado para BTC.	15,18 15,13	15,15	0,04	770	742	737	749,7	17,79

Para observar mejor el comportamiento del dispositivo se conformó un gráfico de dispersión entre el promedio de las lecturas indirectas y el promedio de las mediciones directas, coincidente con el contenido de humedad efectivo de las muestras, la cual puede apreciarse en la Figura 2.

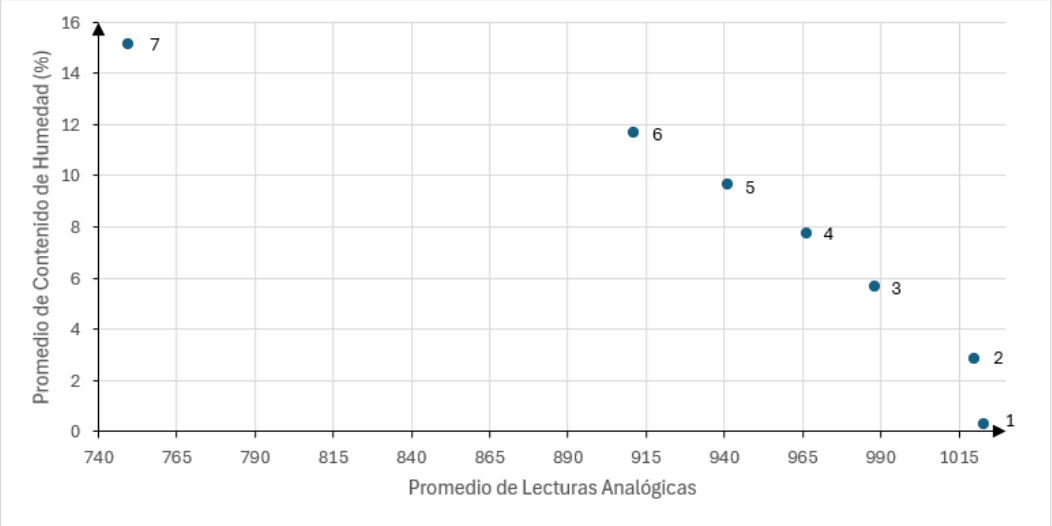


Fig. 2. Gráfico de dispersión entre las mediciones indirectas realizadas con el dispositivo (lecturas analógicas) y el contenido de humedad efectivo de las muestras.

Los puntos 4, 5 y 6 son aquellos en los cuales debemos mejorar la precisión, ya que conforman el intervalo de humedades empleado en la fabricación de BTC, por ende, el intervalo de uso efectivo del instrumento. Por este motivo se aislaron dichos puntos y se realizó con ellos una línea de tendencia (Ec. 2), siendo x la lectura analógica del dispositivo medidor de humedad. El intervalo de validez fue extrapolado debido a su importancia.

Luego, para cerrar el modelo con valores coherentes se confeccionaron las siguientes funciones: la primera utilizando los puntos 1 y 2 (Ec. 3), la segunda con los puntos 2 y 3 (Ec. 4), y la última utilizando los puntos 6 y 7 (Ec. 5).

$$\mathrm{H}(\%) = -0{,}071\mathrm{x} + 76{,}365 \quad , \qquad 890 \leq x \leq 990 \tag{2}$$

$$\mathrm{H}(\%) = -0{,}8438\mathrm{x} + 863{,}51 \quad , \qquad 1020 < x \leq 1023 \tag{3}$$

$$\mathrm{H}(\%) = -0{,}0886\mathrm{x} + 93{,}176 \quad , \qquad 990 < x \leq 1020 \tag{4}$$

$$\mathrm{H}(\%) = -0{,}0215\mathrm{x} + 31{,}289 \quad , \qquad 700 \leq x < 890 \tag{5}$$

Finamente, en la Figura 3 se detalla el modelo utilizado para la calibración definitiva del dispositivo, sombreado en amarillo se encuentra la zona de baja humedad, donde la mezcla puede corregirse incorporando agua, en verde la zona de óptima humedad y en rojo la zona de excesiva humedad, donde dependiendo del exceso de humedad, puede que se pueda corregir o que la mezcla ya no sea apta para la fabricación de BTC.

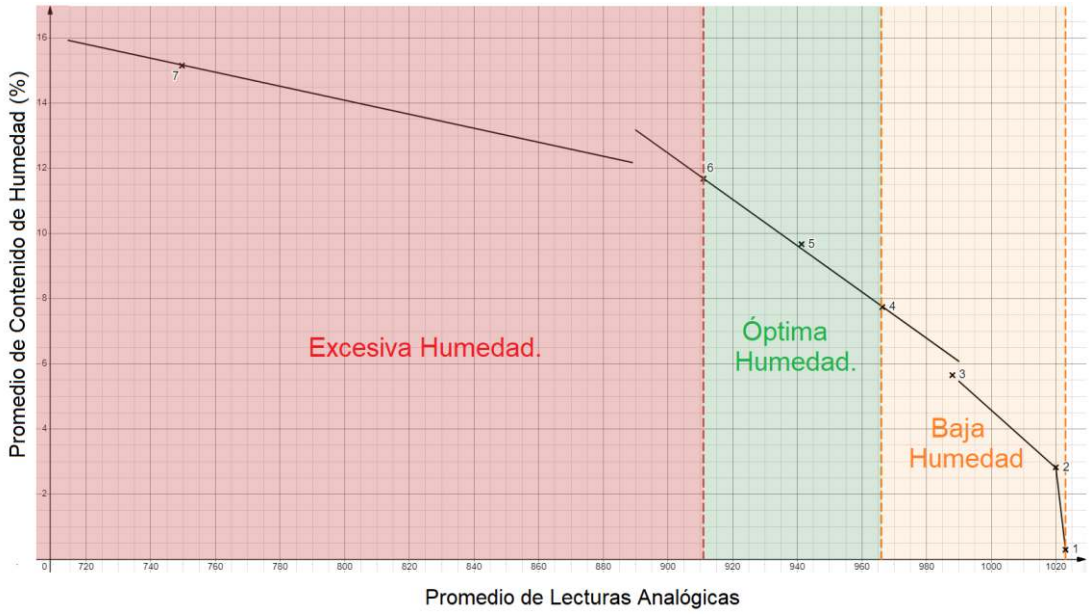


Fig. 3. Gráfico de modelos lineales utilizados.

Conclusiones

Tras realización de este trabajo puede concluirse lo siguiente:

- La calibración del dispositivo desarrollado permite agilizar las mediciones, leyendo directamente en la pantalla de este la humedad de la mezcla, sin necesidad de convertir de manera manual (mediante el uso de tablas de conversión) las lecturas indirectas en humedades efectivas.

- El modelo empírico utilizado para calibrar el dispositivo de medición para la mezcla de suelo y arena empleados es el siguiente:

$$H(\%) = \begin{cases} -0{,}0215\mathrm{x} + 31{,}289 \;;\; 700 \leq x < 890 \\ -0{,}071\mathrm{x} + 76{,}365 \;;\; 890 \leq x \leq 990 \\ -0{,}0886\mathrm{x} + 93{,}176 \;,\; 990 < x \leq 1020 \\ -0{,}8438\mathrm{x} + 863{,}51 \;;\; 1020 < x \leq 1023 \end{cases} \;;\; x \in \mathbb{N} \;;\; 0 \leq x \leq 1023$$

- Si se modifican los materiales empleados en la mezcla para BTC, es preciso volver a calibrar el dispositivo, ajustando el modelo empírico.
- La tarea de calibración lleva dos horas netas de trabajo y un día de secado en estufa.

Referencias

Cabrera, S., Guilarducci, A., González D., Suárez, M., (2023) Evaluación del coeficiente de conductividad y transmitancia térmica de elementos constructivos de tierra. Revista Hábitat Sustentable Vol. 13, N°. 1. ISSN 0719 - 0700 / Págs. 8-19. Disponible en https://doi.org/10.22320/07190700.2023.13.01.01

Cabrera, S. P., Aranda-Jiménez, Y. G., Suárez-Domínguez, E. J., y Rotondaro, R. (2020). Bloques de Tierra Comprimida (BTC) estabilizados con cal y cemento. Evaluación de su impacto ambiental y su resistencia a compresión. Revista Hábitat Sustentable, 10(2), 70–81. https://doi.org/10.22320/07190700.2020.10.02.05

Darras, G., y Pilatti, R., (2023). Calibración de un equipo medidor de humedad comercial para ser aplicado como instrumento de prevención y control dentro del proceso de producción de bloques de tierra comprimida. Disponible en https://ria.utn.edu.ar/handle/20.500.12272/9948

ESTUDIO DE LA RESISTENCIA AL DESGASTE Y A LA CORROSIÓN DE RECUBRIMIENTOS PVD DE AlCrN DEPOSITADOS SOBRE AISI 4140 NITRURADO Y SIN NITRURAR

Tomás A. Chaldain[1], Víctor M. Romero[1]
Tutoras: A. Justina Maskavizan[1], Eugenia L. Dalibón[1]

[1]Grupo de Ingeniería de Superficies (GIS), Facultad Regional Concepción del Uruguay, Universidad Tecnológica Nacional, Ing. Pereyra 676 C.P. 3260.
tomasagustinchaldain@gmail.com

Resumen

El acero AISI 4140 es ampliamente usado en la fabricación de piezas complejas debido a sus propiedades mecánicas que lo distingue, a pesar de sus deficientes propiedades tribológicas y resistencia a la corrosión. Para contrarrestar esto se pueden emplear recubrimientos cerámicos como AlCrN. Este tipo de recubrimiento ternario mejora la resistencia a la oxidación, su estabilidad térmica y resistencia al desgaste.

Este estudio presenta resultados sobre la adhesión (indentación Rockwell C y *scratch test*), comportamiento al desgaste (*pin-on-disk*) y resistencia a la corrosión (ensayos potenciodinámicos) de una capa de AlCrN depositada sobre acero AISI 4140 sin tratar y endurecido mediante nitruración iónica (tratamiento dúplex). El recubrimiento, denominado comercialmente ALCRONA PRO, fue depositado mediante *Physical Vapor Deposition* (PVD) por arco catódico en la empresa Oerlikon Balzers, Argentina.

El tratamiento de nitruración se hizo en un equipo industrial de la empresa IONAR S.A. La profundidad de penetración del tratamiento fue de aproximadamente 250 µm, logrando una dureza superficial de 7,3 GPa. El espesor del recubrimiento fue de aproximadamente 3,1 µm con una dureza de 30,6 GPa.

En los ensayos de adhesión, el acero nitrurado y recubierto alcanzó mejores resultados en comparación al no nitrurado. Frente a una carga estática aplicada, la adhesión del tratamiento dúplex se pudo clasificar como HF1, mientras que, la solo recubierta como HF5, acorde a la norma VDI 3198. En el ensayo dinámico, también el acero con tratamiento dúplex presentó un mejor comportamiento a mayores cargas. En lo que respecta al desgaste, tanto para el recubrimiento depositado sobre el acero nitrurado como sin nitrurar, se obtuvieron tasas de desgaste similares, mucho menores a la del sustrato. En cuanto a la corrosión, si bien la muestra dúplex presentó un mejor comportamiento, este depende de la cantidad y el tipo de defectos del recubrimiento independientemente del sustrato.

Palabras clave: recubrimiento AlCrN PVD, tratamiento dúplex, desgaste, corrosión, adhesión.

Introducción

El acero AISI 4140 se emplea en gran número de aplicaciones en la fabricación de maquinaria y elementos dentro de la industria. Es un acero de baja aleación, endurecible mediante tratamientos térmicos, de fácil mecanizado, económico y posee, además, alta resistencia mecánica. Sin embargo, la resistencia de este al desgaste y a la corrosión es baja. Por este motivo, se pueden realizar distintos tratamientos de modificación superficial o deposición de recubrimientos cerámicos mediante distintas técnicas, como, por ejemplo, PVD por arco catódico (Anders, 2009; Bell, 1998).

A causa de la diferencia de dureza entre los recubrimientos y el sustrato, es recomendable someter al acero a tratamientos asistidos de endurecimiento superficial, como lo es la nitruración por plasma, ya que permite aumentar la dureza en superficie y la resistencia al desgaste debido a la difusión de nitrógeno, brindando un mejor soporte para los recubrimientos duros (Ramírez, 2021). Además, la

utilización de este tipo de técnicas de modificación superficial permite, también, aumentar la adhesión del recubrimiento al acero base (Bhaskar, 2017; Chang, 2019).

En este trabajo se evaluó la adhesión y resistencia al desgaste y a la corrosión en medios clorados de recubrimientos de AlCrN depositados sobre acero AISI 4140 nitrurado y sin nitrurar.

Materiales y métodos

Las muestras empleadas en este trabajo fueron discos de 5 mm de espesor cortados de una barra de AISI 4140 de 25 mm de diámetro. Las probetas fueron lijadas con papel de SiC de distintas granulometrías: #80, #120, #220, #320, #600 y #1000. Un grupo de muestras solo fueron recubiertas y otras se sometieron a un tratamiento dúplex. Se recubrieron con AlCrN mediante PVD por arco catódico en un equipo comercial de la empresa Oerlikon Balzers, el recubrimiento se lo conoce comercialmente como ALCRONA PRO. Por su parte, la nitruración iónica asistida por plasma se realizó en un reactor industrial de la empresa IONAR S.A. en una atmósfera de 20 % N_2 y 80 % H_2 a 500°C y 600 Pa de presión durante 15 hs. Previo a la deposición de los recubrimientos se eliminó mediante lijado con papel de SiC la capa superficial de nitruros de hierro (capa blanca) que se podría haber formado durante el tratamiento (Baldin, 2021).

Para analizar el espesor del recubrimiento se observaron secciones transversales de las muestras, cortadas e incluidas en resina fenólica. Las superficies se lijaron y pulieron, y se midió su espesor mediante la observación en un microscopio óptico, se calculó el promedio y la desviación estándar.

Se midió la dureza en profundidad utilizando un microdurómetro con indentador Vickers, aplicando una carga de 50 gramos durante 10 segundos. Por otro lado, la nanodureza del recubrimiento se evaluó con un nanoindentador empleando un indentador Berkovich. Las pruebas se realizaron con una carga de 9000 µN, alcanzando una profundidad aproximada de 100 nm, lo que representa menos del 4% del espesor del recubrimiento. Para asegurar la representatividad de los resultados, se realizaron mediciones en múltiples puntos sobre la superficie del recubrimiento.

La adhesión del recubrimiento se evaluó mediante la realización de dos tipos de ensayos. Para el estudio a carga estática se empleó la indentación Rockwell C especificada en la norma VDI 3198. Para cargas dinámicas, la adhesión fue evaluada mediante *scratch test* (ASTM C1624). Este ensayo consiste en rayar la superficie con un indentador cónico, aplicando una carga fija. Se ensayaron cargas de 10, 20, 25, 30, 35, 40, 50 y 60 N para la muestra AISI 4140 + AlCrN y para la muestra AISI 4140 nitrurado + AlCrN, además, 70, 80 y 90 N. Se muestran los resultados para 50 y 60 N para la primera condición y 60 y 90 N para la segunda. Los resultados de los ensayos se observaron con microscopía óptica. Las imágenes obtenidas se compararon con las publicadas en la normativa para clasificar el tipo de adhesión.

La resistencia al desgaste por deslizamiento se evaluó mediante ensayos de *pin-on-disk* en una máquina de construcción propia según la norma ASTM G99. Los ensayos se realizaron a temperatura ambiente y se utilizó una bola de alúmina de 6 mm de diámetro como contraparte. Se estudiaron dos condiciones: 500 m de distancia lineal y 5 N de carga normal y una distancia de 1000 m y 10 N de carga normal únicamente en las muestras recubiertas. El volumen desgastado se calculó a partir del perfil de la huella de desgaste medido con un perfilómetro mecánico.

El comportamiento frente a la corrosión fue analizado mediante la realización de ensayos potenciodinámicos en una solución de NaCl 3,5%. Se usó un electrodo de referencia de Calomel Saturado, un contraelectrodo de platino y la muestra como electrodo de trabajo. Se midió el potencial a circuito abierto y se realizó un barrido de potencial a una velocidad de 0,25 mV/s. Las superficies de las muestras fueron observadas antes y después del ensayo para evaluar los mecanismos de corrosión.

Resultados

Microestructura y dureza

En la figura 1a se observa la micrografía de la sección transversal de una de las muestras recubiertas, en ella se muestra el recubrimiento entre el sustrato y la resina fenólica. El espesor del recubrimiento es de (3,09 ± 0,43) µm. Para el caso de la muestra nitrurada, la dureza decrece alcanzando la del núcleo a los 250 µm aproximadamente (Fig. 1b) según la metodología indicada en la norma DIN 50190-3.

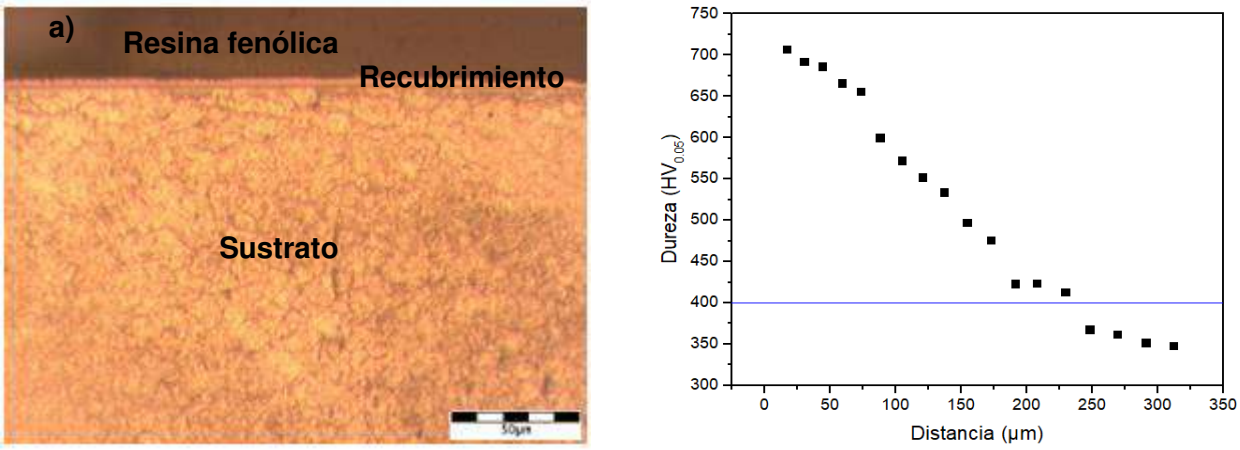


Fig. 1. a) Micrografía óptica de la sección transversal de una muestra recubierta y b) perfil de dureza en profundidad de la muestra nitrurada, 400 $HV_{0.05}$ es la dureza del acero más 50 $HV_{0.05}$.

En cuanto a la nanodureza, el recubrimiento alcanzó valores superiores a 30 GPa, indicando un aumento significativo en comparación con el material base y el material nitrurado, que registran durezas aproximadamente nueve y cuatro veces inferiores, respectivamente.

Adhesión

El ensayo de indentación Rockwell C muestra que el recubrimiento depositado sobre el material nitrurado exhibe un mejor comportamiento en comparación con el mismo recubrimiento sobre el material no nitrurado cuando se aplica una carga estática (Fig. 2). Según la norma VDI 3198, la adhesión del tratamiento dúplex se clasifica como HF1, ya que no se observan grietas ni desprendimientos del recubrimiento (Fig. 2c) mientras que en la muestra recubierta sobre el acero sin nitrurar se clasifica como HF5, debido a la presencia de delaminaciones y grietas (Fig. 2a y 2b).

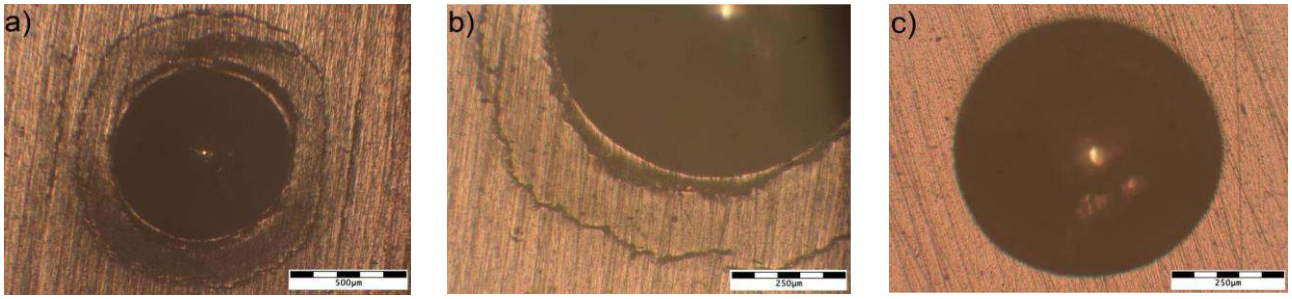


Fig. 2. Indentación Rockwell C, en a) y b) AISI 4140 + AlCrN y c) AISI 4140 Nitrurado + AlCrN.

El *scratch test* se realizó aplicando cargas crecientes hasta alcanzar la carga crítica del sistema recubrimiento-acero, es decir, la carga a partir de la cual se empieza a observar un grado de daño o delaminación. Para la muestra con recubrimiento sobre sustrato no nitrurado, esta carga crítica se determinó en 50 N. Al aumentar la carga a 60 N, el daño se intensifica considerablemente (Fig. 3a y 3b). La baja adhesión del recubrimiento en el acero no nitrurado podría estar relacionada con

la diferencia en dureza entre ambos materiales, ya que el sustrato no brinda suficiente soporte mecánico al recubrimiento.

Por otro lado, en la muestra dúplex, no se observa ningún daño con una carga normal de 60 N. Al aplicar una carga de 90 N, se observan grietas en el interior de la huella, pero no se detectan delaminaciones ni grietas en los bordes de la marca de rayado (Fig. 3c y 3d). Esto sugiere que la adhesión del recubrimiento es superior en el acero nitrurado, posiblemente debido al aumento de dureza del sustrato. Por lo tanto, la adhesión del recubrimiento sobre el acero nitrurado resulta ser considerablemente mejor.

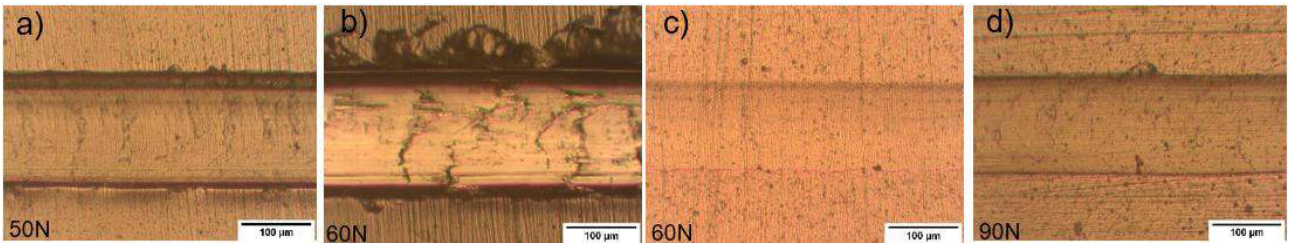


Fig. 3. Scratch test en AISI 4140 + AlCrN con cargas a) 50 N y b) 60 N y AISI 4140 Nitrurado + AlCrN con cargas, c) 60 N y d) 90 N.

Desgaste

En la figura 4 se observa que no hay diferencia significativa en la tasa de desgaste de las probetas sometidas a un tratamiento dúplex y la que solo fue recubierta. A su vez, el recubrimiento mejora significativamente la resistencia al desgaste, registrándose una tasa 70 veces menor con respecto al acero nitrurado y 150 veces menor que el acero AISI 4140.

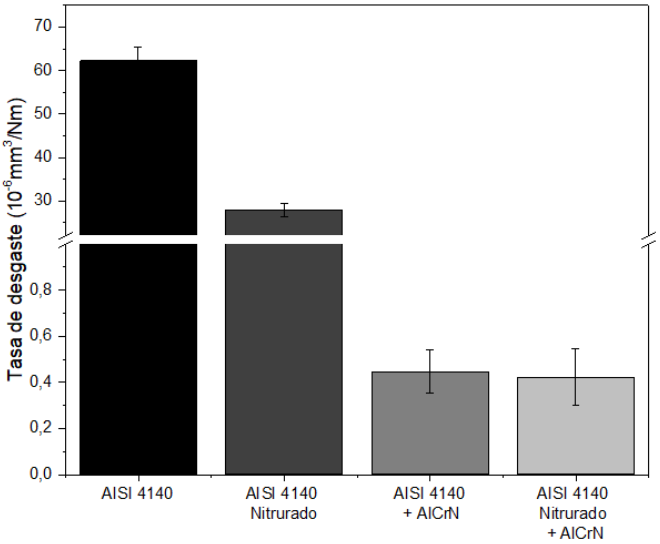


Fig. 4. Tasa de desgaste de las distintas muestras obtenidas a partir de los resultados de los ensayos de *pin-on-disk*.

Corrosión

Las curvas potenciodinámicas representativas de cada condición se presentan en la figura 5.

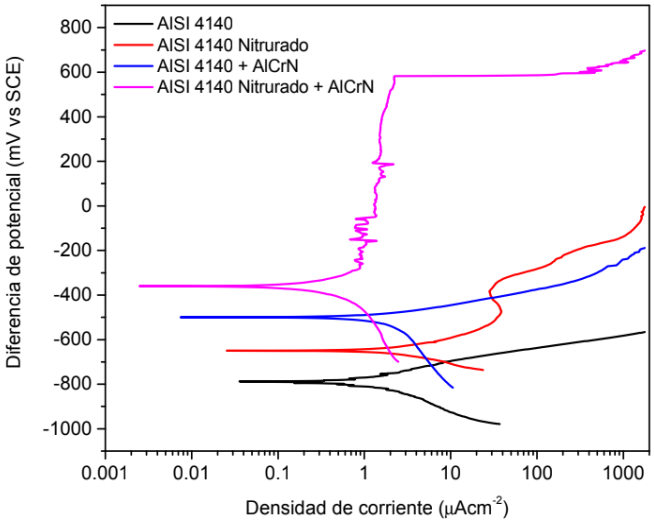


Fig. 5. Curvas de polarización de las distintas muestras.

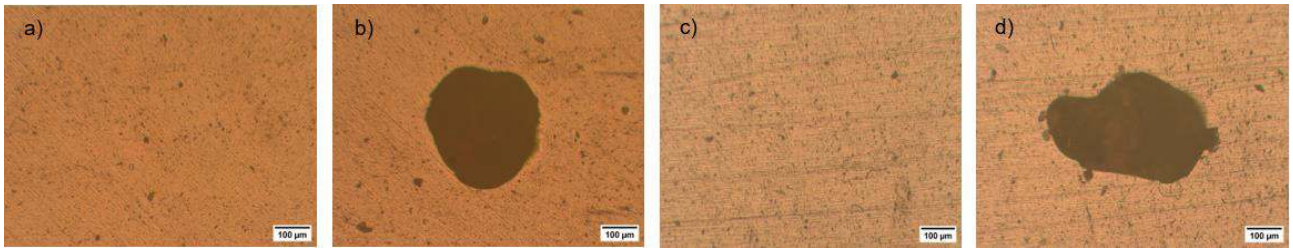


Fig. 6. Micrografías ópticas de la muestra AISI 4140 + AlCrN luego de los ensayos de corrosión (a y b) y de la muestra AISI 4140 nitrurado + AlCrN luego de los ensayos de corrosión (c y d).

Es posible identificar que todas las muestras tuvieron un mejor comportamiento respecto a la muestra patrón. La muestra AISI 4140 + AlCrN presentó disolución activa similar a lo observado para el AISI 4140, pero un potencial de corrosión más noble. En este caso el recubrimiento únicamente retardó la disolución, siendo posible que el electrolito esté en contacto con el sustrato a través de un defecto de este (Panjan, 2020). En el caso del acero solo nitrurado, este presentó una zona cuasipasiva producto de la capa superficial de nitruros de hierro formada durante la nitruración, la cual le otorga una mayor resistencia a la corrosión, ya que limita el contacto del electrolito con el acero susceptible de ser atacado. En el caso de la muestra AISI 4140 nitrurado + AlCrN, esta presenta el mejor comportamiento ante la corrosión ya que se observa una zona cuasipasiva con mayor diferencia de potencial respecto del potencial de corrosión y una densidad de corriente más baja que las otras muestras al potencial de corrosión. Debido a que se eliminó previamente la capa de nitruros de hierro, su resistencia a la corrosión sólo depende de la presencia o no de defectos en el recubrimiento.

En las figuras 6a y 6c se visualizan las micrografías ópticas de las superficies de las muestras en donde se aprecia que las mismas no sufrieron cambios después del ensayo, este fue el comportamiento general. En las imágenes 6b y 6d se observa la presencia de *pits*. Estos se encuentran formados en áreas donde, probablemente, había defectos superficiales previos. En los sistemas recubrimiento + sustrato, la resistencia a la corrosión está relacionada con la cantidad y el tipo de defectos de los recubrimientos.

Conclusiones

Los resultados obtenidos permiten inferir que el acero AISI 4140 nitrurado + AlCrN presentó mejores comportamientos en cuanto a resistencia al desgaste y resistencia a la corrosión. En cuanto al análisis de la adhesión (estática y dinámica), la muestra dúplex obtuvo una mejora sustancial con

respecto a la muestra AISI 4140 + AlCrN. Estos resultados demuestran que la nitruración previa al recubrimiento no solo aumenta la dureza del sustrato, sino que también mejora la durabilidad y el rendimiento del recubrimiento en condiciones severas.

Referencias

Anders, A. (2009). Cathodic arcs: from fractal spots to energetic condensation. Nueva York, Estados Unidos: Springer.

Baldin, V; Rosa Ribeiro da Silva, L; Baldin, C; Neitzke,C; Torres, R; Machado, A. (2021). Characterization and Performance of TiAlN and TiN Coatings on Plasma Nitrided AISI 4140 Steel. Materials performance and charecterization, 10 (1), 503-514. doi: 10.1520/MPC20200191.

Bell, T; Dong, H; Sun, Y. (1998). Realising the potential of Duplex Surface engineering. Tribology International, 31,127-137. doi: 10.1016/S0301-679X(98)00015-2

Bhaskar, S. V; Kudal, H. N. (2017). Tribology of nitrided-coated steel-a review. Archives of Mechanical Technology and Materials, 37, 50-57. Recuperado de https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-bb5d1204-33b5-4903-9ca7-c36be6b8a7c1.

Chang, Y; Amrutwar, S. (2019). Effect of Plasma Nitriding Pretreatment on the Mechanical Properties of AlCrSiN-Coated Tool Steels. Materials, 12, 1-14. doi: 10.3390/ma12050795.

Panjan, P; Drnovšek, A; Gselman, P; Čekada, M; Panjan, M. (2020). Review of Growth Defects in Thin Films Prepared by PVD Techniques. Coatings, 10 (5), 447. doi: 10.3390/coatings10050447.

Ramírez, F; Rodríguez, G; Figueroa, U; Morón, R; Arzate, I; Meneses, A. (2021). Effect of nitriding pretreatment on adhesion and tribological properties of AlCrN coating. Materials letters, 284, 12893. doi: 10.1016/j.matlet.2020.128931.

ESTUDIO DE LA RESISTENCIA AL DESGASTE Y A LA CORROSIÓN DE DISTINTOS RECUBRIMIENTOS DLC DEPOSITADOS SOBRE ACERO AISI 4140.

Lucas E. Romero

Tutores: Ana J. Maskavizan, Francisco A. Delfín.

Grupo de Ingeniería de Superficies (GIS), Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Concepción del Uruguay. Ing. Pereira 676, E3260 Concepción del Uruguay, Argentina
Contacto: LucasRomeroLatuf@gmail.com

Resumen

Uno de los aceros de media aleación más utilizados en la fabricación de elementos de máquinas es el AISI 4140 que, si bien posee excelentes propiedades mecánicas, es relativamente blando y no es resistente a la corrosión. Para mejorar sus propiedades superficiales, se suelen usar diferentes métodos como los tratamientos superficiales y los recubrimientos, entre los cuales está la deposición de carbono amorfo o Diamond-like Carbon (DLC). Dependiendo de la aplicación en particular, puede optarse por utilizar un tratamiento de modificación superficial previo o incluso agregar dopantes al mismo recubrimiento durante el proceso de deposición para optimizar su desempeño.

En este trabajo, se estudió el comportamiento a la corrosión y la abrasión de un recubrimiento DLC hidrogenado y un DLC hidrogenado dopado con Silicio. Estos recubrimientos fueron depositados utilizando un equipo PA-CVD sobre un sustrato de acero AISI 4140 con y sin tratamiento previo de nitruración iónica. Su resistencia al desgaste abrasivo fue ensayada bajo norma ASTM G65 (rueda de goma y arena seca) con cargas de 65N y 130N y un recorrido total 1400 metros. En cuanto al comportamiento frente a la corrosión, se realizaron ensayos electroquímicos de polarización anódica, utilizando un potenciostato, una celda electroquímica con solución de NaCl al 3,5%, un electrodo auxiliar de platino y un electrodo de referencia de calomel saturado.

Como resultados de los ensayos realizados se pudo observar que las muestras con el recubrimiento DLC+Si tuvo mejor desempeño que el DLC en los ensayos de abrasión, mientras que la nitruración previa mejoró la resistencia a la abrasión de ambos recubrimientos. Del mismo modo, en cuanto a los ensayos de corrosión, se obtuvo una mejor respuesta de las probetas nitruradas y recubiertas con DLC+Si.

Palabras Clave: Desgaste, Corrosión, AISI 4140, DLC, Nitruración.

Introducción

El acero AISI 4140 forma parte de los “aceros de construcción”, los cuales son de baja/media aleación, utilizados en diferentes aplicaciones en la fabricación de maquinaria con durezas entre 28 y 38 HRC. Este acero es económico comparado a otros metales y posee una alta resistencia a la tracción combinado con una buena tenacidad. Sin embargo, su vida útil se ve limitada por su baja resistencia al desgaste y a la corrosión (Correa et al., 2013).

Para mejorar estas cualidades, existen diversos tratamientos superficiales entre los cuales, los recubrimientos a base de carbono conocidos como DLC han atraído la atención de la industria debido a las propiedades que reúnen, como un excelente comportamiento tribológico, bajo coeficiente de fricción, alta dureza superficial y resistencia a la abrasión (Delfín et al., 2018). El método comúnmente utilizado aplicar este recubrimiento es la deposición química en fase vapor asistido por plasma (PACVD por sus siglas en inglés) utilizando diferentes gases como precursores. Entre las principales ventajas que ofrece este método, se encuentra que no genera contaminantes ni efluentes dañinos, por lo que es amigable con el ambiente (Xia et al., 2022).

Para mejorar sus propiedades químicas como su resistencia a la corrosión, se busca ampliar el tamaño de la capa de recubrimiento para que el tamaño de la barrera sea mayor. Para que no se vuelva frágil o adquiera demasiado estrés interno por un espesor excesivo, es que se agregan aditivos o dopantes, como lo es el Silicio. Estudios previos han demostrado como disminuyendo la tasa de deposición de recubrimiento comparado con un recubrimiento DLC estándar, mejora su capacidad de barrera de la corrosión e incluso logra duplicar la fuerza de adhesión del mismo al sustrato (Danninger et al., 2023).

Debido a la diferencia de dureza entre el recubrimiento y el sustrato, la adhesión suele ser un problema. Como solución se utilizan los llamados procesos dúplex o combinados, los cuales consisten en la aplicación secuencial de dos o más técnicas de tratamiento superficial. Entre los más utilizados se encuentra la nitruración iónica, la cual es un proceso de endurecimiento por difusión asistido por plasma, donde, partir de una mezcla de gases (H_2 + N_2), se introduce nitrógeno al material formando así una zona de compuestos en el exterior y una zona de difusión hacia el interior, ambas dependientes de las propiedades del sustrato y de los parámetros utilizados durante el procedimiento: temperatura, concentración de gases y duración. Trabajando con aceros, obtenemos como resultado un gradiente de dureza que conecta con el exterior de la probeta y una capa superficial que mejora la adhesión del sustrato con el recubrimiento posterior.

El objetivo de este trabajo es evaluar la resistencia al desgaste y a la corrosión del acero AISI 4140 recubierto con DLC hidrogenado y DLC hidrogenado dopado con silicio, con y sin pretratamiento de nitruración iónica.

Materiales y métodos

El material base o sustrato utilizado para esta investigación es el acero AISI 4140 tratado térmicamente mediante temple y revenido para alcanzar una dureza de 30 HRC, presentado en forma de probeta circular de 40 mm de diámetro y 10 mm de espesor. A estas muestras se les dio una terminación superficial sobre una de sus caras en el siguiente orden: rectificado, lija #120, #200, #400, #600 #1200, y por último se pule con un paño con pasta de diamante de 3 µm, mientras que la otra cara se mantuvo solo rectificada.

Los recubrimientos DLC se depositaron mediante PA-CVD utilizando un reactor modificado, originalmente comercializado por la compañía Rübig GmbH & Co KG (Austria). La presión de vacío fue de 2 mbar y se usó acetileno C_2H_2 como precursor de carbono y argón Ar para completar la mezcla. El plasma se genera mediante una fuente de corriente continua pulsada a 2 KHz. Para obtener un recubrimiento dopado con Silicio, se agregó hexametildisiloxano (HMDSO) a la mezcla de gases en una proporción del 1%. Para mejorar el desempeño del recubrimiento, se realizó una modificación superficial previa mediante nitruración iónica del sustrato. Para diferenciar las muestras, se adopta la nomenclatura determinada por la composición del tratamiento superficial establecido sobre cada muestra (Tabla 1).

Tabla 1. Designación de muestras según el tratamiento superficial utilizado

Nomenclatura	Descripción
P	Probeta Patrón de AISI 4140
DLC	AISI 4140 con recubrimiento DLC estándar
DLC+Si	AISI 4140 con recubrimiento DLC dopado con Silicio
DLC (N)	AISI 4140 nitrurado y recubierto con DLC estándar
DLC+Si (N)	AISI 4140 nitrurado y recubierto con DLC dopado con silicio

Se evaluó el comportamiento al desgaste mediante ensayo abrasivo de rueda de goma y arena seca bajo norma ASTM G65, utilizando arena de río secada y tamizada con tamiz AFS 50-70 y un recorrido de 1400 m. Se realizaron ensayos para todos los tipos de recubrimientos con una carga de 65 N, y para los dúplex, se realizó además con 130 N con el fin de compararlos en un ambiente más agresivo. Las muestras se pesaron antes y después de los ensayos en una balanza con

resolución de 0,0001 g para determinar la pérdida de masa promedio de cada recubrimiento. Se compararon dos terminaciones superficiales del sustrato previo a la deposición de los recubrimientos: rectificado y pulido, para determinar la influencia de la rugosidad en la resistencia al desgaste abrasivo.

En cuanto a la resistencia a la corrosión, se realizaron ensayos de corrosión potenciostáticos en cada muestra detallada en la Tabla 1 utilizando un potenciostato, una celda electroquímica de tres electrodos (Fig. 1a) conformada por la muestra como electrodo de trabajo, un electrodo auxiliar de platino y un electrodo de referencia de calomel saturado (SCE). Como electrolito se empleó solución de NaCl al 3,5 %. Este ensayo fue diseñado para films inertes y consiste en ir aplicando escalones de potencial de 200 mV cada 1800 s y medir la intensidad de corriente, que luego se divide por el área expuesta en la solución para calcular la densidad de corriente, siendo el área expuesta de 0,2827 cm^2 correspondiente al interior del O-ring que sella la celda (fue posible realizar 2 ensayos en cada probeta como la que se muestra en la Fig. 2b). Si la corriente no supera los 1770 mA colocados como límite de corriente el ensayo continúa hasta los 3000 mV que es el límite del equipo. El objetivo de este ensayo es observar si la corriente crece o permanece constante al ir aplicando diferentes valores de diferencia de potencial durante intervalos fijos tiempo.

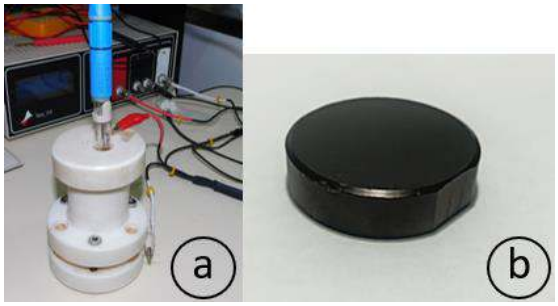


Fig. 1. Celda electroquímica conectada (a). Probeta tipo, utilizadas para los ensayos (b).

Resultados y discusiones

Desgaste

Una vez realizados todos los ensayos de abrasión bajo norma ASTM G65 con 65 N (Fig. 2), se compararon los resultados promedios junto con la desviación estándar del valor de pérdida de masa en cada caso (Tabla 2). Para observar el comportamiento de las muestras dúplex en una situación más crítica se realizó nuevamente el ensayo con una carga de 130 N representado gráficamente en un diagrama de barras (Fig. 3).

Fig. 2. DLC, DLC (N), DLC+Si, DLC+Si (N) luego de ensayo de desgaste abrasivo

Tabla 2. Comportamiento frente al desgaste abrasivo con 65N

Muestra	Pérdida de masa (mg)	Desviación estándar
P	28,6	2,7
DLC	44,8	3,2
DLC+Si	0,9	0,2
DLC (N)	44,1	3,6
DLC+Si (N)	0,6	0

Como se puede apreciar, el DLC sin silicio perdió 44,8 mg mientras que el dopado con silicio resistió mucho más y perdió solo 0,9 mg. La nitruración no tuvo un efecto notable en las muestras recubiertas con DLC estándar, mientras que, en el DLC dopado con silicio, se llegó a una diferencia de aproximadamente 35% menos pérdida de masa en DLC+SI(N) con respecto a aquellas que no poseen nitruración previa.

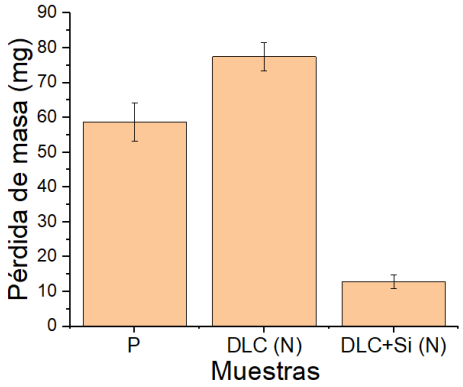


Fig. 3. Comportamiento frente al desgaste con 130 N

Para los recubrimientos DLC estándar con y sin nitruración previa, la pérdida de masa fue mayor que en la muestra patrón, lo cual puede deberse a que el recubrimiento se desprendió rápidamente al inicio del ensayo, dejando al sustrato sin protección frente a las partículas abrasivas, lo cual hizo que actúe como un patrón. Analizando la huella de desgaste mediante software se obtuvo el área promedio, y, teniendo en cuenta el espesor del recubrimiento y la densidad del mismo, se calculó la pérdida de masa debido al recubrimiento, cuyo valor es de aproximadamente 16,5 mg. que es muy similar a la diferencia entre los resultados obtenidos por las probetas patrón y los DLC estándar en los ensayos abrasivos para ambas cargas.

El recubrimiento dopado con silicio presentó una resistencia al desgaste muy superior, obteniendo el mejor resultado para el acero nitrurado y recubierto con DLC+Si. La razón de esto es que el desgaste abrasivo está principalmente relacionado con la dureza superficial del material que se está ensayando. Los dopantes como el silicio se utilizan frecuentemente no solo para mejorar las propiedades tribológicas de los recubrimientos, ya que reducen el estrés interno del mismo y mejora la adhesión al sustrato (dado que no se desprendió el recubrimiento), sino también para aumentar drásticamente la dureza superficial de la muestra, pudiendo obtener recubrimientos dos veces más duros que un DLC estándar (Danninger et al., 2023; Iseki et al., 2006; Robertson, 2002).

En cuanto a la influencia de la rugosidad, pudo observarse que la diferencia de pérdida de peso es irrelevante comparada a la que relaciona dos recubrimientos de distinto tipo, teniendo una diferencia apreciable únicamente en los recubrimientos estándar debido a las características del mismo, y que en las caras donde se presenta mucha más rugosidad, la abrasión a tres cuerpos resulta más efectiva (Fig. 4)

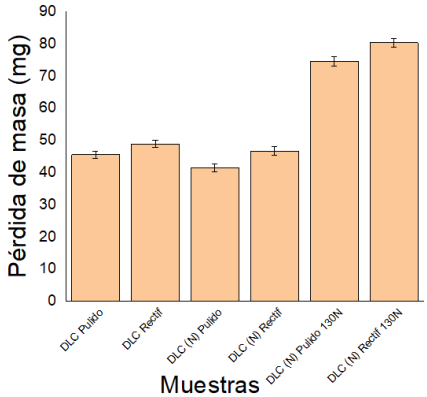


Fig. 4. Comparación terminación superficial en ensayo abrasivo

Corrosión

A partir de los ensayos realizados, se determinó la variación de la densidad de corriente medida sobre cada probeta, la respuesta del recubrimiento, y cómo varía con cada escalón de tensión. En las siguientes figuras se observa en el eje horizontal el tiempo del ensayo. En el eje vertical a la izquierda, se observa la tensión que suministra la fuente, la cual corresponde a la recta escalonada negra, mientras que en el eje vertical derecho de la Fig. 5a está la escala de densidad de corriente sobre las muestras recubiertas con DLC estándar, cuyas curvas corresponden a las de color rojo y azul para las probetas con y sin tratamiento previo de nitruración, respectivamente. Del mismo modo, en el eje vertical derecho de la Fig. 5b, se encuentra la escala de densidad de corriente para las muestras que poseen un recubrimiento DLC dopado con silicio, correspondiente a los mismos colores con y sin pretratamiento.

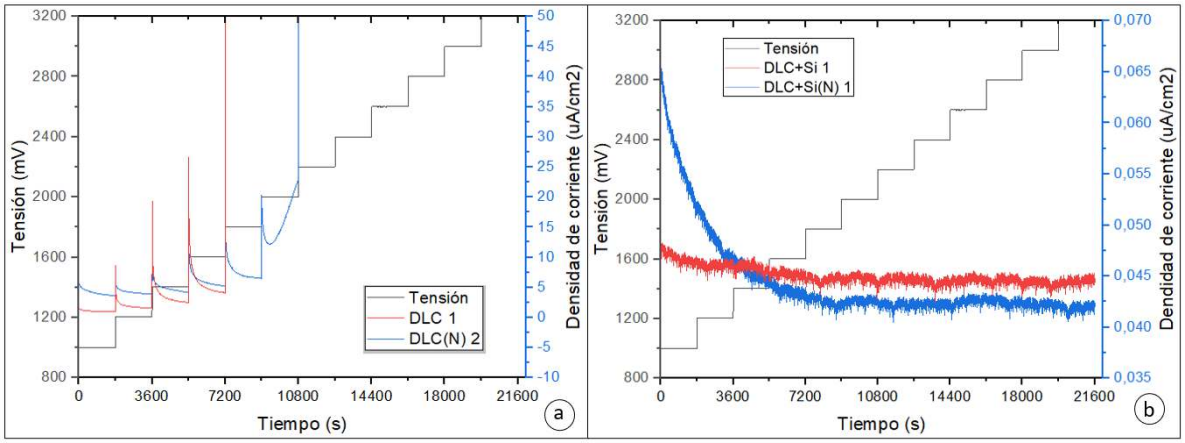


Fig. 5. Ensayo potenciodinámico muestras con DLC (a) y con DLC+Si (b)

La corrosión para este tipo de ensayos se basa en la probabilidad de encontrar un defecto en la superficie del recubrimiento que permita el paso de la corriente, ya que los recubrimientos actúan como una barrera física entre el sustrato y el ambiente corrosivo (Huang et al., 2003). Cuando hay defectos presentes, el espesor de la barrera varía, así como el comportamiento frente a la corrosión, ya que dichos defectos actúan no solo como puntos de debilidad, sino también como pasajes entre la solución y el sustrato (Forsich et al., 2014). Debido a esto vemos que, por ejemplo, en los recubrimientos DLC, se obtuvieron respuestas similares donde, en el momento en que se produce un escalón de tensión, la densidad de corriente aumenta y vuelve a estabilizarse, es decir, con el aumento de corriente un sector donde se encuentra un defecto en el recubrimiento permite el paso de la corriente y debilita la barrera, pero no la rompe, hasta alcanzar un valor de tensión lo suficientemente alto para producir la rotura del recubrimiento y permitir el contacto de la solución con el sustrato, lo cual finaliza automáticamente el ensayo ya que, como se mencionó anteriormente, la densidad de corriente está limitada por motivos de seguridad del equipo a 1770 uA/cm^2.

Por otro lado, puede observarse que el comportamiento de las muestras recubiertas con DLC+Si presentó no solo una densidad de corriente mucho menor que para el resto de las configuraciones, sino que también adquiere mucha estabilidad a los cambios de tensión, al no presentar ningún tipo de perturbación importante en los momentos de aumento de tensión (permanecen constantes los valores) y mantenerse cumpliendo su función de barrera hasta el final del ensayo. Danninger et al. (2023) estudiaron la resistividad de estos recubrimientos DLC sobre AISI 4140, donde la resistividad para el DLC dopado con silicio no pudo ser determinada (mayor a $2 \cdot 10^7$ μΩ·cm), mientras que para el DLC estándar, se obtuvieron valores de resistividad eléctrica del orden de $5 \cdot 10^6$ μΩ·cm, lo cual explicaría la diferencia en la densidad de corriente para ambos casos.

Conclusiones

De acuerdo a los resultados, tomando en cuenta cada aspecto por separado, la muestra tratada con DLC+Si(N) presentó el mejor comportamiento frente al desgaste abrasivo, lo cual podría deberse a la alta dureza del recubrimiento, la reducción del esfuerzo interno, y mejor adhesión.

Además, la condición DLC+Si presentó la mejor resistencia a la corrosión, ya que, como se mencionó anteriormente, el recubrimiento mejora la adhesión. Es posible que el mismo presente mayor homogeneidad, disminuyendo la generación de defectos o puntos débiles donde pueda iniciar la corrosión y aumentando considerablemente la resistividad eléctrica de dicho recubrimiento.

Referencias

Correa, F., Caicedo, J. C., Aperador, W., Rincón, C. A., & Bejarano, G. (2013). Corrosion resistance improvement of steel AISI 4140 by using a titanium/titanium nitride multilayer coating system. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, *46*, 7–14. https://doi.org/10.17533/udea.redin.17919

Danninger, S., Delfin, F. A., Forsich, C., Schachinger, M., Heim, D., Rübig, B., Dipolt, C., & Müller, T. (2023). *Deposition of a-C:H and a-C:H:Si to achieve high electrical conductivity and high film thickness*. https://ssrn.com/abstract=4521665

Delfín, F. A., Brühl, S. P., Forsich, C., & Heim, D. (2018). Carbon based DLC films: Influence of the processing parameters on the structure and properties. *Matéria (Rio de Janeiro)*, *23*(2). https://doi.org/10.1590/s1517-707620180002.0395

Forsich, C., Dipolt, C., Heim, D., Mueller, T., Gebeshuber, A., Holecek, R., & Lugmair, C. (2014). Potential of thick a-C:H:Si films as substitute for chromium plating. *Surface and Coatings Technology*, *241*, 86–92. https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2013.11.011

Huang, G. F., Lingping, Z., Weiqing, H., Lihua, Z., Shaolu, L., & Deyi, L. (2003). The mechanical performance and anti-corrosion behaviour of diamond-like carbon film. *Diamond and Related Materials*, *12*(8), 1406–1410. https://doi.org/10.1016/S0925-9635(03)00168-7

Iseki, T., Mori, H., Hasegawa, H., Tachikawa, H., & Nakanishi, K. (2006). Structural analysis of Si-containing diamond-like carbon. *Diamond and Related Materials*, *15*(4–8), 1004–1010. https://doi.org/10.1016/j.diamond.2005.12.020

Naeem, M., Díaz-Guillén, J. C., Khalid, A., Guzmán-Flores, I., Muñoz-Arroyo, R., Iqbal, J., & Sousa, R. (2022). Improved wear resistance of AISI-1045 steel by hybrid treatment of plasma nitriding and post-oxidation. *Tribology International*, *175*, 107869. https://doi.org/10.1016/j.triboint.2022.107869

Robertson, J. (2002). Diamond-like amorphous carbon. *Materials Science and Engineering: R: Reports*, *37*(4–6), 129–281. https://doi.org/10.1016/S0927-796X(02)00005-0

Xia, T., Liu, W., & Ye, Y. (2022). Vapor-deposited environmental-friendly bilayer coatings with synergistic anti-corrosion effect for electronic device protection. *Journal of Materials Science*, *57*(17), 8314–8328. https://doi.org/10.1007/s10853-022-07181-0

CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES ABRASIVAS DEL SUELO EN ENTORNOS NATURALES

Jazmin Herasimovich[1], María N. Delpupo[1], Graciela A. Mansilla

[1]Línea de Metalurgia Física, Departamento Ingeniería Metalúrgica/DEYTEMA, Facultad Regional San Nicolás, Universidad Tecnológica Nacional, San Nicolás de los Arroyos (2900), jherasimovich@frsn.utn.edu.ar

Resumen

Las propiedades del suelo son factores importantes que afectan la intensidad del proceso de degaste de los materiales durante su funcionamiento. Las condiciones naturales del suelo como tamaño de grano, pH, humedad influyen en este proceso, ya sea en las deformaciones plásticas, o en los fenómenos corrosivos asociados que conducen al crecimiento de microfisuras de los aceros. Existe una relación directa entre la morfología de los granos y la humedad sobre el desgaste ocasionado, para lo cual resulta fundamental conocer las propiedades abrasivas que permitan anticiparse futuros daños y/o aumentar el ciclo de vida de la pieza en servicio.

El objetivo de este trabajo es caracterizar física y químicamente dos tipos suelos de la región pampeana, dedicados a la industria agropecuaria, en los cuales operan sembradoras, arados y cosechadoras; todos ellos con piezas de acero al boro en contacto con el suelo.

Las muestras de suelo se analizan químicamente, se determina dureza, pH, humedad y se realizan pruebas de laboratorio para establecer el perfil granulométrico. En este sentido, se podrá determinar de manera anticipada la naturaleza del desgaste mecánico o si tendremos tribocorrosión en las piezas de acero que colaboren a predecir fallas prematuras en servicio.

Palabras Clave: Desgaste, Suelo, Humedad, Tamaño de grano

Introducción

El proceso de desgaste es un fenómeno que ocurre a diversos elementos de trabajo, como maquinaria agrícola o herramientas, en el que el material es eliminado o desplazado de una superficie por partículas o protuberancias duras en una contrasuperficie. Este proceso se debe a cambios fisicoquímicos, tanto cuantitativos como cualitativos, que se producen en la superficie de fricción entre el elemento de trabajo y el suelo. El potencial de desgaste abrasivo depende de las propiedades de abrasión del material, como la dureza, la forma y el tamaño de las partículas, lo que significa que la abrasividad es una propiedad del material, mientras que el desgaste es un resultado físico de un proceso de degradación. El suelo es un sistema natural complejo, en el que ocurren continuos procesos de descomposición y síntesis; se hace necesario investigar y comprender el desgaste que produce el suelo en diferentes condiciones para poder seleccionar de manera racional las formas de construcción y tecnologías más adecuadas.

Las propiedades químicas del suelo se encuentran entre los factores importantes que afectan la intensidad del desgaste de los elementos de trabajo. Algunos autores han analizado el proceso de desgaste del acero 38GSA, utilizado en maquinarias agrícolas, expuestos acondiciones químicas específicas y concluyen que el aumento en la acidez del suelo aumenta la intensidad del desgaste del acero(Napiorkowski, 2017). Uno de los aspectos químicos más relevantes de la masa de suelo es su pH que se define como la condición de la solución del suelo, determinada por la relación entre los iones de hidrogeno (H+) y los iones de hidróxido (OH-). Los resultados indican que a medida que aumenta la acidez del suelo, también aumenta la intensidad del desgaste del acero (Napiorkowski, 2017). Los fenómenos observados durante el desgaste en suelos muy ácidos y ácidos pueden categorizarse como desgaste relacionado con el hidrógeno. El hidrógeno proviene del entorno circundante, incluyendo la acidificación aumentada del suelo, y del hidrógeno

tecnológico contenido en el metal. Durante el desgaste, el hidrógeno se acumula en los lugares de la estructura discontinua de las capas superficiales, como los límites de granos y fases, así como dislocaciones. Allí permanece de manera duradera debido a la alta energía de enlace del complejo "átomo de hidrógeno– trampa". Recientemente (Napiorkowski, 2024) estudió el desgaste de aceros varios, considerando el pH de los suelos como variable. Al respecto indican que el mayor desgaste se encontró en suelos ácidos con un pH inferior a 5, y fue entre un 30 y un 40% mayor, según el tipo de material, respecto a suelos con un pH superior a 6,8.

Por otra parte, la densidad del suelo es una característica física de gran impacto en el desgaste de los equipos agrícolas, la densidad aparente del suelo es una medida crítica que se utiliza para determinar el desgaste. Esta propiedad determina la resistencia a la penetración, que es otra propiedad física importante relacionada con el desgaste de las herramientas agrícolas. Los suelos con mayor densidad y resistencia a la penetración requieren una mayor fuerza para penetrar y trabajar el suelo, lo que puede aumentar el desgaste de los equipos (Iznaga, 2010). Los cambios en la densidad del suelo, como los causados por la compactación, pueden alterar las condiciones de trabajo y aumentar el desgaste de los equipos. A medida que aumenta la densidad, aumenta el desgaste (Jakobsen, 2013).

La compactación del suelo es el aumento de la densidad aparente y la correspondiente disminución de la porosidad del suelo provocada por las cargas aplicadas a él. En el caso de las maquinarias agrícolas, la compactación del suelo puede tener un impacto directo en el desgaste del acero, cuando la maquinaria tiene que trabajar en suelos compactados, necesita aplicar más fuerza para moverse a través de ellos y esto puede aumentar la fricción entre las piezas metálicas de la maquinaria, lo que puede provocar un desgaste prematuro en el acero. Además, la compactación del suelo puede generar vibraciones excesivas durante la operación de la maquinaria, lo que también contribuye al desgaste de las piezas de acero.

La humedad del suelo es otro factor clave que influye en la compactación, suelos más secos y con menor humedad son más propensos a compactarse. Los suelos con humedad óptima alcanzan la máxima compactación y, por último, suelos muy húmedos o saturados tienen menor compactación. Los suelos más secos pueden soportar cargas más pesadas sin compactarse, mientras que los suelos con niveles de humedad a la capacidad del campo o por encima tienen el mayor potencial de compactación.

La granulometría del suelo tiene una relación significativa con el desgaste abrasivo que genera en el acero. El efecto de la curva de distribución del tamaño de partículas sobre la abrasividad de suelos no cohesivos en la prueba LCPC es analizado por los autores (Mohammad-Taghi, 2020), resultando que laspartículas finas por sí solas no producen altas tasas de desgaste. Esta prueba es un método desarrollado por el Laboratoire Central des Ponts et Chaussées – LCPC, para medir la abrasividad de los suelos no cohesivos (Chicoma Diaz, 2023). Sus resultados verifican que la presencia de partículas finas, especialmente en condiciones húmedas, tiene un efecto considerable en el desgaste registrado. Asimismo, los suelos con partículas más uniformes (menor variación de tamaños) son más susceptibles a una mayor cantidad de rotura de partículas bajo carga, lo que los vuelve más finos y genera mayor desgaste abrasivo en el acero (Anguas 1997). Por el contrario, los suelos con una granulometría más bien continua y graduada con variedad de tamaños de partícula tienden a tener un menor desgaste abrasivo en el acero, ya que las partículas más grandes forman una especie de malla que retiene a las partículas más finas (Lee 1967). La evidencia indica que suelos con partículas más finas y uniformes generan mayor desgaste abrasivo en el acero, mientras que suelos con granulometrías más continuas y bien graduadas producen menor desgaste.

El objetivo de la presente investigación es caracterizar dos tipos de suelos de la región norte de la provincia de Buenos Aires sobre los que operan las máquinas agrícolas, incluyendo tamaños de grano, composición y humedad para, posteriormente diseñar ensayos que permitan predecir el impacto en los procesos de desgaste de los materiales empleados en servicio.

Materiales y métodos

Se tomaron dos muestras de suelo de dos localidades diferentes de la región pampeana en el norte de la provincia de Buenos Aires para caracterizar a través de diversas variables. La muestra S1 es proveniente de la localidad de Guerrico y la S2, de Conesa.

Fig. 1. Muestras de tierras clasificadas por tamiz de mayor a menor granulometría.

Debido a la importancia que la distribución granulométrica del suelo tiene sobre el desgaste de las componentes de las maquinarias agrícolas, para ello se aplicó la norma ASTM E11 en muestras de suelo S1 y S2. Se tomaron 100g de cada muestra de suelo para realizar el tamizado. Las muestras se pasaron por una serie de tamices apilados en orden decreciente de apertura de malla, siguiendo la serie establecida en la norma referenciada. Los tamices con la muestra se agitan con un agitador mecánico durante un período de 2 minutos. La masa que queda retenida en cada tamiz se pesa y se separa según granulometría (Fig. 1), al final se calcula el porcentaje de material retenido en cada malla y el porcentaje que pasa cada uno de los tamices. Estos datos se tabulan y con ellos se determina la curva granulométrica.Ésta es una representación gráfica de los resultados obtenidos en un laboratorio cuando se analiza la estructura del suelo desde el punto de vista del tamaño de las partículas que lo forman. Se usan para comparar diferentes suelos en función de los diámetros efectivos de partícula, los cuales son útiles para dar una idea de la gradación del material y la estimación de la permeabilidad. A continuación, se analiza el efecto de varios parámetros de clasificación del suelo, como D10, D30 y D60, que indican los diámetros correspondientes en el diagrama de clasificación del suelo donde el 10, 30 y el 60 % de los granos son más pequeños que estos (Ansari, 2024).Se denomina D10 al diámetro efectivo, por debajo del cual queda el 10% del suelo en peso; lo mismo aplica similarmente para el 30% y 60%. Para saber si un suelo está bien graduado o mal graduado según se trate de suelo arenoso o con grava Allen Hazen (Cetim, 1998) propuso el coeficiente de uniformidad(Cu) calculado a partir de los diámetros efectivos $\mathrm{D60}$ a $\mathrm{D10}$y reemplazados en la (Ec. 1).

$$\mathrm{Cu} = \frac{\mathrm{D60}}{\mathrm{D10}} \tag{1}$$

También se calcula el coeficiente de gradación o de curvatura (Cc) mediante (Ec. 2).

$$Cc = \frac{D30}{D60.D10} \tag{2}$$

Los suelos bien graduados tienen más interbloqueo entre las partículas y, por lo tanto, un mayor ángulo de fricción, que los que están mal graduados. La compresibilidad de los suelos bien graduados es casi nula y la de los suelos mal graduados es mayor que la de los suelos bien graduados.

Tabla 1. Clasificación de gradación del suelo.

Suelo	Arena		Grava	
Bien graduado	Cu > 4	1<Cc< 3	Cu > 6	1 <Cc< 3
Mal graduado	Cu < 4	Fuera de rango	Cu < 6	Fuera de rango

Por lo tanto, la permeabilidad del suelo mal graduado será mayor que la del suelo bien graduado. Los suelos bien graduados son más adecuados para la construcción que los suelos mal graduados (Tabla 1). Los resultados de la densidad y humedad de las muestras S1 y S2 se

obtuvieron del Laboratorio de Estudios Ambientales de la Facultad Regional San Nicolás – UTN, a través del método analítico con equipo OILM G 14 para el caso de la densidad, para la medición de la humedad en barros se empleó el equipo SM 2540 y para la determinación de pH se empleó pH metro, marca ADWA, modelo AD1000.

Resultados y discusiones

La compactación del suelo es el aumento de la densidad aparente y la correspondiente disminución de la porosidad del suelo provocada por las cargas aplicadas a él. En el caso de las maquinarias agrícolas, la compactación del suelo puede tener un impacto directo en el desgaste del acero, cuando la maquinaria tiene que trabajar en suelos compactados, necesita aplicar más fuerza para moverse a través de ellos y esto puede aumentar la fricción entre las piezas metálicas de la maquinaria, lo que a su vez puede provocar un desgaste prematuro en el acero. Además, la compactación del suelo puede generar vibraciones excesivas durante la operación de la maquinaria, lo que también contribuye al desgaste de las piezas de acero. Los parámetros fisicoquímicos: densidad, humedad y pH de las muestras de suelos se indican en (Tabla 2).Basándose en los valores de densidad, la muestra S2 presentaría mayor desgaste ya que a medida que aumenta la densidad aumenta el desgaste. En relación con el pH, (Napiorkowski, 2024) por tratarse de suelos con acidez menor a 5 se presume que inducirán mayores tasas de desgaste en relación con suelos con índice del orden de 6,5.

Tabla 2. Resultados de densidad y humedad de las muestras

Muestras	Densidad	Humedad	pH
S1 Guerrico	1,134 g/mL	11,4%	2,5
S2 Conesa	1,190 g/mL	11,0%	2,5

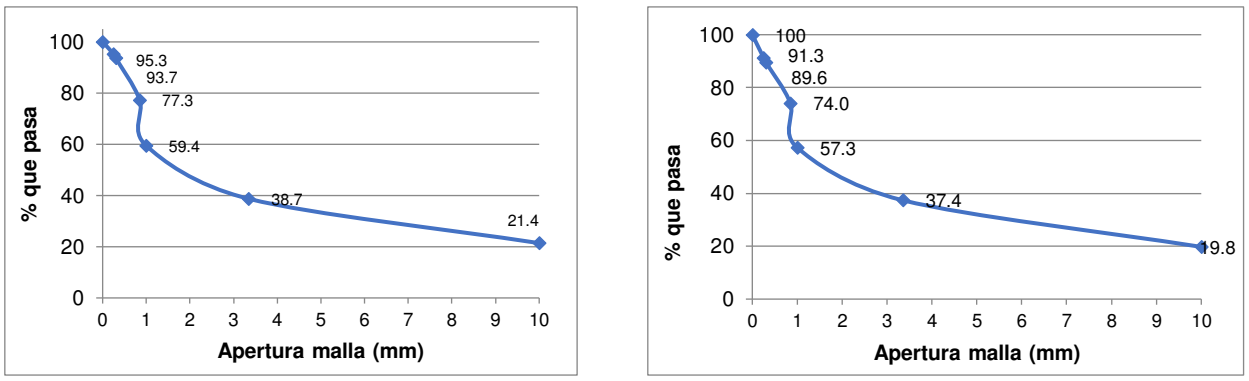
Debido a que la zona de donde se tomaron las muestras corresponde a la región de la pampa húmeda, en ambas muestras de tierra presentan valores elevados y similares de humedad, del orden del11%. En general, los suelos con contenidos de humedad intermedios son los más propensos a compactarse, mientras que los suelos muy secos o húmedos son menos susceptibles a la compactación. En este sentido, ambos tipos de suelo serían propensos a compactarse, por lo tanto, a generar una estructura más densa y provocar desgaste sobre maquinarias en servicio, debido a que la humedad también afecta la estructura y porosidad del suelo compactado. De acuerdo con algunos valores numéricos de referencia, ambas muestras presentan una humedad óptima de compactación, típicamente entre 10-20%(Iznaga, 2010). La humedad óptima es aquella que permite obtener la máxima densidad seca del suelo cuando se le aplica una determinada energía de compactación. Este rango de 10-20% es típico para la mayoría de los suelos, ya que tanto para humedades menores el suelo es más difícil de compactar y a humedades mayores,puesto que el exceso de agua dificulta la salida del aire de los poros, se reduce la efectividad de la compactación.

Otra de las variables importantes del suelo a la hora de analizar el desgaste que ocasiona en piezas metálicas, es la composición química del mismo. Se observa que el desgaste es mayor en mezclas que contienen una mayor proporción de grava, mientras que es menor en mezclas que contienen una mayor proporción de polvo y arcilla. En la mayoría de los estudios el suelo abrasivo está compuesto principalmente por partículas de sílice (SiO2) con una dureza de aproximadamente 1100 HV, lo que es significativamente mayor que la dureza del acero Hardox 500 utilizado en las pruebas (450 HV) (Ligier, 2020). Para los suelos muestreados en el presente trabajo (Tabla 3), por tratarse de suelos mal gradados, la composición de las muestras no contiene una distribución granulométrica homogéneaen relación con la cantidad y tamaño de las partículas. Vinculados con el desgaste, los únicos elementos en las masas de suelo a los que se le da relevancia es el silicio/sílice y cuarzo, también otros elementos como feldespato, los demás elementos presentes se descartan para el estudio de abrasividad de suelos debido a que no poseen dureza elevada que aporten a este fenómeno.

Tabla 3. Composición química de la muestra de suelo S1 y S2.

Elemento en Sólidos	M1 Guerrico	M2 Conesa	Elemento en Sólidos	M1 Guerrico	M2 Conesa
Hierro	2,2% p/p	1,8 % p/p	Plomo	<46 mg/ Kg	<46 mg/ Kg
Zinc	47 mg/Kg	41 mg/ Kg	Níquel	<10 mg/ Kg	<10 mg/ Kg
Cromo	<14 mg/ Kg	<14 mg/ Kg	Cobre	<22 mg/ Kg	<22 mg/ Kg
Arsénico	8,2 mg/ Kg	6,4 mg/ Kg	Manganeso	576 mg/ Kg	671 mg/ Kg

El tamaño de grano de las partículas abrasivas influye significativamente en el desgaste de la superficie del material. El ritmo de desgaste no sigue una relación directa con la proporción de la masa del polvo ni con el tamaño de grano más grande (Gomez, 2015). Para ese estudio particular, se encontró que el polvo con una distribución de tamaños de grano más uniforme, que contenía un 50% de partículas con tamaño de grano de 2 µm y un 50% de partículas con tamaño de grano de 6 µm, mostró un ritmo de desgaste mínimo. Esto se debe a que las partículas más grandes pueden penetrar más profundamente en la superficie del material y causar un desgaste más intenso, mientras que las partículas más pequeñas pueden causar un desgaste más superficial y menos intenso. A partir de los datos de tamizado obtenidos, se determinaron las curvas granulométricas acumuladas para ambas muestras (Fig. 2). De estos resultados, se puede observar quela curva de la muestra S2 presenta una pendiente más vertical que la S1 desde la apertura de malla 0 a 3 mm. La verticalidad de la S2 indica una reducida variabilidad en los tamaños de las partículas mientras que la curva de la S1muestra una gradación importante del tamaño de las partículas. Es decir, que se trata de un suelo más homogéneo con una buena distribución de los tamaños de partículas.



a) b)

Fig. 2. Curvas granulométricas acumulada, a) S1, b) S2

A continuación, se calculan los coeficientes de uniformidad y de curvatura de las partículas definidos anteriormentepara cada muestra los valores como se indican a continuación (Tabla 4). Los cálculos iniciales muestran que en suelos con granos finos mayores al 10%, al aumentar los valores de D10, D30, D60 y el tamaño efectivo, aumenta el desgaste de la herramienta. Sin embargo, en suelos con granos finos inferiores al 10%, al aumentar los parámetros antes mencionados, la abrasividad del suelo se reduce. También en suelos con más del 10% de granos finos, como se observa, el suelo de la muestra S1, constituido mayoritariamente por partículas finas y está mal gradado a partir del valor obtenido del parámetro Cu.

Tabla 4. Cálculo del coeficiente de uniformidad (Cu) y de curvatura (Cc).

Variable	S1	S2
D10	0,2675 mm	0,2478 mm
D30	0,5615 mm	0,4586 mm
D60	0,9922 mm	0,9833 mm
Cu	3,708	3,967
Cc	1,188	0,863

Comparando los valores calculados con los de la Tabla 1, se obtiene que la muestra de suelo no contiene grava por lo cual se estima que es un suelo suave sin partículas duras, a pesar de que el parámetro Cu estima que el suelo produce degaste en la maquinaria para la agricultura. Y comparando el valor del parámetro Cc se clasifica como suelo mal gradado debido a que Cu<4. Por su parte, el suelo de la muestra S2 posee granulometría uniforme dado que el coeficiente de uniformidad da Cu<5, es decir constituido por partículas finas y se trata de un suelo mal gradado de modo similar al caso anterior.Comparando los valores calculados con los de la Tabla 1, se obtiene que la muestra de suelo no contiene grava ni arena por lo cual se estima que es un suelo suave sin partículas duras, acompañado del valor delparámetro Cu, se estima que ambas muestras de suelo posean una alta compresibilidad consistente además con el nivel de humedad presentado, infiriendo que provocarán degaste en la maquinaria para la agricultura debido a que los granos finos actuarán como amalgamando a los granos gruesos y en consecuencia su compactación será mayor y el desgaste que provocará en las herramientas será también mayor que si el suelo contara solo con granos finos como expresa (Napiorkowski, 2024).

Conclusiones

De acuerdo con los resultados alcanzados en la caracterización de los dos tipos de suelos muestreados, si bien las curvas de distribución granulométrica no difieren demasiado entre las dos muestras analizadas, sería la Muestra S2 de Conesa la que podría generar mayor desgaste ya que se compactaría más fácilmente y poseer menor valor de coeficiente de uniformidad.

Referencias

Anguas, P. G., López, J. A. G., Suárez y Araujo L. E (1997). Efecto de rotura de granos en material de balasto bajo carga repetida. Publicación Técnica No. 91, Sanfandila.

Ansari T., Chakeri H., Darbor M., Amoun S., Shakeri H. (20244) Investigating effect of soil grading para meters on tool wear in mechanized tunneling using EPB-TBM mechine, Journal of Miniing and Environmental, (JME), vol. 15 N°1, 301-321.

CETIM. Los tratamientos antidesgaste y revestimientos de superficies (1998). Deformación Metálica. (España).

Chicoma Diaz, Daniel (2023) Mecánica De Suelos I Tema: Granulometría de los suelos. Facultad de Ingeniería y Arquitectura.

Gomez, V., Macedo, M., Souza, R.,Scandian, C. (2015). Effect of abrasive particle size distribution on the wear rate and wear mode in micro-scale abrasive wear tests. Wear. 328-329.

Iznaga, A., Herrera Suárez, M., Recarey Morfa, C., Bravo, E., Cueto, O. (2010). Determinación del desgaste de los aperos de labranzas de suelo en condiciones de campo. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. 19. 60-66.

Jakobsen, P.,Langmaack, L., Dahl, F.,Breivik, T. (2013). Development of the Soft Ground Abrasion Tester (SGAT) to predict TBM tool wear, torque and thrust. Tunnelling and Underground Space Technology. 38. 398-408.

Lee K. L., Farhoomand I. (1967), "Compressibility and crushing of granular soil in anisotropic triaxial compression", Canadian Geotechnical Journal, Volumen IV No. 1, Canada.

Ligier, Krzysztof & Napiorkowski, Jerzy &Lemecha, Magdalena. (2020). Effect of Abrasive Soil Mass Grain Size on the Steel Wear Process. Tribology in Industry. 42. 165-176.

Mohammad-Taghi H., Jamal R., Filip D., Macías, F.J., Pål Drevland, J. (2023). Wear of cutting tools in har4d excavation process: a critical review of rock abrasiveness testing methods. Rock mechanics and rock engineering, 56, 1843-1882.

Mohammad-Taghi H., Negin Rish Sefid M., Pål Drevland J. (2020). The effect of the particle size distribution curve on the abrasivity of non-cohesive soils in LCPC test, Tunnelling and Underground Space Technology Vol. 105, 103573.

Napiorkowski, J., Lemecha, M.,Rosiak, M.(2017). An analysis of the impact of soil mass pH on the wear process of steel. MATEC Web of Conferences. 94.

Napiórkowski J., Ligier K., LemechaM. (2023). Wear Processes of Abrasion-Resistant Materials in Soil Environments of Varying pH. Advances in Science and Technology Research Journal 2023, 17(3), 269–279-ISSN 2299-8624

CALIDAD MICROBIOLÓGICA DE BUDINES DE ZANAHORIA, ANANÁ Y NUECES ENVASADOS EN ATMÓSFERA MODIFICADA.

Katherinne Schmidt[1], Matias E. Zuriaga [1] Camila A. Bono[1]
Tutoras. Silvia A. Moyano[1]. Graciela N. Marín[1.]

1. Grupo de I+D en Alimentos e Ingeniería Química (GIDAIQ)
Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Villa María.
Av. Universidad 450. Villa María. (5900)
Email de contacto: katherinneschmidt9@gmail.com

Resumen

Actualmente se promueve adquirir una dieta diversificada, equilibrada y sana, incrementando el consumo de alimentos a base de ingredientes naturales para así fortalecer el sistema inmunológico, incorporando vitaminas y minerales. Tendiente a la conservación de sus propiedades nutricionales, el aumento de la vida útil y evitar el deterioro microbiológico, se emplea el envasado de atmósfera modificada. El objetivo de este trabajo es evaluar la calidad microbiológica de budines de zanahorias, ananá y nueces en distintas condiciones de envasado. Para ello se realiza la evaluación microbiológica de dos budines envasados al vacío y reemplazado con 30% CO2 y conservados en frío (refrigeración y en freezer), luego de 20 días de almacenamiento. Además, durante la elaboración fueron rociadas con sorbato de potasio al 0,2% para evitar el desarrollo de hongos superficiales. Las determinaciones microbiológicas utilizadas son Recuento de bacterias aerobias mesófilas, Recuento de *Staphylococcus aureus*, determinación de Enterobacterias y *Escherichia coli*. Los resultados de las determinaciones microbiológicas obtenidas iniciales (día 1) y finales (día 20) muestran que recuento de bacterias aerobias mesófilas, disminuyen en el 90% (considerando el valor promedio de las muestras analizadas). Esto puede asociarse al proceso de refrigeración de los budines. La ausencia de *Escherichia coli* y los bajos niveles (<10 UFC/g) de Enterobacterias y *Staphylococcus aureus* muestra la correcta manipulación en la elaboración del producto y su inocuidad. En relación a la determinación de hongos y levaduras también se observa una disminución de los valores obtenidos en el día 20 debida al efecto de la refrigeración. La cantidad inicial de hongos no supera 30 UFC/g. En las levaduras se encuentran 2 muestras con promedio de 1190 UFC/g. En conclusión, el envasado en atmósfera modificada en conjunto con la refrigeración garantiza la calidad microbiológica de estos budines no tradicionales durante al menos 20 días.

Palabras Clave: Budines de zanahoria. Envasado al vacío. Calidad microbiológica. Vida útil.

Introducción

En la actualidad, existen emprendimientos enfocados a elaborar alimentos saludables y nutritivos con la finalidad de fomentar a los consumidores a tener una vida más sana. El emprendimiento “Bretona” ubicado en la localidad de Villa María, provincia de Córdoba, se dedica a la producción de alimentos de alto valor nutritivo a partir de ingredientes no convencionales. Dentro de los productos ofrecidos se pueden mencionar, budines no tradicionales elaborados con diferentes harinas, frutas y frutos secos, pizzas a base de verduras, muffins, snacks salados y dulces, alfajores, tartas, entre otros. Al ser productos naturales el uso de conservantes es reducido y se emplean como método de conservación el envasado en atmósfera modificada en conjunto con la refrigeración para prolongar la vida útil de los alimentos.

En el marco de esta necesidad, surge el trabajo conjunto y el desarrollo de un proyecto de investigación entre la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Villa María (UTN-FRVM) y “Bretona”. El objetivo fue analizar la inocuidad alimentaria, durante un período de tiempo, de budines de zanahoria, ananá y nueces envasados en atmósfera modificada y al vacío con adición de sorbato de potasio y conservados en refrigeración. Los resultados de las muestras analizadas se compararon con los niveles establecidos por la normativa nacional del Código Alimentario Argentino (CAA, 2022), para indicar la inocuidad alimentaria de los mismos.

Materiales y métodos

Durante 2022 y 2023 se analizó la calidad microbiológica de dos lotes de budines de zanahoria, ananá y nueces envasados en atmosfera modificada. En el primer lote se analizaron 3 muestras (conservadas a temperatura ambiente, refrigeración y en freezer) después de 20 días de almacenamiento. En el segundo lote se evaluaron 7 muestras en el primer día y otras 7 conservadas durante 20 días entre 5 y 7°C. Las muestras fueron rociadas con una solución de propionato de calcio al 0,2% para evitar el desarrollo de hongos y levaduras (Han, 2020).

Además, a este último lote se le realizó la determinación de humedad por método gravimétrico indirecto por desecación en estufa con circulación forzada de aire, a presión atmosférica o a vacío. Se calcula el porcentaje en agua por la pérdida debida a su eliminación por calentamiento bajo condiciones normalizadas (García Martínez y Fernández Segovia, 2012).

Las determinaciones microbiológicas que se llevaron a cabo fueron las siguientes:

- **Recuento de bacterias aerobias mesófilas:** utilizando agar nutritivo por el Método de vertido en placa o profundidad (ICMSF, 2000; RENALOA, 2014) e incubando durante 48 horas a 35°C ± 1°C. Se determinó UFC/g.
- **Recuento de *Staphylococcus aureus*:** utilizando agar Baird Parker con yema de huevo y solución de Telurito e incubando durante 30 horas a 35°C ± 1°C. Se determinó UFC/g.
- **Determinación de enterobacterias:** usando el agar violeta-rojo-bilis-glucosa (VRBG) e incubando durante 48 horas a 35°C ± 1°C (ICMSF, 2000; RENALOA, 2014). Se determinó UFC/g.
- ***Escherichia coli:*** usando 10 ml caldo BRILA (caldo Bilis verde brillante) con 10 ml de la primera dilución e incubando a 44,5 ± 0,5°C, durante 24 horas. Se determinó ausencia/presencia/g.
- **Recuento de Hongos y Levaduras:** utilizando agar extracto de levaduras-glucosa -cloranfenicol e incubando durante 120 horas a 25ºC ± 1°C (ICMSF, 2000; ISO 21527-2. (2008) RENALOA, 2014). Se determinó UFC/g.

Finalmente, se realizó la Tinción de Gram a colonias desarrolladas en las placas de recuento total, enterobacterias y recuento de hongos y levaduras para determinar la morfología de los microorganismos desarrollados, los cuales fueron observados en microscopio óptico (Primo Star 3, Carl Zeiss) y fotografiados con cámara digital (Modelo AxioCam 208 color).

Resultados y discusiones

En la Tabla 1 se muestra los resultados obtenidos en la primera experiencia donde se evaluó la influencia de la temperatura en la conservación de los budines. En la misma se observa que la temperatura de refrigeración a los 20 días mantuvo la calidad y la inocuidad apta para el consumo. Estos resultados fueron comparables a los hallados en el estudio previo donde se alcanzó un recuento en el budín de zanahoria de 9,20 x 10 ^{2} UFC/g. En dicho trabajo se determinó la calidad de budines no tradicionales envasados al vacío en refrigeración (Ventura et al, 2022). En las Figuras 1 y 2 de observan las muestras analizadas en el segundo ensayo.

Tabla 1. Resultados de las determinaciones microbiológicas de muestras de budines de zanahoria, ananá y nueces (Lote 1) 20 días de elaboración

Determinaciones microbiológicas realizadas	Muestra temperatura ambiente	Muestra en refrigeración	Muestra en Freezer
Recuento de aerobios mesófilos UFC/g.	$2x10^{7}$	$3x10^{4}$	$2,4x10^{3}$

Enterobacterias UFC/g	<10	<10	<10
Escherichia coli /g	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Staphylococcus aureus coag.+ UFC/g	<10	<10	<10
Hongos y levaduras UFC/g	15	10	<10

* UFC: Unidades formadoras de colonia.

Figura 1. Muestras de budines (día 1)

Figura 2. Muestras de budines (día 20)

En la Tabla 2 se observan los resultados obtenidos de las determinaciones microbiológicas de las muestras de budines correspondientes a los días 1 y 20 desde su elaboración. Los resultados que se muestran son los promedios obtenidos tras realizar las determinaciones por septuplicado.
El análisis de humedad de los budines se realizó por triplicado obteniéndose un valor de 40,45 ± 1,38% Este valor indica que los budines son altamente favorables a ser contaminados por hongos y bacterias. El propionato de calcio fue efectivo para controlar la contaminación fúngica ya que es efectivo en panificados (Silvestre ,1995; Balerazo Espín, 2011).

Las determinaciones microbiológicas llevadas a cabo dan información acerca de parámetros relacionados con la inocuidad alimentaria.

Tabla 2. Resultados de las determinaciones microbiológicas de muestras de budines de zanahoria, ananá y nueces. (Lote 2) almacenado en refrigeración.

Determinaciones microbiológicas realizadas	**Día 1 Media (N° de muestras: 7)**	**Día 20 Media (N° de muestras: 7)**
Recuento Bacterias Aerobias Mesófilas (UFC/g)	221	23
Enterobacterias (UFC/g)	<10	<10
Escherichia coli /g	Ausencia	Ausencia
Staphylococcus aureus coag.+ UFC/g	< 10	< 10
Hongos y levaduras (UFC/g)	Hongos 19	Hongos <10
	Levaduras [<10 - 1600] 1190	Levaduras <10

* UFC: Unidades formadoras de colonias

Por un lado, el recuento de bacterias aerobias mesófilas (BAM) mide el grado de contaminación general del alimento en cuestión, mientras que la determinación de *Staphylococcus aureus* permite detectar la falta de higiene personal en la manipulación de alimentos. También, es importante analizar la cantidad de Enterobacterias presentes en el alimento, que, si bien es fundamental su determinación en productos de baja actividad acuosa, es importante considerarla como un indicador más de inocuidad alimentaria. Además, la presencia de hongos y levaduras en productos alimenticios es indeseable debido al gran porcentaje de humedad que presentan, lo que coincide con los budines no convencionales analizados, los cuales deben ser cuidadosamente controlados para evitar su desarrollo.

El recuento de bacterias aerobias mesófilas es menor a 420 UFC/g, siendo el promedio de 221 ufc/g. Estos valores fueron menores a los informados por Ventura et al. (2022).

En el recuento de BAM se observa una disminución del 90% en las muestras analizadas en el día 1 con respecto a las muestras procesadas a los 20 días en refrigeración.

Como se observa en la Tabla 2, en la determinación de levaduras, se encuentran 2 muestras con promedio de 1190 UFC/g. Solo una muestra tuvo un desarrollo de 1600 UFC/g. En la Figuras 3 se observa el desarrollo de colonias cremosas blancas en agar extracto de levaduras-glucosa-cloranfenicol y en la Figura 4 una imagen de la observación microscópica de las levaduras desarrolladas en la muestra 4 donde se encontró el mayor valor de UFC/g de 1600 (Tabla 2).

Fig.3 Levaduras en extracto de levaduras-glucosa - cloranfenicol agar
Muestra 4

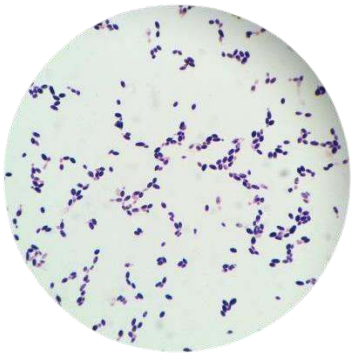


Fig.4 Levaduras observadas en microscopio (tinción de Gram)
Muestra 4

En el recuento hongos se observa una disminución de los valores obtenidos en el día 20 debido al efecto de la refrigeración. La cantidad inicial de hongos no supera las 30 UFC/g.

Finalmente, se llevó a cabo la determinación de la presencia/ausencia de *Escherichia coli*, microorganismo patógeno de origen fecal e indicador de gran relevancia al momento de determinar inocuidad alimentaria, no siendo encontrado en las muestras analizadas (Ausencia/g).

Conclusiones

Se concluye que el envasado en atmósfera modificada en conjunto con la refrigeración garantiza la calidad microbiológica de estos budines no tradicionales de zanahoria, ananá y nueces durante al menos 20 días.

Estos ensayos demostraron que no hubo desarrollo de microorganismos patógenos (Enterobacterias, *E. coli y Staphylococcus aureus)* y que la flora de bacterias aerobias mesófilas y fúngicas decreció en un 90% luego de 20 días en refrigeración.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional de Villa María, por brindar el espacio y la predisposición a la hora de utilizar sus recursos, y al cuerpo docente encargado de direccionar y especialmente a la Dra. Fernanda Biolé y Mg. Camila Bellotti en el desarrollo del presente trabajo que, sin sus conocimientos y vocación no hubiera sido posible.

Referencias

Balerazo Espín, J. P. (2011). *Evaluación del uso de propionato de calcio y sorbato de potasio en la estabilidad del pan precocido almacenado en refrigeración, para su comercialización en supermercados* (Tesis de Grado, Universidad Técnica de Ambato). Repositorio Universidad Técnica de Ambato. http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/3107

Han, J. (2020, Enero). *What is calcium propionate (E282) in food: Uses, safety, side effects*. Food Additives. Recuperado de https://foodadditives.net/calcium-propionate/

García Martínez, M., & Fernández Segovia, I. (2012). *Determinación de la humedad de un alimento por un método gravimétrico indirecto por desecación ETSIAMN.* Universitat Politècnica de València.

ICMSF. (2000). *Microorganismos de los alimentos, Volumen 1. Su significado y métodos de enumeración* (2ª ed.). Acribia, S.A.

ISO 21527-2. (2008). *Microbiology of animal feeding stuffs- Horizontal method for enumeration of yeast and moulds. Part 2. Colony count technique in products with water activity less than or equal to 0.95.*

RENALOA. (2014). *Red Nacional de Laboratorios Oficiales de Análisis de Alimentos (ReNaLOA). Análisis Microbiológico de los Alimentos. Metodología Analítica oficial Microorganismos Indicadores* (Vol. 3). Ministerio de Salud.

Silvestre, A. (1995). *Toxicología de los alimentos* (pp. 242-245). Buenos Aires, Argentina: Ed. Hemisferio Sur.

Ventura, B., Capellino, S. R., & Conci, F. R. (2022). *Conservación en refrigeración de budines no tradicionales envasados al vacío.* IDETEC 2022. UTN FrVM.

DISEÑO DE MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA TRANSFERENCIA DE OXÍGENO EN FERMENTADORES DE CERVEZA

Julián Avila, Romina Soressi, Ezequiel Godoy, German Campetelli, Roxana Martinet

Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnología de los Alimentos (CIDTA), Facultad Regional Rosario, Universidad Tecnológica Nacional, Zeballos 1341, Rosario, Santa Fe, Argentina
rmartinet@frro.utn.edu.ar

Resumen

La recuperación de la levadura de cerveza después de la fermentación es un aspecto crítico para la industria cervecera, ya que la salud y la actividad metabólica de la levadura influyen directamente en la calidad y el sabor del producto final. En este contexto, la oxigenación controlada del fermentado de mosto es una estrategia que favorece este proceso. La presencia de oxígeno al inicio de la fermentación es crucial para la síntesis de esteroles y ácidos grasos insaturados, componentes esenciales de las membranas celulares.

El objetivo de este proyecto fue evaluar las variables que optimicen las condiciones de oxigenación para el recupero de levaduras.

El primer ensayo se realizó en agua para definir las variables, verificar el funcionamiento del instrumento y la correcta instalación del equipo. Luego se ensayaron las muestras de mosto. Se midió la concentración de oxígeno, con oxímetro Milwaukee MW600, como una variable dependiente en función de: tiempo de oxigenación, volumen de líquido, posición del electrodo, revoluciones del agitador. Se dejaron fijos los siguientes parámetros: caudal de la bomba 7,5 L/min, temperatura y posición de la piedra aireadora.

Como resultado se pudo observar que en las condiciones de estudio se alcanza la saturación de oxígeno utilizando aire en un tiempo de 10 ± 2,5 min/L. Se propone seguir trabajando y extrapolar el estudio en el biorreactor a escala laboratorio y avanzar con la técnica de determinación del coeficiente global de transferencia de masa k_La para optimizar el proceso.

Palabras Clave: Oxigenación, Recuperación de levaduras, Cerveza artesanal, Transferencia de materia.

Introducción

En los últimos años se ha visto un crecimiento en la industria cervecera, tanto a nivel de pequeños como de medianos productores, por lo que esto llevó a la búsqueda continua de una mejor calidad y sabor en el producto final (Libkind et al. 2018). En este contexto, surge la oxigenación del mosto como una estrategia para aumentar la masa de levadura sembrada a través de una fermentación aeróbica y luego una fermentación alcohólica para generar el producto deseado, posteriormente el objetivo será recuperar y reutilizar la levadura después de la fermentación. La oxigenación es un aspecto crítico, no solo porque influye en la actividad metabólica y la salud de la levadura, sino que además genera un ambiente apto para que las mismas se puedan desarrollar y adaptar al medio (Curia et al. 2010).

Las levaduras de cerveza necesitan oxígeno como nutriente para poder multiplicarse de la mejor manera, éste está involucrado en el metabolismo de los esteroles que dan fluidez a las membranas celulares y colaboran en un proceso de división más eficiente y sano, por eso su presencia al inicio de la fermentación es fundamental (White, 2010).

Según Palmer (2006), se recomienda una concentración de oxígeno disuelto en mosto de cerveza al inicio de la fermentación de entre 8 y 12 ppm (mg/L).

Por otra parte, los autores del presente trabajo poseen experiencia y muestran antecedentes en el proceso de elaboración de cerveza y el recuperado de levaduras (Fajardo et al. 2022, Moreno et al. 2022). Sin embargo, hasta ahora el estudio del grupo se focalizó en el análisis de calidad de las mismas en pos de su reutilización, sin tener en cuenta la oxigenación como variable del proceso. El objetivo del presente trabajo es desarrollar un método experimental que permita evaluar esta variable para luego ejecutar el proceso de fermentación y recuperado de levaduras en forma completa.

Materiales y métodos

Para llevar a cabo las distintas determinaciones se requirieron los siguientes materiales:

- Vasos de precipitados de distintos volúmenes (Glassco).
- Agitador magnético Ionomex (con plancha calefaccionada).
- Piedra difusora acero inoxidable de 0,2 micrones.
- Bomba Atma AT-703, caudal hasta 8 l/min, con dos vías de oxigenación.
- Filtro Sartorius Ministart de 0.45 micrones.
- Medidor de oxígeno disuelto Milwaukee MW600.
- Termómetro de mercurio para laboratorio (0 - 100ºC), Everglass.
- Mangueras varias

La oxigenación del mosto antes de la fermentación puede realizarse con aire (proveniente de un compresor o aireador de pecera) u oxígeno puro. En el caso del aire antes de ingresar al fermentador éste debe ser filtrado para evitar el ingreso de microorganismos que contaminen el espacio de fermentación. Como alternativa superadora, la utilización de oxígeno puro (idealmente calidad medicinal) proporcionará un porcentaje mayor de oxígeno disuelto y una reducción del tiempo de operación, pero también impactará en los costos del producto final. Para el estudio que se presenta se utilizó un suministro de aire a través de una piedra aireadora intercalando un filtro de purificación del mismo.

Se armó el equipo de medición manteniendo fijos los siguientes parámetros: caudal de aire de la bomba: 7,5 L/min, temperatura y posición de la piedra aireadora. Se definió la concentración de oxígeno como una variable dependiente del tiempo de oxigenación, volumen del líquido, posición del electrodo de oxígeno disuelto (oxímetro) y las revoluciones del agitador, luego se procedió a realizar las mediciones propuestas.

Para optimizar y verificar el funcionamiento del equipo, la instalación y ajustar variables se realizaron inicialmente ensayos sobre agua de pozo y agua de ósmosis inversa (Fig. 1).

Fig. 1. Diseño del equipo: ensayos con agua

En los ensayos con los dos tipos de agua se utilizó un volumen de 400 ml, con la bomba en un caudal fijo de 7.5 l/min, 350 rpm en el agitador, la piedra se posicionó a 2 cm del fondo del vaso y se dejó funcionar el sistema por 20 minutos, realizando una lectura cada 30 segundos. En ambos casos el agua se utilizó a temperatura ambiente (20,5 ºC agua de ósmosis y 21,5 ºC agua de pozo). Cabe destacar que las muestras de agua fueron previamente hervidas para simular el proceso de mosto de cerveza que, al pasar por el proceso de ebullición (etapa de cocción), pierde en gran medida el oxígeno disuelto.

Una vez verificado el correcto funcionamiento y ajustadas las variables se realizaron los protocolos con mosto proveniente de la fermentación de una cerveza Blonde Ale (Fig. 2). Se trabajó con las mismas variables que en las determinaciones con agua, variando el volumen de mosto utilizado. El recorrido de volúmenes fue 400 ml, luego 800 ml y finalmente 1000 ml. Para estos casos, como el mosto fue conservado en refrigerador, la temperatura del mismo en los ensayos fue de 16 ºC, para respetar la temperatura de ingreso al fermentador.

Fig. 2. Ensayos con mosto de cerveza a 16 °C.

Resultados y discusiones

Para la evaluación de los resultados se relacionó la concentración de oxígeno disuelto [mg/L] en función del tiempo (minutos). A continuación, se presentan los resultados obtenidos en los ensayos con agua (Tabla 1) y los resultados obtenidos sobre el mosto (Tabla 2).

Tabla 1. Concentración de oxígeno en función del tiempo para agua.

Oxígeno disuelto [mg/L]					
Tiempo [min]	**Agua de pozo (400 ml)**	**Agua de ósmosis inversa (400 ml)**	**Tiempo [min]**	**Agua de pozo (400 ml)**	**Agua de ósmosis inversa (400 ml)**
0	3,7	4,1	10,5	8,4	8,2
0,5	4,4	5	11	8,4	8,2
1	5,1	6,2	11,5	8,4	8,2
1,5	5,7	6,9	12	8,4	8,3
2	6,2	7,4	12,5	8,4	8,3
2,5	6,6	7,7	13	8,4	8,3
3	6,9	7,9	13,5	8,4	8,3
3,5	7,2	8	14	8,4	8,3
4	7,4	8,1	14,5	8,4	8,3
4,5	7,6	8,2	15	8,4	8,3
5	7,5	8,3	15,5	8,4	8,3
5,5	7,9	8,3	16	8,4	8,3
6	8	8,3	16,5	8,4	8,3
6,5	8,1	8,3	17	8,4	8,3

7	8,1	8,3	17,5	8,4	8,3
7,5	8,2	8,3	18	8,4	8,3
8	8,2	8,3	18,5	8,4	8,3
8,5	8,2	8,4	19	8,4	8,3
9	8,2	8,4	19,5	8,4	8,3
9,5	8,2	8,5	20	8,4	8,3
10	8,2	8,4			

Tabla 2. Concentración de oxígeno en función del tiempo para mosto de cerveza.

Oxígeno disuelto [mg/L]							
Tiempo [min]	**Prueba 1 (400 ml)**	**Prueba 2 (800 ml)**	**Prueba 3 (1000 ml)**	**Tiempo [min]**	**Prueba 1 (400 ml)**	**Prueba 2 (800 ml)**	**Prueba 3 (1000 ml)**
0	5,1	5	4,9	10,5	8,8	8,8	8,5
0,5	5,8	5,4	5,3	11	8,8	8,8	8,6
1	6,8	6,2	6,1	11,5	8,8	8,8	8,6
1,5	7,6	6,9	6,7	12	8,8	8,8	8,6
2	8,1	7,5	7,2	12,5	8,8	8,8	8,7
2,5	8,4	7,8	7,5	13	8,8	8,8	8,7
3	8,6	8,1	7,8	13,5	8,8	8,8	8,7
3,5	8,7	8,4	8	14	8,8	8,8	8,7
4	8,8	8,5	8,1	14,5	8,8	8,8	8,7
4,5	8,8	8,6	8,2	15	8,8	8,8	8,7
5	8,8	8,7	8,2	15,5	8,8	8,8	8,7
5,5	8,8	8,7	8,3	16	8,8	8,8	8,7
6	8,8	8,8	8,4	16,5	8,8	8,8	8,7
6,5	8,8	8,8	8,5	17	8,8	8,8	8,7
7	8,8	8,8	8,5	17,5	8,8	8,8	8,7
7,5	8,8	8,8	8,5	18	8,8	8,8	8,7
8	8,8	8,8	8,5	18,5	8,8	8,8	8,7
8,5	8,8	8,8	8,5	19	8,8	8,8	8,7
9	8,8	8,8	8,5	19,5	8,8	8,8	8,7
9,5	8,8	8,8	8,5	20	8,8	8,8	8,7
10	8,8	8,8	8,5				

Si representamos gráficamente estos valores teniendo en cuenta solo los primeros 8 minutos para ver claramente la dinámica de cada ensayo (ver Figura 3) se pueden observar simultáneamente el comportamiento de las distintas muestras.

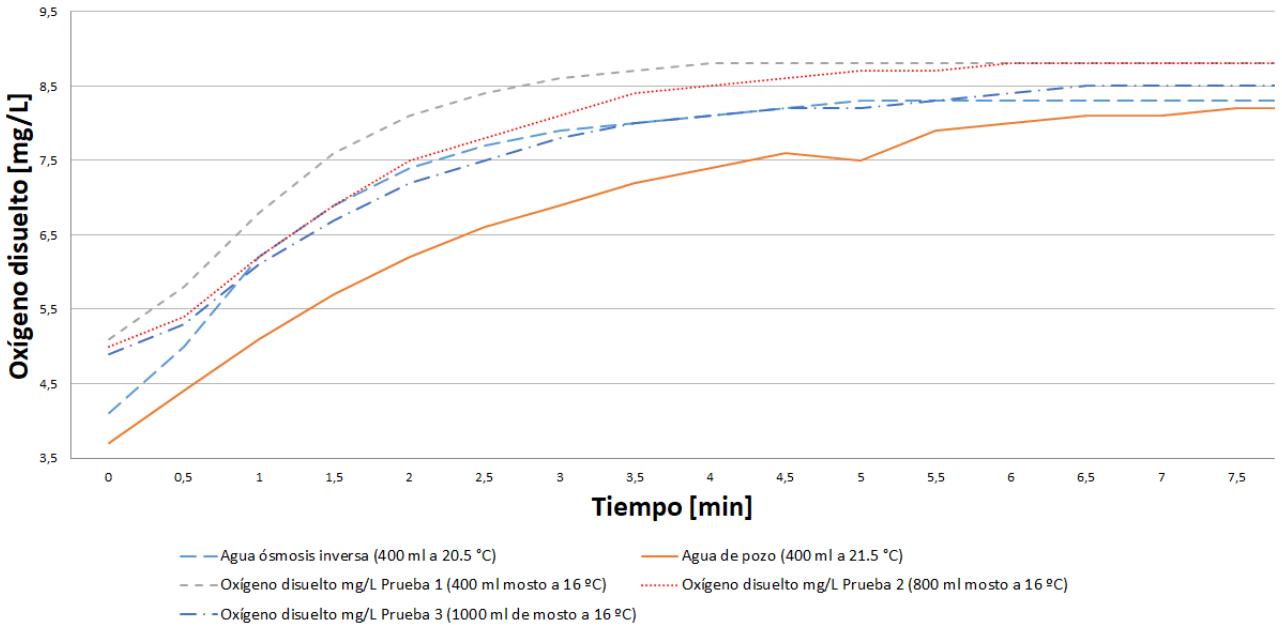


Fig. 3. Comportamiento de todas las muestras.

Del análisis de las tablas y la gráfica podemos destacar lo siguiente:

1. Tanto el agua de pozo como el agua de ósmosis parten de concentraciones de oxígeno disuelto más bajas (3,7 y 4,1 mg/L) en comparación con las muestras de mosto (5,1 5 y 4,9 mg/L), esto se debe a que estas muestras pasaron por procesos de hervido diferentes y el mosto posee una composición e interacciones de componentes compleja.
2. Las muestras de agua presentan una dinámica más lenta y alcanzan valores de saturación más bajos. Esto se debe a que estas muestras, a diferencia de las muestras de mosto, se encontraban a temperatura mayor que la temperatura del mosto.
3. Como se esperaba, a mayor volumen de muestra a oxigenar, la dinámica de oxigenación o difusión es más lenta y es mayor el tiempo en alcanzar la saturación. A pesar de esto, para el mayor volumen de mosto (1000 ml) se alcanzó una concentración de oxígeno disuelto levemente menor en comparación con las muestras más chicas (8,7 vs 8,8 mg/L).
4. En todos los casos, por más que continúe el proceso de oxigenación pasados los 12 minutos, no se logra aumentar la concentración de oxígeno disuelto dando indicio de que se alcanzó la saturación en las condiciones ensayadas.

Entonces, basados en los ensayos realizados con mosto en función del volumen de líquido a oxigenar y los resultados obtenidos (Fig. 3), podemos decir que se alcanza la saturación de oxígeno utilizando aire en un tiempo de 10 ± 2,5 min/L (ver Tabla 3). Pasados los 13 minutos, aún continuando con la oxigenación, no se logró aumentar la concentración de oxígeno disuelto en las diversas matrices (Tablas 1 y 2) y se asumió la condición de saturación.

Tabla 3. Relación tiempo saturación / Volumen de mosto.

Volumen [L]	Tiempo [min]	Relación [min/L]
0,4	4	10
0,8	6	7,5
1	12,5	12,5
Promedio		**10**
Desv. Est.		**2,5**

Como se observa, la saturación alcanzada con mosto fue mayor, en parte debido a la menor temperatura que tenían las muestras (Ley de Henry de solubilidad de los gases: a menor temperatura mayor solubilidad) (Barrow, 1983), y en parte debido a la mayor interacción entre el oxígeno y las sustancias presentes en el mosto (proteínas, hidratos de carbono, lípidos, iones, etc.).

Conclusiones

Con el diseño de experimento ejecutado, en todos los casos se alcanzó la mínima concentración de oxígeno disuelto requerida por el proceso de acuerdo con Palmer (2006), lo que permite dar por cumplido el objetivo propuesto por el grupo de trabajo. Esto motiva a los autores del presente trabajo a continuar con la siguiente etapa del estudio que consiste en realizar ensayos en fermentadores con células y así evaluar los rendimientos obtenidos en la fermentación. Se van a poner a punto distintas técnicas para la determinación del coeficiente global de transferencia de masa k_La en biorreactores para optimizar el proceso de oxigenación y se harán pruebas adicionales con otras variables como por ejemplo el uso de oxígeno puro en vez de aire (aumentar la presión parcial del oxígeno en el gas utilizado).

Agradecimientos

Los autores del presente trabajo agradecen a la Micro-cervecería Zahlen SRL por proveer el mosto para realizar los estudios.

Referencias

Barrow, G. M. (1983). *Fisicoqu□mica*. Editorial Reverte.

Curia, M. V., D'Alessandro, O. & Briand, L. E. (2010). La Enseñanza de Conceptos en Biotecnología a través de un Experimento Sencillo y Económico. *Formación universitaria*, 3(1), 27-30. https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50062010000100005.

Fajardo, N., Ferritto Fernández, A. C., Rudolf, L., Campetelli, G., Godoy, E., Martinet, R. (2022). *Especificación de variables operativas para la producción artesanal de cerveza a escala laboratorio.* VIII Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos (CICyTAC 2022). Córdoba, Argentina.

Libkind, D., Bruzone, C. y Stanciu, I. (2018). *Estudio del mercado de la cerveza artesanal en Argentina.* Instituto Andino Patagónico de Tecnologías Biológicas y Geoambientales. https://ipatec.conicet.gov.ar/wp-content/uploads/sites/72/2019/06/Resumen-estudio-del-mercado-cervecero-artesanal-argentino_Actualizaci%C3%B3n_Dic2018-1.pdf.

Moreno, A., Stüber, Y., Godoy, E., Martinet, R. y Campetelli, G. (2022). *Recuento de levadura cervecera para aplicaciones en escala micro industrial*. Jornadas de Ciencia y Tecnología. San Francisco, Córdoba, Argentina.

Palmer, J. (2006). *How to Brew: Everything You Need To Know To Brew Beer Right The First Time*. Brewers Publications.

White, C., Zainasheff, J. (2010). *Yeast: the practical guide to beer fermentation*. Brewers Publications.

OPTIMIZACIÓN DE LA RECUPERACIÓN Y REUTILIZACIÓN DE LEVADURAS EN PEQUEÑA ESCALA PARA LA PRODUCCIÓN DE CERVEZA ARTESANAL

Gianfranco Boz Magni, Tobías Aramburu, Luana Zapata, Milagros Rubio Bonnet, Sofia Rey, Candela Modica, Ezequiel Godoy, Germán Campetelli, Roxana Martinet

Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnología de Alimentos (CIDTA), Facultad Regional Rosario, Universidad Tecnológica Nacional, 2000, Rosario, Santa Fe, Argentina
guadamar67@gmail.com

Resumen

En la producción de cerveza artesanal, las levaduras son generalmente una materia prima importada que se descarta luego de la fermentación, desaprovechando el potencial para reducir costos mediante su recuperación y reutilización. El objetivo del presente trabajo fue analizar las posibilidades de recuperación y reutilización de dos levaduras comerciales usualmente utilizadas en la industria para la producción de cerveza artesanal.

Se realizaron fermentaciones a temperatura ambiente y durante 1 semana en ampolla de decantación con dos levaduras comerciales liofilizadas, SafAle S-04 y S-05 (Fermentis by Lesaffre, Francia). Se recuperaron las levaduras generadas, con excepción de las retenidas en el vástago de la ampolla, y se realizaron los conteos en cámara de Neubauer para determinar viabilidad y concentración celular. Las levaduras recuperadas se utilizaron en nuevas fermentaciones, donde se inoculó la masa celular sobre mosto oxigenado durante 1 hora a los efectos de promover la iniciación del crecimiento microbiano.

Se observó una baja viabilidad inicial para las cepas comerciales S-04 y S-05 de 62,52 ± 1,90 % y 56,82 ± 1,71 %, respectivamente. Por su parte, para las levaduras recuperadas, se observaron viabilidades de hasta 88,16 ± 4,25 % y 96,44 ± 0,76 %, respectivamente. Asimismo, en todos los casos la masa recuperada de levaduras y la cantidad de células presentes en la misma fueron suficientes para inocular el siguiente batch de producción de cerveza. Se concluye entonces que es posible recuperar ambas cepas de levaduras, en cuanto a su viabilidad y masa, para la utilización en fermentaciones sucesivas. Como trabajo futuro, se plantea realizar comparaciones adicionales con otros tipos o cepas de levaduras, por ejemplo, levaduras líquidas de producción nacional, a los fines de evaluar la factibilidad para su recuperación y reutilización.

Palabras Clave: Cerveza artesanal, Levaduras recuperadas, Reutilización, Viabilidad.

Introducción

La cerveza es una de las bebidas más consumidas en todo el mundo, y se ha observado un notable aumento en el número de productores artesanales a nivel internacional y en Argentina (Libkind et al., 2018). Este fenómeno se enmarca en mercados caracterizados por su historia, marco legal, política fiscal, innovación, seguridad, salud, perfil del consumidor y sostenibilidad. La producción artesanal se distingue por la elaboración en pequeñas cantidades, la variedad de ingredientes y su consumo predominante en restaurantes y bares (Baiano, 2021).

Cada materia prima e insumo, como agua, malta, lúpulo, coadyuvantes y levaduras, desempeña un papel crucial en el proceso productivo de las cervezas artesanales, afectando las características fisicoquímicas y sensoriales del producto final (Ortega et al., 2023; Salazar Tijerino et al., 2023). En particular, se emplean diversas cepas de *Saccharomyces cerevisiae*, conocidas por su capacidad

para producir dióxido de carbono y etanol durante la fermentación, utilizando principalmente monosacáridos (glucosa, fructosa, manosa), disacáridos (maltosa, sacarosa) y trisacáridos (rafinosa) como nutrientes fundamentales (White & Zainasheff, 2010).

En el contexto productivo argentino, las levaduras representan un componente significativo en el costo final del producto, ya que en la mayoría de los casos se utilizan cepas importadas para lograr los perfiles de aroma y sabor deseados por los productores (Martinet et al., 2023). Estas cepas no suelen ser recuperadas o reutilizadas entre lotes debido al riesgo de alteraciones que podrían afectar negativamente las características sensoriales de la cerveza (Karlović et al., 2020) o el aseguramiento del cumplimiento de los estándares de calidad establecidos. Este trabajo de investigación tiene como objetivo estudiar la factibilidad de recuperar levaduras para su uso en fermentaciones sucesivas, mediante la evaluación de la evolución de la viabilidad y concentración de células de las levaduras recuperadas, para dos variedades comerciales de *Saccharomyces cerevisiae* liofilizadas.

Materiales y métodos

Materiales

Para la elaboración de cerveza, se utiliza mosto producido por una cervecería artesanal a partir de malta tipo Pilsen (Boortmalt, Argentina), agua potable filtrada y desodorizada. Para la fermentación de dicho mosto, se utilizaron dos cepas comerciales de levaduras liofilizadas, SafAle S-04 y S-05 (Fermentis by Lesaffre, Francia). Todos los reactivos químicos utilizados fueron de grado analítico (Cicarelli, Argentina). También se utilizó SpringFerm BR-2 (Fermentis, Francia) como micronutriente.

Método de elaboración de cerveza a escala de laboratorio

El equipamiento utilizado para la fermentación del mosto consistió en una ampolla de decantación de 500 ml. El proceso de preparación para la corrida de fermentación comienza con la activación de la levadura liofilizada a utilizar, que se realiza rehidratando la misma en una relación 1:20 con mosto a 20 °C durante 15 minutos, agitando suavemente a intervalos regulares. Luego, las levaduras se agregan en la ampolla de decantación que había sido previamente esterilizada y completada con 300 ml de mosto. La boca de la ampolla se cierra con algodón y papel de filtro, que hacen las veces de un cierre de aire (i.e. un “airlock” que permite salir al dióxido de carbono generado en la fermentación, manteniendo a la vez una pequeña sobrepresión dentro de la ampolla para impedir el ingreso de aire).

Se deja fermentar durante 1 semana donde se miden diariamente la densidad y °Brix de la cerveza mediante la extracción de una pequeña muestra con una jeringa estéril. Terminado el proceso fermentativo, se procede a la cosecha de las levaduras para su recuento y conservación para la siguiente fermentación. En las sucesivas fermentaciones, se procede de manera similar que en el primer ciclo de fermentación, utilizando la totalidad de la masa de levaduras recuperada en la fermentación previa. Antes de agregar las levaduras recuperadas, se adiciona al mosto una pequeña cantidad de micronutriente SpringFerm BR-2, que contiene extracto de levaduras rico en factores de crecimiento, sulfato de zinc y sulfato de manganeso, para asistir el proceso de reproducción microbiano. A los mismos efectos, se oxigena el mosto durante una hora con aire filtrado insuflado mediante una pequeña bomba, para alcanzar concentraciones de oxígeno de

alrededor de 8 ppm. Cada lote de fermentación comienza al finalizar el anterior, por el que el proceso de recuperación de levaduras, recuento, preparación del mosto, e inoculación del siguiente batch se realizan durante la misma sesión.

Método de recuperación de levaduras

Debido a que las cepas de levaduras utilizadas son "de fondo", durante la fermentación las mismas decantan al fondo de la ampolla, se reproducen y forman una masa viscosa. Para el recuperado de las levaduras, se retira el cierre que sella la ampolla, se retira por la boca superior la cerveza mediante un sifón procurando no remover las levaduras sedimentadas, y luego se vierte la crema de levaduras en un recipiente estéril con ayuda de una espátula metálica.

La masa de levaduras remanente en el vástago por sobre el robinete de la ampolla es desechada, ya que se corresponde a la fracción con mayor fracción de células muertas al ser las primeras en decantar durante el proceso de fermentación, fenómeno que se conoce como estratificación (Kunze, 2006).

Método de recuento de levaduras

El recuento de las levaduras se realiza a través del método de tinción con azul de metileno (Dalmasso et al, 2020; Moreno et al, 2022). Se realizan diluciones de las muestras de levadura hasta 1:50. Como indicador, se utiliza una solución de azul de metileno al 0.01% con el fin de diferenciar las células vivas de las células muertas, donde éstas últimas se tiñen de un color azul intenso. Para realizar el recuento en microscopio, se utiliza una cámara Neubauer espejada. Se toman imágenes fotográficas con cámara digital acoplada al microscopio de 5 recuadros de la retícula de la cámara de Neubauer. El recuento se realiza luego manualmente. Una vez contabilizados el número de células vivas y de células muertas, se determina la viabilidad de las levaduras recuperadas según la Ec. (1).

$$Viabilidad\ (\%) = \frac{Cantidad\ \ total\ de\ células - Cantidad\ \ de\ células\ muertas}{Cantidad\ total\ de\ células} * 100 \quad (1)$$

La concentración de células de las levaduras recuperadas se calcula según la Ec. (2).

$$Concentración\ de\ células\ \left(\frac{cel}{g}\right) = Cantidad\ total\ de\ células * 10000 * factor\ de\ dilución \quad (2)$$

La masa de levaduras recuperadas a inocular en el siguiente lote se obtiene a partir de la Ec. (3).

$$Masa\ de\ levaduras\ a\ inocular\ (g) = \frac{Concentración\ deseada\ \left(\frac{cel}{g}\right) * Cantidad\ de\ mosto\ (g)}{Concentración\ de\ células\ \left(\frac{cel}{g}\right)} \quad (3)$$

Análisis estadístico

Los resultados experimentales se analizaron estadísticamente mediante ANOVA de un factor, con un nivel de significancia de $p < 0,05$. Se indica también la existencia de diferencias significativas entre los resultados experimentales con diferentes letras obtenidas mediante pruebas post-hoc de Tukey. Los resultados se presentan como los valores medios y sus desviaciones estándar. Los análisis estadísticos se realizan en el software R-4.3.2.

Resultados y discusiones

La Fig. 1 presenta, a modo de ejemplo, dos imágenes utilizadas para el recuento del número de células vivas y de células muertas para muestras de las cepas de levadura comerciales S-04 y S-05 que fueron rehidratadas en una relación 1:20 con mosto a 20 °C durante 15 minutos, antes de su utilización en el proceso de fermentación en laboratorio.

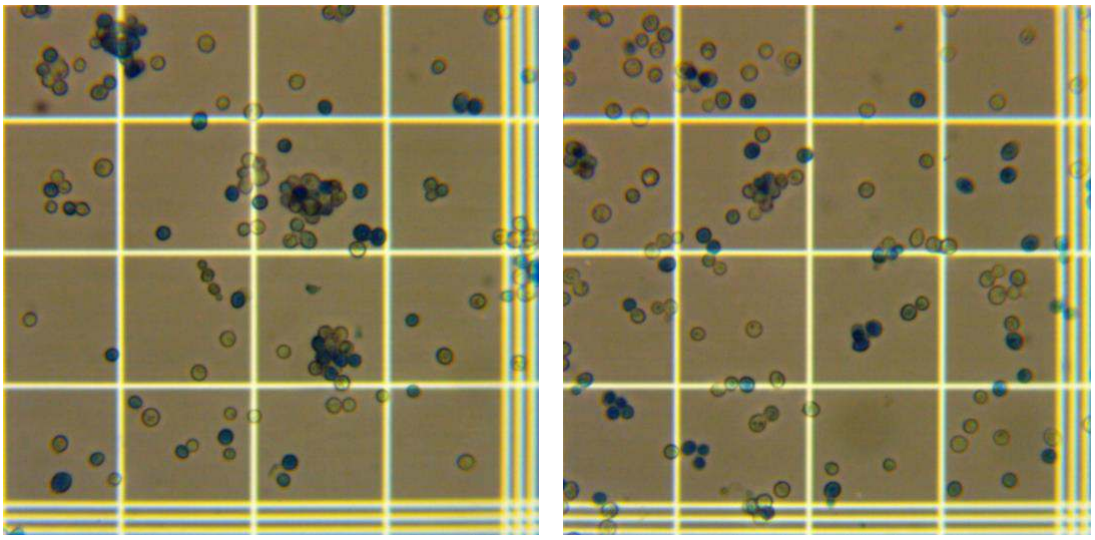


Fig. 1. Imágenes utilizadas para el recuento de células vivas y muertas en cepas de levadura comerciales S-04 (izquierda) y S-05 (derecha).

La viabilidad inicial de las cepas comerciales de levaduras liofilizadas S-04 y S-05 fue baja, con valores de 62,52 ± 1,90 % y 56,82 ± 1,71 %, respectivamente. Estos valores de viabilidad pueden conducir a sobreestimar el número de células que se utilizaron efectivamente para iniciar la fermentación, ya que para obtener un número dado de células vivas, se debería agregar aproximadamente el doble de la masa inicial del polvo de levaduras liofilizadas. Se destaca que no se han hallado referencias bibliográficas que reporten valores similares.

Como muestra la Fig. 2, la viabilidad de ambas cepas de levaduras registra un aumento significativo a partir de la primera semana de fermentación, alcanzando valores de 74-88 % para la cepa S-04 y de 71-96 para la cepa S-05. A pesar de seguirse esta experiencia hasta la sexta semana de fermentación, en base a la tendencia observada en la viabilidad de las levaduras recuperadas, se puede inferir que se podría continuar realizando ciclos adicionales de fermentación y recuperación de levaduras manteniendo un valor adecuado de esta propiedad.

En el mismo sentido, la Fig. 3 muestra que la concentración de células de las levaduras recuperadas es significativamente superior a la concentración de células de los polvos de levaduras liofilizados comerciales. Asimismo, se destaca que en todos los casos la masa recuperada de levaduras y la cantidad de células presentes en la misma fueron suficientes para inocular el siguiente batch de producción de cerveza. Estas tendencias indican que las condiciones de la fermentación (temperatura, oxigenación, adición de micronutrientes, cantidad de levaduras recuperadas utilizadas) favorecieron la reproducción celular, a la vez que el método de recuperación de levaduras permitió rescatar las fracciones con mayor cantidad de células vivas y descartar las fracciones con mayor cantidad de células muertas.

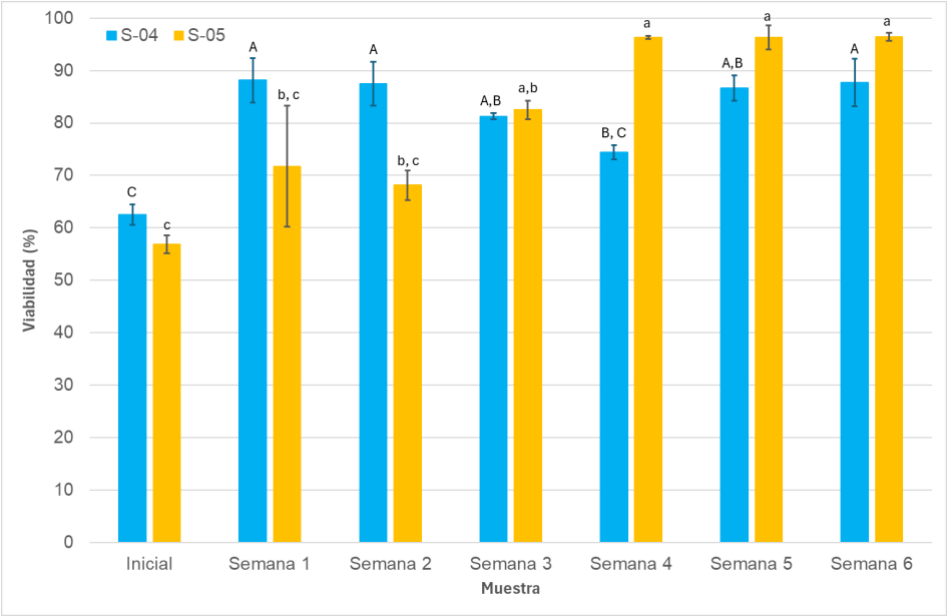


Fig. 2. Evolución de la viabilidad para la muestra inicial de levaduras y para las levaduras recuperadas a lo largo de las 6 semanas de fermentación (diferentes letras sobre columnas de un mismo color indican diferencias significativas entre distintas muestras de una misma cepa).

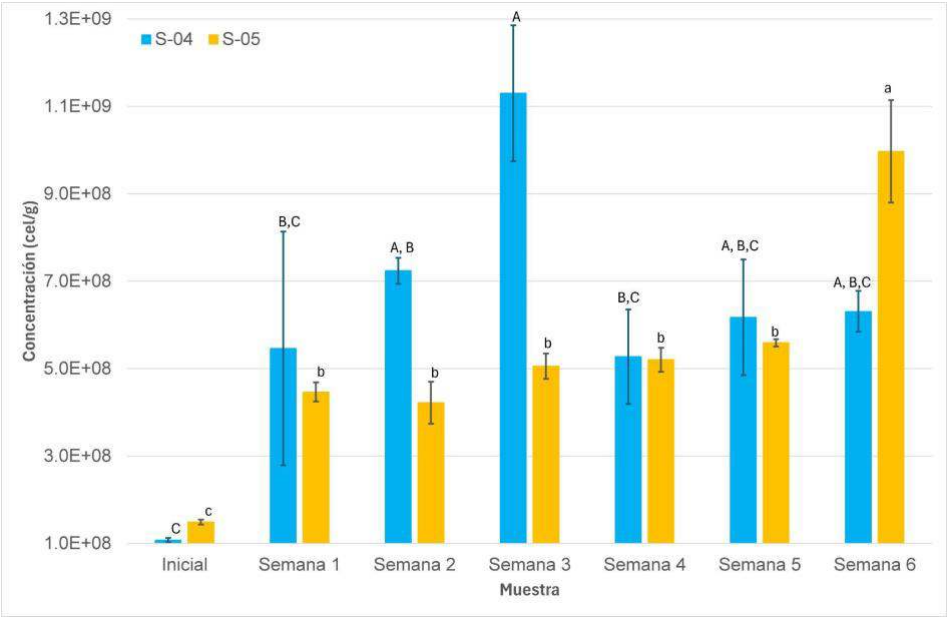


Fig. 3. Evolución de la concentración de células para la muestra inicial de levaduras y para las levaduras recuperadas a lo largo de las 6 semanas de fermentación (diferentes letras sobre columnas de un mismo color indican diferencias significativas entre distintas muestras de una misma cepa).

Conclusiones

La producción de cerveza artesanal es el sustento económico de un sinfín de productores y familias alrededor del mundo, por lo que resulta de importancia portar alternativas para mejorar las condiciones productivas, así como minimizar el descarte de un insumo tan costoso como la levadura al poder reutilizar la misma en la producción de múltiples batchs sucesivos de producto. En vistas de los resultados experimentales obtenidos, se concluye que el recuperado de levaduras es viable

desde el punto de vista operativo, siendo favorable la aplicación del método ensayado para la producción de cerveza artesanal.

Se propone seguir investigando la temática a los efectos de considerar otras alternativas (biorreactor a mayor escala, diferentes cepas de levaduras) que permitan que las experiencias desarrolladas sean lo más cercanas posibles a la realidad del productor artesanal. Asimismo, se prevé evaluar las características sensoriales de las cervezas obtenidas utilizando las levaduras recuperadas, ya que la calidad del producto final suele ser la principal preocupación del productor para la implementación efectiva de la recuperación y reutilización de levaduras.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Tecnológica Nacional por el financiamiento a través del proyecto ECA8080TC, y a las cervecerías artesanales Zahlen SA de Arroyo Seco y Kalber de Rosario, por el suministro de materias primas y el apoyo técnico brindado.

Referencias

Baiano, A. (2021). Craft beer: An overview. Comprehensive reviews in food science and food safety, 20(2), 1829-1856. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12693
Dalmasso, L. P., Gallace, M. E., Cenizo, V. J., Caramutti, V. E., & Ruíz Espínola, M. (2020). Microbiología cervecera: manual teórico práctico. Universidad Nacional de La Pampa. https://repo.unlpam.edu.ar/handle/unlpam/7356
Karlović, A., Jurić, A., Ćorić, N., Habschied, K., Krstanović, V., & Mastanjević, K. (2020). By-products in the malting and brewing industries—re-usage possibilities. Fermentation, 6(3), 82. http://dx.doi.org/10.3390/fermentation6030082
Kunze, W. (2006). Tecnología para cerveceros y malteros. Berlin, Germany: VLB Berlin.
Libkind, D., Bruzone, C. Stanciu, I. (2018). Estudio del mercado de la cerveza artesanal en Argentina. Instituto Andino Patagónico de Tecnologías Biológicas y Geoambientales. https://ipatec.conicet.gov.ar/wp-content/uploads/sites/72/2019/06/Resumen-estudio-del-mercado-cervecero-artesanal-argentino_Actualizaci%C3%B3n_Dic2018-1.pdf
Martinet, R., Campetelli, G., Godoy, E., Stüber, Y., Moreno, A., Ferritto Fernandez, A.C., Rey, S., Fajardo, N., Rubio Bonnet, M., Rudolf, L. Modica, C. (2023). Diseño de un proceso de producción de cerveza a escala laboratorio en vistas de optimizar el proceso de recuperación de levaduras en cervecerías artesanales, XVIII Congreso Argentino de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CYTAL 2023). https://ria.utn.edu.ar/handle/20.500.12272/10777
Moreno, A., Stüber, Y., Godoy, E., Martinet, R. Campetelli, G. (2022). Recuento de levadura cervecera para aplicaciones en escala micro industrial, Jornadas de Ciencia y Tecnología 2022 (JCT 2022).
Ortega, M., Martinet, R., & Campetelli, G. (2023). Caracterización fisicoquímica de maltas de cebada disponibles para la industria de la cerveza artesanal Argentina. Revista de Ciencia y Tecnología, (39), 2-2. https://doi.org/10.36995/j.recyt.2023.39.002
Salazar Tijerino, M. B., San Martín-González, M. F., Velasquez Domingo, J. A., & Huang, J. Y. (2023). Life Cycle Assessment of Craft Beer Brewing at Different Scales on a Unit Operation Basis. Sustainability, 15(14), 11416. https://doi.org/10.3390/su151411416
White, C., Zainasheff, J. (2010). Yeast: the practical guide to beer fermentation. Brewers Publications. https://www.brewerspublications.com/products/yeast-the-practical-guide-to-beer-fermentation

EVALUACIÓN DE COMPORTAMIENTO AL DESGASTE Y A LA CORROSIÓN DE AISI 316L NITROCARBURADO POR PLASMA

Ariana Mendelevich[1]
Tutor: Eugenia L. Dalibón[1]
[1]Grupo de Ingeniería en Superficies (GIS), FRCU, Universidad Tecnológica Nacional. Ingeniero Pereyra 676, E3260.
Contacto: mendelevichari@gmail.com

Resumen

Los aceros inoxidables austeníticos se caracterizan por tener un buen comportamiento a la corrosión e integridad mecánica frente a ambientes agresivos, debido a su elevado contenido de cromo y níquel. Dentro de los tratamientos de modificación superficial asistidos por plasma, la nitrocarburación es un proceso donde la difusión de nitrógeno y carbono se da sobre la superficie del acero, formando una capa superficial constituida por carbonitruros, nitrógeno y carbono en solución sólida que mejora el rendimiento del material base.

El objetivo de este trabajo es analizar y comparar el comportamiento al desgaste y a la corrosión de dos grupos de muestras de acero AISI 316L nitrocarburadas a 430°C durante 4 horas en un plasma de nitrógeno-hidrógeno, utilizando barras de grafito como precursor sólido de carbono. Se realizaron dos tipos de tratamientos: una nitrocarburación tradicional con tensión en las muestras (*direct glow*) y en las barras, mientras que en el segundo caso las muestras quedaron a potencial flotante (*after glow*).

Para analizar los resultados se midió el espesor de la capa afectada por el tratamiento mediante microscopia óptica, de donde se obtuvieron valores de (5.1 ± 0.5) μm and (6.2 ± 0.3) μm para las muestras con *after glow* y *direct glow*, respectivamente. A su vez, se midió la dureza en la superficie utilizando un indentador Vickers, con cargas de 25 y 50 gramos.

El comportamiento al desgaste fue evaluado por medio de ensayos Pin-on-Disk y a la corrosión mediante ensayos electroquímicos en una solución de NaCl al 3,5%.

Como resultado de los ensayos realizados fue posible determinar que las muestras tratadas con direct glow presentaron mayor dureza y significativamente mejor comportamiento al desgaste que las muestras tratadas con after glow. Por otro lado, las muestras de after glow mostraron mejores resultados en los ensayos de corrosión.

Palabras Clave: AISI 316L, nitrocarburación, desgaste, corrosión, *after glow*.

Introducción

La ingeniería de superficies de aceros inoxidables austeníticos se ha establecido como una herramienta fundamental para optimizar el comportamiento tribológico del material base, en particular su resistencia al desgaste, complementando así su integridad mecánica en ambientes corrosivos (Pitter, 2018).

Una de las metodologías más importantes de esta disciplina se trata de los tratamientos termoquímicos, dentro de los cuales la nitrocarburización es utilizada principalmente para mejorar las propiedades de la superficie de metales ferrosos, como el acero, en el que por difusión de nitrógeno y carbono se altera su microestructura, aumentando así la resistencia a la corrosión y al desgaste sin comprometer las propiedades intrínsecas del material (Böcker, 2020).

Mientras que el tratamiento a altas temperaturas acelera la difusión intersticial de átomos de N y/o C, lo cual permite la formación de austenita expandida en un tiempo de tratamiento aceptable, las altas temperaturas también aceleran la difusión sustitucional de Cr. Para evitar la formación de fases de nitruro y carburo de cromo, que son perjudiciales para la resistencia a la corrosión del material, los tratamientos termoquímicos suelen realizarse como procesos de baja temperatura, del orden de

400 °C a 500 °C, lo cual, sin embargo, también depende de la duración y condiciones del tratamiento (Jafarpour, 2024).

En este trabajo se evaluó el comportamiento al desgaste y a la corrosión de dos tratamientos de nitrocarburación de corta duración, una nitrocarburación tradicional con tensión en las muestras (direct glow) y en las barras, mientras que en el segundo caso las muestras quedaron a potencial flotante (after glow).

Materiales y métodos

El material base utilizado para el desarrollo de esta investigación fue acero inoxidable comercial AISI 316L, que posee bajo contenido de carbono, del orden del 0,03%, cromo entre un 16 a 18%, de níquel entre un 10 a 14% y un máximo de molibdeno de 2 a 3%.

Las superficies de las muestras de ambos grupos, cortadas de barras de 25 mm de diámetro, fueron lijadas con papel de SiC hasta una granulometría 1000 y pulidas con pasta de diamante de 1 μm. A continuación, fueron nitrocarburadas en dos tipos de tratamiento en la Universidad Técnica de Bergakademie, Freiberg, Alemania. Uno fue una nitrocarburización tradicional con las muestras sometidas a tensión (direct glow), donde se utilizó una descarga de corriente continua del orden de los 430 V para crear un plasma en una cámara de vacío. Durante el proceso, la pieza de trabajo actúa como el cátodo y el recipiente de la cámara como el ánodo (Czerwiec, 2009).

En el segundo caso las muestras se trataron con el potencial flotante (after glow), sin tensión directa, donde las partículas neutras energéticas, en lugar de las especies cargadas, son las responsables del efecto de nitrocarburización (Dalke, 2018). Ambos tratamientos se llevaron a cabo a una temperatura de 430°C durante 4 horas, en una atmosfera compuesta por 50% H_2 - 50% N_2, utilizando barras de grafito como precursor solido de carbono.

Se realizaron cortes en algunas muestras que fueron luego incluidas en resina fenólica, seguidas de un proceso de lijado y pulido con pasta de diamante de 1 μm. La microestructura de las capas modificadas se examinó utilizando un microscopio óptico (MO). Se midió dureza superficial de la capa tratada a través del microdurómetro Shimadzu con indentador Vickers, cargas de 25 y 50 gramos, con un tiempo de indentación de 10 segundos.

Para analizar el comportamiento al desgaste de las muestras se llevaron a cabo pruebas de deslizamiento rotacional tipo Pin-on-Disk según la Norma ASTM G99, utilizando como contraparte una bolilla de compuesto cerámico (Al_2O_3), de 6 mm de diámetro, cargas normales de 3N y distancias lineales recorridas de 500 m con radios de trayectoria de 7 mm. Se midió el coeficiente de fricción en función de la distancia para cada muestra. Con el objetivo de analizar los resultados de los ensayos se tomaron imágenes microscópicas para examinar el daño causado en las muestras. Posteriormente, se empleó un rugosímetro para determinar el volumen de material perdido a partir de las huellas de desgaste.

Los ensayos electroquímicos se realizaron a temperatura ambiente, y presión atmosférica en una celda de tres electrodos utilizando como electrolito NaCl al 3,5%. Como electrodo de referencia se empleó un electrodo de calomel saturado (SCE) y un alambre de platino como contraelectrodo. La velocidad de barrido de potencial en los ensayos fue de 0,25 mV/s y el límite superior de corriente se estableció en 500 μA y 3000 mV en cuanto a tensión. Posteriormente a los ensayos, se observaron las superficies ensayadas con MO. Se tomaron micrografías de las muestras antes de comenzar el ensayo y posterior a su finalización, con el objetivo de comparar los mecanismos de corrosión presentes en la capa superficial. Todos los resultados extraídos se compararon con una muestra patrón de acero AISI 316L.

Resultados

Microestructura y dureza

El espesor de la capa modificada, correspondiente a austenita expandida por nitrógeno y carbono (Jafarpour, 2023) fue de aproximadamente 6 µm para el tratamiento de direct glow, mientras que para after glow fue de 5 µm, como se muestra en Fig 1. La diferencia de espesor entre ambos tratamientos fue del 20% aproximadamente.

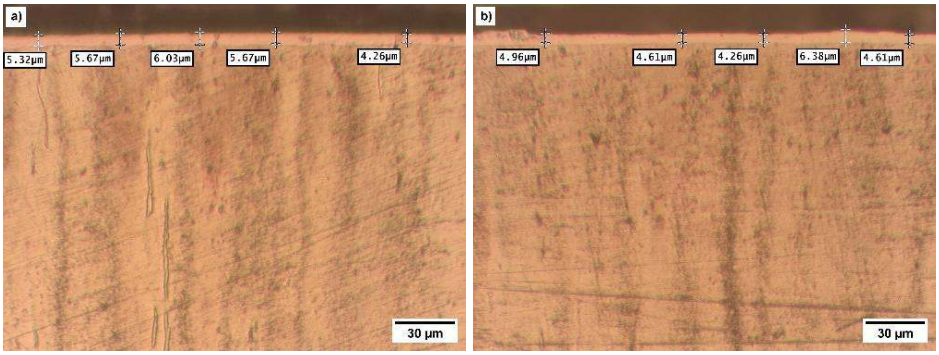


Fig. 1. Micrografías ópticas de la capa nitrocarburada: a) Direct glow, b) After glow.

Con el objetivo de obtener resultados de la dureza superficial se utilizó un microindentador Vickers, con cargas de 25 y 50 gramos, donde se obtuvieron los siguientes valores (Fig. 2).

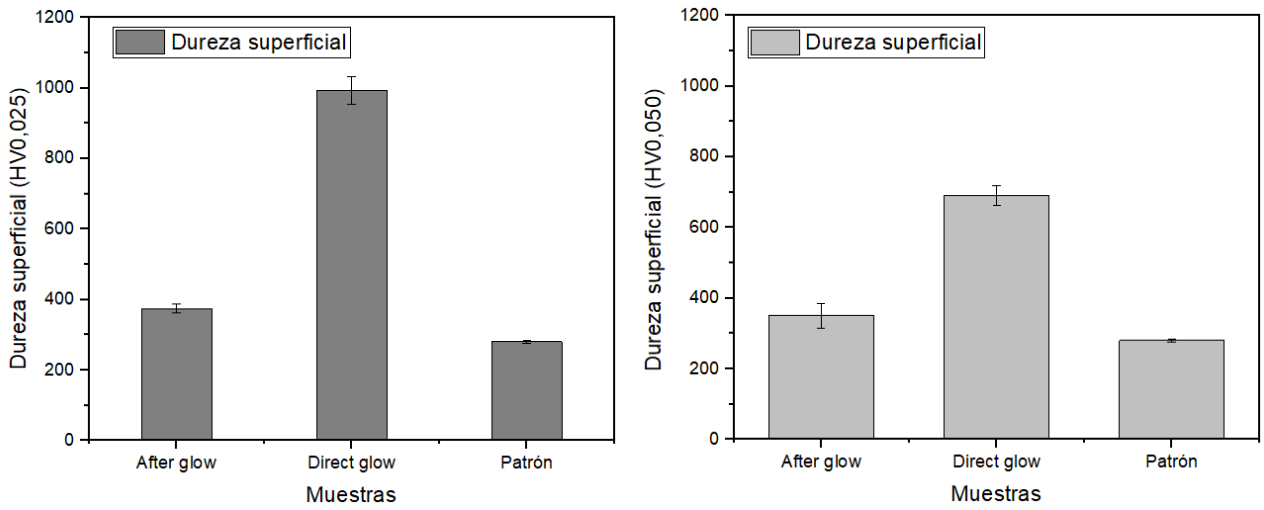


Fig. 2. Resultados de dureza superficial con carga de 25 y 50 gramos, respectivamente.

En ambos casos, las muestras de PNC en condición de direct glow presentaron una dureza mayor que las muestras after glow. Las muestras direct glow alcanzaron aproximadamente 1000 HV con una carga de 25 g. En ambos casos, estos valores son 2,8 y 2,1 veces mayores que para el acero no tratado. Ambos valores de dureza se corresponden a los reportados en la literatura para los tratamientos de nitrocaburación por plasma (Borowski, 2020). Este aumento de dureza podría estar vinculado a la mayor concentración de nitrógeno que existe en la región cercana a la superficie en las muestras tratadas por direct glow (Jafarpour, 2024).

Comportamiento al desgaste

En las pruebas de Pin-on-Disk, las muestras de PNC mostraron una resistencia al desgaste de uno y dos órdenes de magnitud mayor que las muestras no tratadas, para after glow y direct glow, respectivamente (Fig. 3a). Sin embargo, las muestras tratadas en condiciones de direct glow mostraron una pérdida de volumen por desgaste un 66% menor que las muestras tratadas en condiciones de after glow. Si bien hay pocas publicaciones sobre estudios de comportamiento al desgaste de muestras nitrocarburadas por after glow, puede indicarse que la capa nitrocarburada

(independientemente del proceso por el cual se produce) mejora la resistencia al desgaste del acero (Borowski, 2020).

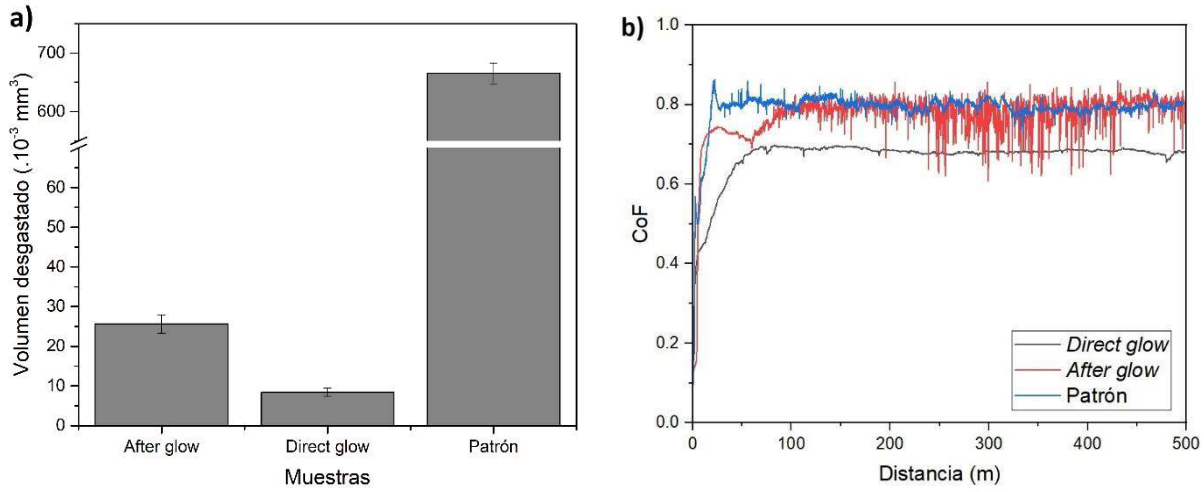


Fig. 3. a) Volumen desgastado en ensayos de Pin-on-Disk para 500 m aplicando una carga de 3N, b) coeficiente de fricción.

El coeficiente de fricción (CoF) de las muestras tratadas por direct glow (Fig 3b) fue aproximadamente 0,1 menor que el de la muestra patrón y la tratada por after glow, lo cual podría estar relacionado al volumen desgastado, la muestra que presentó menor desgaste generó menor cantidad de partículas que pudieran actuar de tercer cuerpo y afectar el CoF. Los valores de los coeficientes de fricción obtenidos estuvieron dentro del rango de los reportados en la literatura para este tipo de tratamientos (Borowski, 2020).

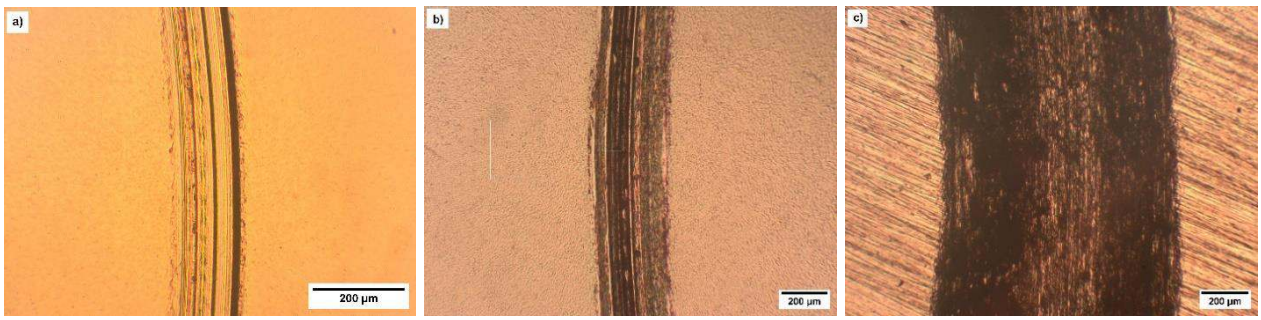


Fig. 4. Micrografías ópticas de las huellas de Pin-on-Disk: a) Direct glow, b) After glow, c) Patrón.

En la muestra after glow, se puede observar un daño más severo con surcos más marcados que en la muestra direct glow (Fig. 4 a y b). Este comportamiento podría estar vinculado a la dureza superficial, la cual resultó mayor para las muestras direct glow que la after glow. En la muestra sin tratamiento el ancho de la huella y la deformación fue mayor que para las demás muestras (Fig. 4c).

Comportamiento a la corrosión

Considerando el comportamiento frente a la corrosión, se compararon ambos tratamientos con la muestra patrón. Las muestras nitrocarburadas en el after glow mostraron una mejor resistencia dado que su potencial de corrosión y de ruptura (Erup) fueron más nobles, la densidad de corriente cuasi-pasiva fue menor, y la diferencia entre ambos potenciales (Erup-Ecorr) fue mayor, como puede observarse en la Tabla 1. En cualquier caso, las muestras de PNC en direct glow tuvieron una densidad de corriente cuasi-pasiva más baja que las muestras no tratadas a un mismo valor de potencial aplicado, es decir, presentaron mejor resistencia a la corrosión en este medio, como se muestra en la Fig. 5. El mejoramiento del comportamiento a la corrosión posterior a la nitrocarburación está vinculado a la presencia de nitrógeno y carbono que favorecen la repasivación, retardando el crecimiento de los pits (Borowski, 2021).

Tabla 1. Potenciales aplicados y resultados.

Muestras	Ecorr (mV)	Comportamiento	Erup-Ecorr (mV)
Direct glow	96	Potencial de ruptura: 337 mV Densidad de corriente quasi-pasiva: 0,64 µA/cm2	241
After glow	128	Potencial de ruptura: 492 mV Densidad de corriente quasi-pasiva: 0,34 µA/cm2	364
Patrón	-117	Potencial de ruptura: 303 mV Densidad de corriente quasi-pasiva: 1,14 µA/cm2	420

Las curvas de polarización de las muestras se ejemplifican debajo, comparando ambos tratamientos con la muestra patrón.

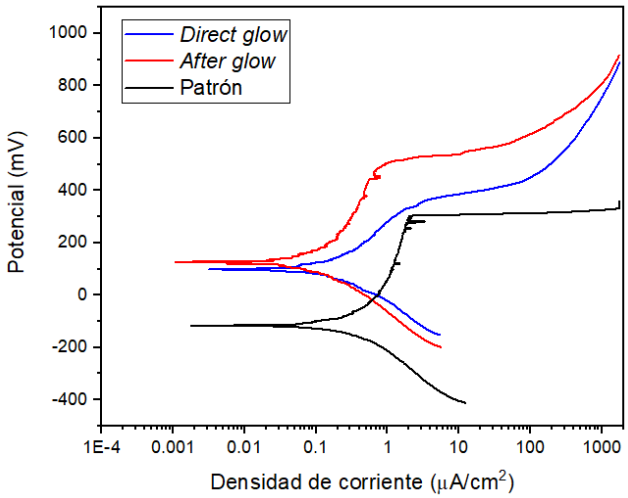


Fig. 5. Curvas de polarización para el ensayo potenciodinámico.

Como puede observarse en la figura 4, en el caso del PNC en after glow presento mejor comportamiento a la corrosión, debido a que la superficie resultó mas homogénea, con menos defectos (Fig. 6 b). Esto se debe a que la muestra no está expuesta al impacto de iones y partículas cargadas en el plasma durante el proceso, como si sucede en el direct glow, donde la superficie es rugosa y se revelan los bordes de grano, como ha sido citado en la literatura (Borowski, 2021). En cuanto a lo morfología de la zona corroída podría indicarse que las muestras tratadas presentaron corrosión por picado (Fig. 6a y 6b). La muestra patrón no solo presentó corrosión por picado, sino que además se encontró corrosión por rendijas (crevice corrosion) en la superficie.

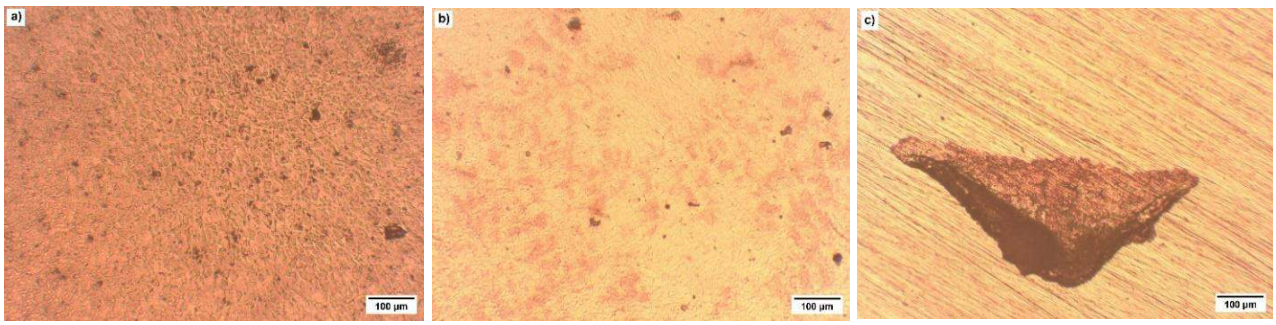


Fig. 6. Micrografias opticas de la superficie de las muestras posterior al ensayo potenciodinámico: a) Direct glow, b) After glow, c) Patrón.

Conclusiones

Los resultados obtenidos permiten determinar que el tratamiento de nitrocarburación de direct glow presentó significativamente mejor comportamiento al desgaste que el acero AISI 316L tratado con after glow, al igual que un considerable aumento de la dureza. Por otro lado, las muestras tratadas en el after glow presentaron mejor comportamiento a la corrosión.

Referencias

Boecker, J; Puth, A; Dalke, A; Roepcke, J; van Helden, J. P. H.; Biermann, H. (2021). Influence of the Active Screen Plasma Power during Afterglow Nitrocarburizing on the Surface Modification of AISI 316L. Coatings (Basel), vol. 10 (11), p. 1112. doi: 10.3390/coatings10111112

Borowski, T. (2021) Enhancing the Corrosion Resistance of Austenitic Steel Using Active Screen Plasma Nitriding and Nitrocarburising. Materials, vol 14, p. 3320. https:// doi.org/10.3390/ma14123320

Borowski T; Kulikowski K; Adamczyk-Cieślak B; Rożniatowski K; Spychalski M; Tarnowski M. (2020). Influence of nitrided and nitrocarburised layers on the functional properties of nitrogendoped soft carbon-based coatings deposited on 316L steel under DC glowdischarge conditions. Surface and Coatings Technology, Elsevier, vol. 392, p. 1-11, doi: 10.1016/j.surfcoat.2020.125705

Czerwiec, T; He, H; Marcos, G; Thiriet, T; Weber, S; Michel, H. (2009). Fundamental and Innovations in Plasma Assisted Diffusion of Nitrogen and Carbon in Austenitic Stainless Steels and Related Alloys. Plasma Process. Polym; vol 6, p. 401-409. doi: https://doi.org/10.1002/ppap.200930003

Dalke A; Burlacov I; Hamann aS; Puth A; Böcker J; Spies H. J; Röpcke J; Biermann H. (2018). Solid carbon active screen plasma nitrocarburizing of AISI 316L stainless steel: Influence of N2-H2 gas composition on structure and properties of expanded austenite. Surface & Coatings Technology, vol. 357, p.1060-1068. doi: https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2018.10.095

Jafarpour S.M; Martin S; Schimpf C; Dalke A; Biermann H; Leineweber A. (2024). Comparative Plasma Nitrocarburizing of AISI 316L and AISI 304 Steels Using a Solid Carbon Active Screen: Differences in the Developing Microstructures. Metallurgical and Materials Transactions, vol 55, p. 1588–1599. doi: https://doi.org/10.1007/s11661-024-07351-6

Jafarpour, S.M; Pipa, A.V; Puth, A; Dalke, A; Röpcke, J; van Helden, J.-P.H. (2023). Biermann, H. The Interplay Effects between Feed-Gas Composition and Bias Plasma Condition during Active-Screen Plasma Nitrocarburizing with a Solid Carbon Source. Coatings, vol 13, p. 1103. https://doi.org/10.3390/ coatings13061103

Jaul, C; Belmonte, T; Czerwiec, T; David, N. (2006). Nitrocarburizing treatments using flowing afterglow processes. Applied Surface Science, vol 252 (30), p. 8360-8366. doi: https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2005.11.058

Pitter, L. M; Scarbol, L; Brühl, S. P. (2018). Influencia de la nitruración iónica en la resistencia a la corrosión y al desgaste sobre dos tipos de acero AISI 316L. Libro de Resúmenes 18° SAM-CONAMET. Recuperado de http://hdl.handle.net/20.500.12272/4162

SIMULACION ESTRUCTURAL DE UNA PALA NIVELADORA DE ARRASTRE DE USO AGRÍCOLA

Tobías Picca[1], Matías N. Anaya[1], Marcos Marino[1], Carlos Tais[1], Marcelo Coatamagna[1].

[1]Departamento de Ingeniería Mecánica, Facultad Regional Villa María, Universidad Tecnológica Nacional, Avda. Universidad 450 (5900) Villa María, Córdoba - tobiaspicca02@gmail.com.

Resumen

La pala mecánica de arrastre es una herramienta agrícola altamente versátil y eficiente para diversas labores en el campo. Sus principales aplicaciones y beneficios de su uso en las tareas agrícolas están relacionadas con la nivelación de terrenos irregulares, condición crucial para asegurar un riego uniforme y evitar problemas de drenaje. La pala de arrastre puede mover grandes cantidades de tierra, permitiendo una nivelación precisa y eficiente. Por otra parte, puede eliminar piedras, raíces y otros obstáculos del suelo, preparando el terreno para la siembra o la plantación de cultivos. Sus beneficios se radican en la capacidad de movilizar grandes volúmenes de tierra en un corto período incrementando significativamente la eficiencia en comparación con métodos manuales o maquinaria más pequeña. También es de destacar su versatilidad ya que su diseño permite realizar diversas tareas, lo que la convierte en una herramienta multifuncional indispensable en la gestión agrícola. Su uso no solo mejora la eficiencia y productividad, sino que también contribuye a una gestión más sostenible y económica del campo agrícola.

En este trabajo se propone analizar estructuralmente una pala niveladora de arrastre, diseñada para ser impulsada por un tractor. La verificación se realizará utilizando técnicas avanzadas de simulación por elementos finitos, aplicando las condiciones de carga típicas de su operación en campo. El objetivo es asegurar que la pala niveladora cumpla con los requisitos de resistencia y durabilidad necesarios para su correcto funcionamiento. Se llevará a cabo un análisis detallado de tensiones y deformaciones en la estructura, con el fin de obtener una pala niveladora confiable y resistente. Este análisis permitirá identificar posibles puntos críticos y optimizar el diseño para mejorar su rendimiento y aumentar su vida útil.

Palabras Clave: Pala niveladora, labores agrícolas, Elementos finitos, Resistencia.

Introducción

El desarrollo de maquinaria agrícola moderna exige un enfoque integral que garantice no solo la eficiencia operativa, sino también la durabilidad y adaptabilidad del equipo en diversas condiciones de trabajo. En este contexto, el diseño y optimización de herramientas como la pala agrícola adquieren una relevancia crucial, ya que estas herramientas deben cumplir con exigentes requisitos de resistencia y funcionalidad para enfrentar los desafíos del campo.

El presente trabajo se centra en el diseño de una pala agrícola específicamente desarrollada para la remoción y rotación de tierra, una tarea fundamental en diversas actividades agrícolas. La pala fue concebida con un enfoque en la optimización estructural, utilizando técnicas avanzadas de simulación mediante el Método de Elementos Finitos (FEM) (Norton, 2011), para asegurar que las tensiones y deformaciones generadas en su estructura no excedan los límites elásticos del material empleado, en este caso, Acero SAE 1045. Este material fue seleccionado por su alto límite elástico y su capacidad para soportar cargas elevadas sin sufrir deformaciones permanentes (Budynas, 2020), lo que es esencial para prolongar la vida útil del equipo bajo condiciones de uso intensivo.

El objetivo final de este trabajo es proporcionar una solución de diseño que, además de cumplir con los requisitos estructurales y operativos, contribuya a la mejora de la eficiencia en las operaciones agrícolas. La pala diseñada no solo está preparada para soportar las condiciones más extremas de trabajo, sino que también se espera que su implementación permita una reducción en los tiempos

de operación y en los costos asociados al mantenimiento, debido a su mayor durabilidad y resistencia a fallos (Norton, 2011, Juvinall, 2011).

Materiales y métodos

El material elegido para la construcción de la pala fue el Acero SAE 1045, que posee un límite elástico de 530 MPa, lo que le confiere una capacidad notable para soportar altos esfuerzos sin sufrir deformaciones permanentes. Este material es particularmente adecuado para aplicaciones agrícolas, donde las herramientas están sometidas a fuerzas elevadas y variables que requieren un equilibrio entre resistencia y ductilidad.

La pala fue diseñada a partir de una chapa rolada de 19,05 mm (3/4") de espesor, con un radio de curvatura de 669 mm y dimensiones generales de 4000 mm de ancho y 550 mm de alto. En el diseño se incorporaron diversos refuerzos estructurales, tanto longitudinales como verticales, con espesores que varían entre 19,05 mm y 25,4 mm, con el objetivo de reducir las deformaciones bajo condiciones de trabajo realistas. Este modelo se muestra en la Fig. 1.

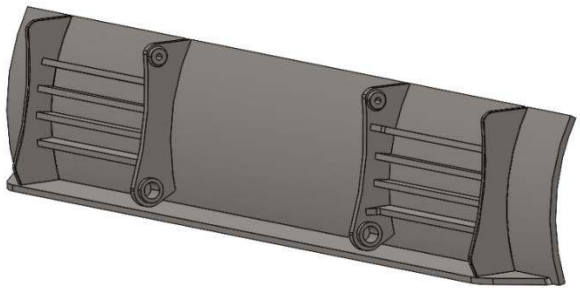


Fig. 1: Modelo sólido CAD de la pala niveladora.

El proceso de diseño y análisis estructural se llevó a cabo utilizando el software SolidWorks Simulation®, que permite realizar simulaciones mediante el Método de Elementos Finitos (FEM) (Dassault Systems, 2019). El diseño inicial de la pala incluyó la definición de las dimensiones básicas y la disposición de los refuerzos, cuya distribución fue optimizada mediante sucesivas simulaciones. Este enfoque permitió asegurar que las tensiones inducidas en la estructura no superaran el límite elástico del material, garantizando así la integridad y durabilidad del equipo.

En el análisis se definieron las condiciones más desfavorables para la operación de la pala. Estas incluyeron el trabajo a la máxima profundidad operativa de 412,5 mm, lo cual corresponde a tres cuartas partes de la altura total de la pala, y el uso del ancho completo de 4000 mm. Estas condiciones críticas fueron seleccionadas porque representan los escenarios de mayor exigencia para la herramienta. Además, se aplicó un factor de seguridad adicional del 50% sobre la carga calculada para prever posibles variaciones en las propiedades del suelo y otros factores imprevistos que podrían afectar la estructura durante su operación (Juvinall, 2011).

La carga total aplicada a la pala es de 197114 N y fué modelada y distribuida como una presión no uniforme a lo largo de su superficie, siguiendo una función lineal con la altura de la pala (Ec. 1)

$$F(z) = 5z \tag{1}$$

Donde la variable z representa la altura de la pala medida desde el borde superior. Se considera así la mayor concentración de cargas en la parte inferior ya que el suelo ofrece una gran resistencia al corte y una menor concentración en la parte superior ya que en esta parte la tierra solo se desliza para producir su rotación. Este modelo permitió una simulación más realista del comportamiento de

la pala bajo condiciones de trabajo típicas en campo. Esta distribución se puede apreciar en la Fig. 2.

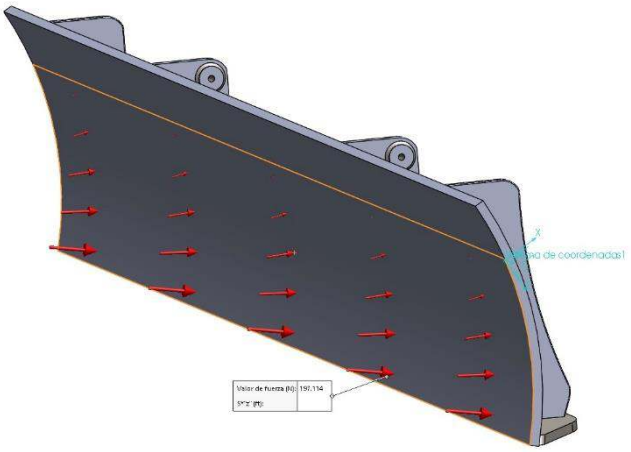


Fig. 2: Distribución de cargas sobre la pala.

La pala consta de dos sujeciones que restringe su movimiento como se ve en la Fig. 3, cada una de ella tiene 6 grados de libertad para moverse.

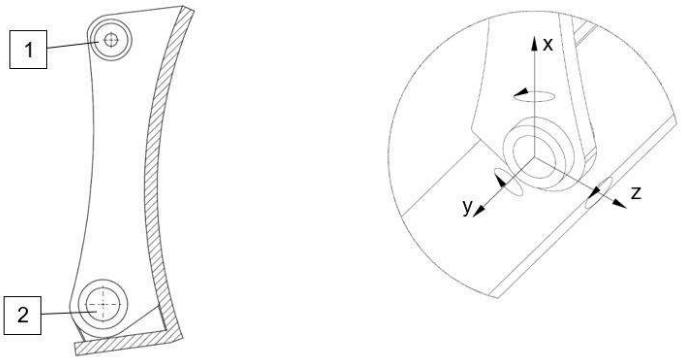


Fig. 3: Sujeciones de la pala.

Como se ve en la Fig. 3, el pivote 1 y 2 solo permiten su rotación en el eje y, ya que están sujetados a pasadores. Para representar dichos pasadores en la simulación se utilizó la sujeción bisagra.

Una vez establecidas las condiciones de carga y las restricciones de sujeción, se procedió a realizar una simulación completa para analizar las tensiones y deformaciones en la pala. Se prestó especial atención a las áreas donde las tensiones alcanzaron o superaron el límite elástico del material, realizando ajustes en el diseño para corregir cualquier punto débil identificado.

Modelo matemático

Para el análisis de la pala niveladora, se planteó un análisis estático lineal, donde se incluyeron coeficientes de mayoración de carga para estar del lado de la seguridad ante un cambio en las condiciones de trabajo. La ecuación que describe el campo de desplazamientos $(u_i)((i = 1,2,3))$ de un material isotrópico y homogéneo, sometido a fuerzas aplicadas en su superficie y despreciando fuerzas de volumen, se expresa como Ec. 2 (Boresi, 1993):

$$\mu u_{i,kk} + (\lambda + \mu)u_{k,ki} = 0 \text{ para } i,k = 1,2,3 \quad (2)$$

En la Ec. 2, $(\lambda)\ y\ (\mu)$ son las constantes de Lamé del material, que caracterizan la relación entre el tensor de tensiones $(\sigma_{ij})((i,j = 1,2,3))$, el cual se observa en la Ec. 4 y el tensor de

deformaciones $(\epsilon_{ij})((i,j=1,2,3))$,planteado en la Ec. 3. La definición del tensor de deformaciones en términos de desplazamientos es:

$$\epsilon_{ij} = \frac{1}{2}\left(u_{i,j} + u_{j,i}\right) \text{ para } i,j = 1,2,3 \tag{3}$$

De la relación constitutiva del material, el tensor de tensiones se calcula mediante la Ec. 4:

$$\sigma_{ij} = 2\mu\epsilon_{ij} + \lambda e\delta_{ij} \text{ para } i,j = 1,2,3 \tag{4}$$

donde $(e = \epsilon_{kk})((k = 1,2,3))$ es la traza del tensor de deformaciones. Para analizar el estado tensional se utiliza el criterio de la máxima energía de distorsión (Budynas, 2020), donde la tensión equivalente (σ_{eq}) se calcula mediante la Ec. 5:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2}{2}} \tag{5}$$

Aquí, $(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3)$ son las tensiones principales. El coeficiente de seguridad (CS) se determina mediante la ecuación 6:

$$CS = \frac{\sigma_{fl}}{\sigma_{eq}} \tag{6}$$

donde (σ_{fl}) es el esfuerzo de fluencia del material. Este modelo matemático permite evaluar las tensiones y deformaciones en la pala bajo cargas específicas, asegurando que los valores obtenidos se mantengan dentro de los límites seguros del material utilizado.

En cuanto a la obtención de la carga aplicada a la herramienta, se utilizó la Ecuación Universal de Movimiento de Tierras, propuesta por Reece en 1965 (Mckyes, E. (1985)). La Ec. 7 describe la fuerza total necesaria para cortar el suelo con la herramienta y se expresa como:

$$P = (\gamma g d^2 N_\gamma + cdN_c + qdN_q + c_a dN_{ca})w \tag{7}$$

Donde P es la carga aplicada, γ la densidad total del suelo; g la aceleración debido a la gravedad, d la profundidad de trabajo de la herramienta por debajo de la superficie del suelo, c es la resistencia de cohesión del suelo; q es la presión de sobrecarga que actúa verticalmente sobre la superficie del suelo, W = ancho de la herramienta y (N_γ , N_c , N_q, N_{ca}) son factores que dependen no solo de la resistencia de fricción del suelo, sino también de la geometría de la herramienta y las propiedades de resistencia de la herramienta al suelo. Para obtener estos valores, se realizaron estudios de suelos en diferentes regiones de Argentina, específicamente en Salta, Córdoba, Santa Fe y Chubut. Los datos obtenidos incluyeron el ángulo de fricción interna ϕ, la resistencia cohesiva del suelo c, y la densidad del suelo γ. Con estos datos, se utilizó una hoja de cálculo para determinar la fuerza necesaria para cortar el suelo en cada región.

Resultados

Una vez establecido las sujeciones y la carga aplicada a la pala se procedieron a realizar la simulación para obtener los campos de esfuerzos y deformaciones. El objetivo es obtener los valores máximos y mínimos y asegurar que los mismos no sobrepasen los valores admisibles.

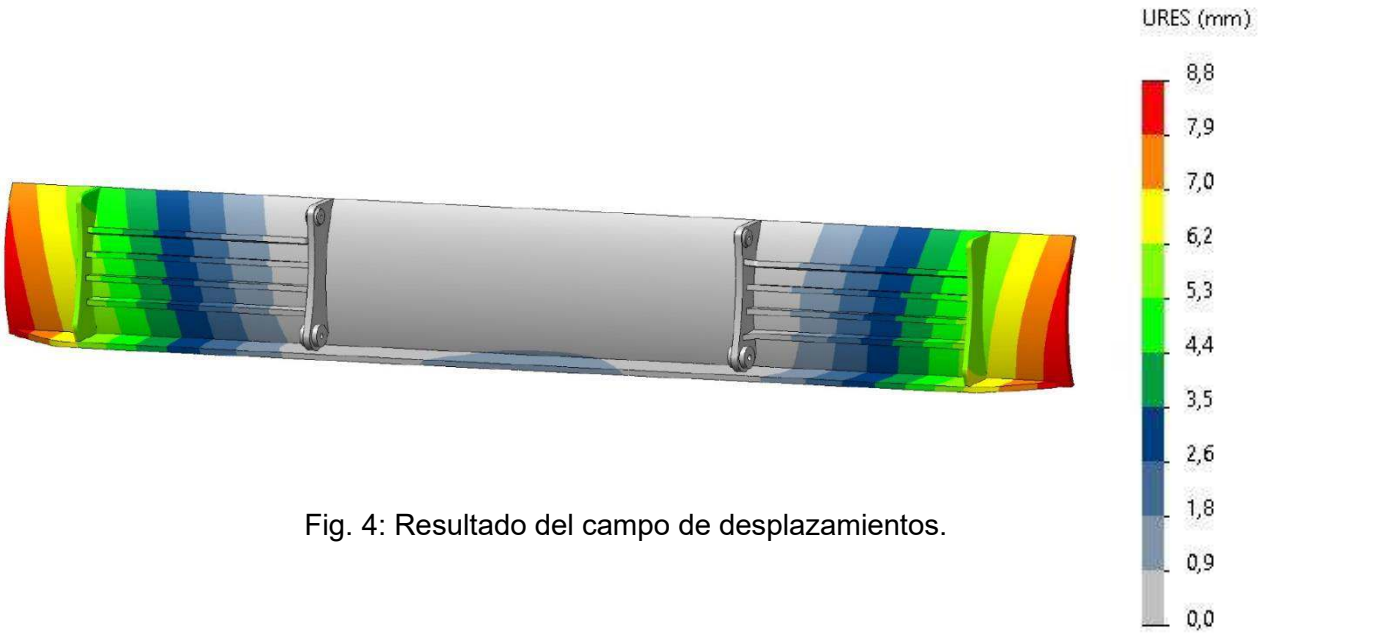


Fig. 4: Resultado del campo de desplazamientos.

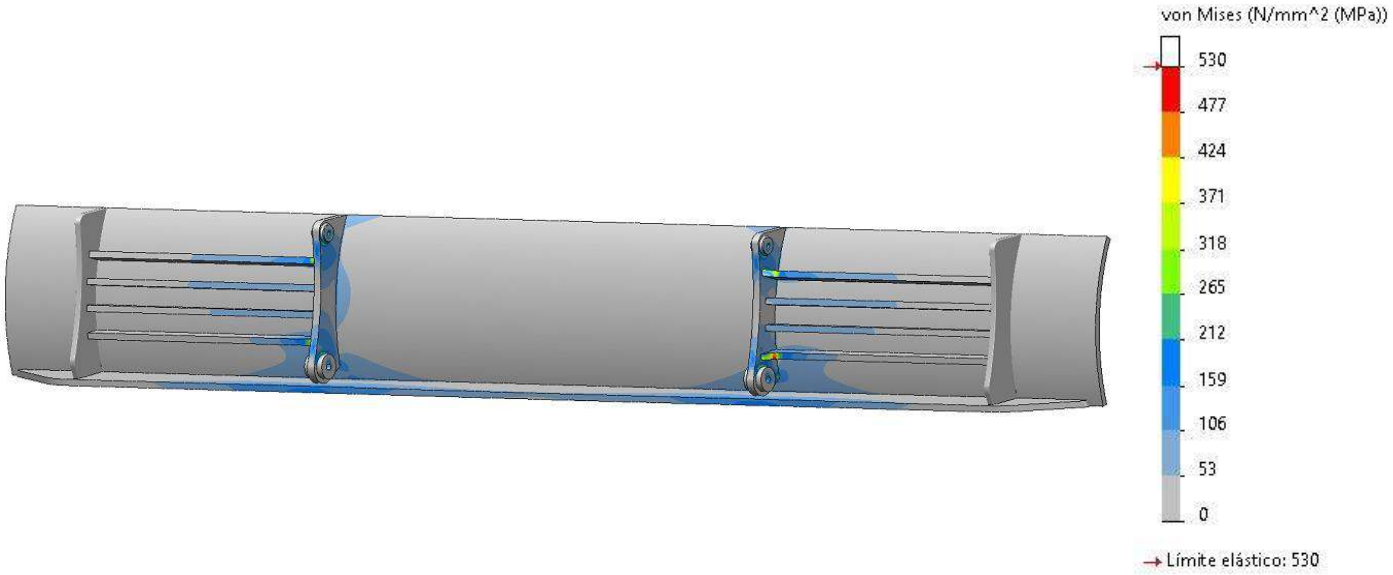


Fig. 5: Resultado del campo de esfuerzos equivalentes de acuerdo al criterio de Von Mises.

Analizando la Fig. 4, el desplazamiento máximo es 8,7 mm y se considera un valor admisible para la condición de carga que tenemos en la pala.

Por otra parte, de la Fig. 5 y 6 se tiene que el resultado de las tensiones equivalentes de Von Mises se observa que tenemos regiones en los que se supera el valor del límite elástico del material (530 MPa), por lo tanto, se completó el estudio efectuando un análisis de convergencia mediante el método h (Kurowski, 2019) con el objetivo de determinar las condiciones de singularidad en las regiones de máximos gradientes de esfuerzo. De esta forma se descartan errores de discretización y de precisión en el modelo FEM.

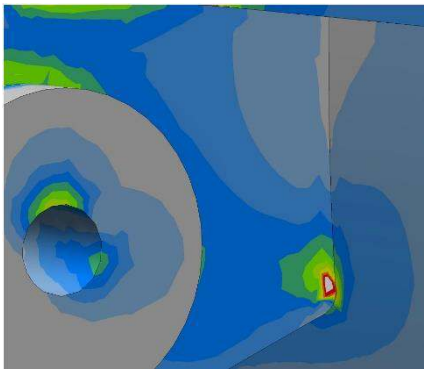


Fig. 6: Punto critico que supera la tensión elástica del material.

Conclusiones

El análisis y diseño de la pala realizado mediante simulaciones con el Método de Elementos Finitos (FEM) permitió optimizar su estructura, asegurando que las tensiones y deformaciones se mantuvieran dentro de los límites aceptables. El material seleccionado, acero SAE 1045, con un límite elástico de 530 MPa, demostró ser adecuado para soportar las cargas críticas a las que estará sometida la pala durante su operación.

En las simulaciones, se determinó que el desplazamiento máximo de la pala bajo condiciones de carga extrema es de 8 mm, un valor que se considera admisible dada la naturaleza de la aplicación. Además, la mayor parte de las tensiones encontradas en la estructura no superaron los 530 Mpa lo cual está por debajo del límite elástico del material, garantizando que la pala operará sin alcanzar niveles de deformación plástica, por otro lado, las tensiones que superan este valor (Fig. 6) se despreciaron ya que son puntos singulares, se corroboró mediante el análisis de convergencia h.

El uso de FEM fue particularmente efectivo para identificar las áreas de mayor esfuerzo y optimizar el diseño con precisión, asegurando que la pala cumpla con los requisitos de seguridad y funcionalidad en condiciones de operación reales. Aunque se identificaron singularidades en las tensiones en ciertos puntos, estas fueron atribuibles a efectos de malla y no afectan la integridad general de la estructura.

El uso de FEM en el diseño de la pala no solo fue factible, sino crucial para garantizar un rendimiento confiable y seguro, permitiendo realizar ajustes finos en el diseño que optimizan tanto la resistencia como la durabilidad del equipo. Esta metodología es particularmente útil en ingeniería mecánica, donde la precisión y la capacidad de prever el comportamiento de estructuras complejas bajo diversas condiciones de carga son esenciales para el éxito de cualquier proyecto.

REFERENCIAS

Boresi, A. P., & Schmidt, R. J. (1993). Advanced mechanics of materials (5th ed.). Hoboken, NJ, USA: John Wiley and Sons.

Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2020). Shigley's mechanical engineering design. New York, NY, USA: McGraw-Hill Education.

Dassault Systems. (2019). Dassault Systems. https://www.3ds.com.

Juvinall, R. C., & Marshek, K. M. (2011). Fundamentals of machine component design. Hoboken, NJ, USA: Wiley.

Kurowski, P. M. (2019). Finite element analysis for design engineers (3rd ed.). Warrendale, PA, USA: SAE International.

Mckyes, E. (1985). Soil cutting and tillage. Montreal, Canada: ELSEVIER.

Norton, R. L. (2011). Machine design: An integrated approach. Boston, MA, USA: Pearson.

CARACTERIZACION DE LA DEMANDA EN USUARIOS RESIDENCIALES DE SANTA FE

Kevin T. Basilio[1], Roberto J. Nagel[1], Emmanuel Sangoi[1], Ulises Manassero[1]

[1] CIESE, Facultad Regional Santa Fe, Universidad Tecnológica Nacional, S3000
kbasilio@frsf.utn.edu.ar

Resumen

El sector residencial representa un porcentaje significativo de la demanda eléctrica de la provincia de Santa Fe. En este contexto, caracterizar los perfiles de cargas típicos de los usuarios de este segmento es de gran interés para estudiar cuestiones asociadas a eficiencia energética, calidad de energía y gestión de la demanda. En este trabajo, se presentan los primeros resultados de esta caracterización. El proyecto que enmarca el estudio busca caracterizar los perfiles de demanda de usuarios residenciales en la provincia, comprender las componentes de sus consumos y considerar las características de su impacto en la red de distribución eléctrica. Para esto, se recurrió al análisis de mediciones históricas en distribuidores de energía eléctrica de la Empresa Provincial de la Energía y se midieron puntualmente perfiles residenciales en usuarios residenciales de la ciudad por medio de analizadores de redes eléctricas. Ambas mediciones se han correlacionado también a los registros de temperatura ambiente para cada periodo. Para la representación de resultados y evaluación de datos se usó Python y Power BI.

Palabras Clave: perfiles de consumo residencial, calidad de energía, eficiencia energética, gestión de la demanda, distribución de energía.

Introducción

El sector residencial representa el 45% de la demanda eléctrica de la República Argentina (CAMMESA, 2023), y se estiman valores similares para la provincia de Santa Fe. Este sector es importante tanto por el nivel de consumo de energía como por su contribución en algunas perturbaciones asociadas a la calidad de energía eléctrica (Dehghanpour, et al., 2016). En este contexto, resulta relevante caracterizar la demanda de estos usuarios, considerando no solo la forma del perfil de demanda diario sino también el grado de perturbaciones inyectadas a la red (principalmente polución armónica). Disponer de esta información reviste gran interés previo a proponer y ejecutar algunas medidas de mejora en cuestiones de eficiencia energética y calidad de energía (Meyer, et al., 2017).

El trabajo tiene como objetivo caracterizar los perfiles de consumo diario de usuarios residenciales en la ciudad de Santa Fe. Para ello, se propuso analizar registros de corriente en distribuidores de la ciudad que abastecen demandas residenciales y complementar el análisis con un conjunto de mediciones experimentales en acometidas de distintos usuarios.

Con respecto a los registros en distribuidores, se consideraron datos recopilados de 6 Subestaciones Transformadores (SET) situadas en Santa Fe y provistos por la Empresa Provincial de la Energía de Santa Fe (EPESF). Con respecto a las mediciones puntuales en usuarios, se midió consumo en la acometida de siete usuarios residenciales de distintas características. Entre otras variables, se consideró al THD (total harmonic distorsion) de la corriente (Elhenawy, et al., 2018), al factor de potencia y a la potencia activa y reactiva.

Materiales y métodos

En cuanto a los datos recopilados en distribuidores, se consideraron registros en 81 distribuidores de 13,2 kV. Cabe destacar que, en este caso, cada uno de los registros en subestaciones guarda solo valores de corriente y energía, junto con información detallada sobre la cantidad de usuarios residenciales, industriales y comerciales presentes en cada distribuidor. Los registros son anuales

y con cadencias de 30 minutos. Para complementar el análisis, estos registros se complementaron con datos de temperatura ambiente para los mismos periodos de tiempo.

De los 81 distribuidores de 13,2 kV que se consideraron, se trabajó exclusivamente con aquellos que abastecen a un alto porcentaje de usuarios residenciales. Para ello, se conservó únicamente aquellos distribuidores cuyo consumo residencial representa el 87% o más del consumo total. Los 14 distribuidores finalmente considerados para la determinación de los perfiles de carga se muestran en la Tabla 1.

En cuanto a las mediciones individuales, éstas se realizaron en acometidas de usuarios residenciales de la ciudad de Santa Fe con equipos disponibles en el Centro de I+D en Ingeniería Eléctrica y Sistemas Energéticos (CIESE) de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN) de la Facultad Regional Santa Fe. En este caso en particular se empleó un analizador marca Metrel, modelo 2892 (clase A según IEC 61000-4-30). Si bien se informan solo alguna de las variables medidas, se registraron todas las variables eléctricas asociadas al consumo.

En la Tabla 2 se presenta un resumen de las características de las mediciones realizadas a los 7 usuarios residenciales de la ciudad. Los mismos están geográficamente distanciados uno de otros. Notar que se consideraron hogares con distintas características en cuanto a ocupación, tipo de vivienda y superficie cubierta.

Tabla 1 - Energía anual por distribuidor.

ET	DISTRIBUIDOR	CANT. CLIENTES	COMERCIAL [kWh]	RESIDENCIAL [kWh]	INDUSTRIAL [kWh]	RES/TOTAL
BPA	AYACUCHO	1,689	235,368	6,527,790	10,452	96.37%
BPA	NAMUNCURA	749	103,020	2,922,594	9,924	96.28%
CAL	ALTO VERDE	1,935	423,384	7,579,800	1,554	94.69%
SFO	AGUADO	2,088	399,156	7,274,952	14,754	94.62%
SFN	QUIROGA	748	152,946	2,771,352	9,456	94.46%
SFN	CIBILS	1,051	131,460	3,333,090	76,038	94.14%
SFN	TERNA NORTE	1,141	203,268	3,791,226	46,758	93.81%
SFO	CHALET	2,117	509,190	7,206,606	45,084	92.86%
SFN	GADA	2,153	400,860	6,832,788	193,992	91.99%
BPA	MERC, ABASTO	2,548	537,474	10,532,934	541,266	90.71%
SFN	AZCUENAGA	1,314	423,990	3,730,506	32,028	89.11%
SFN	NORESTE	3,005	1,163,034	9,301,548	102,294	88.03%
SFO	ALIMENT. 2	1,329	462,600	3,125,766	0	87.11%
BPA	ROSAS	1,425	515,352	4,554,906	159,858	87.09%

Tabla 2 - Detalles de las mediciones en cada usuario

	Usuario 1	Usuario 2	Usuario 3	Usuario 4	Usuario 5	Usuario 6	Usuario 7
Duración	9.3 días	7.5 días	9.4 días	9.0 días	9.1 días	10.7 días	10.6 días
Muestras	13356	10741	13523	12984	1311	15359	15240
Cadencia	60.0 seg	60.0 seg	60.0 seg	60.0 seg	10.0 min	60.0 seg	60.0 seg
Ocupantes adultos	2	3	4	2	2	2	2
Ocupantes menores	0	1	1	0	1	2	3
Tipo de vivienda	Casa	Dep.	Casa	Dep.	Dep.	Casa	Casa
Superficie cubierta aprox. [m2]	80	50	110	50	76	250	200

Para la representación y evaluación de resultados se usó Python y Power BI. El tratamiento de los datos requirió una depuración previa de los datos que se hizo también con estas herramientas.

Resultados y discusiones

En la Fig. 1 se muestran los perfiles de carga típicos obtenidos para todos los meses del año, expresados en proporción al consumo máximo registrado. Se observa que el mes de mayor consumo en verano suele ser diciembre y en invierno, junio. En la Fig. 2 se detalla el perfil típico de junio. Del análisis de esta curva se observa un pico matutino entre las 7 a.m. y las 11 a.m., un valle durante el día y un pico nocturno (donde se produce el consumo máximo diario). En los perfiles obtenidos para meses de verano se observa un valle en la madrugada, un pico en horas de la tarde (donde se produce el consumo máximo diario) y un pico nocturno.

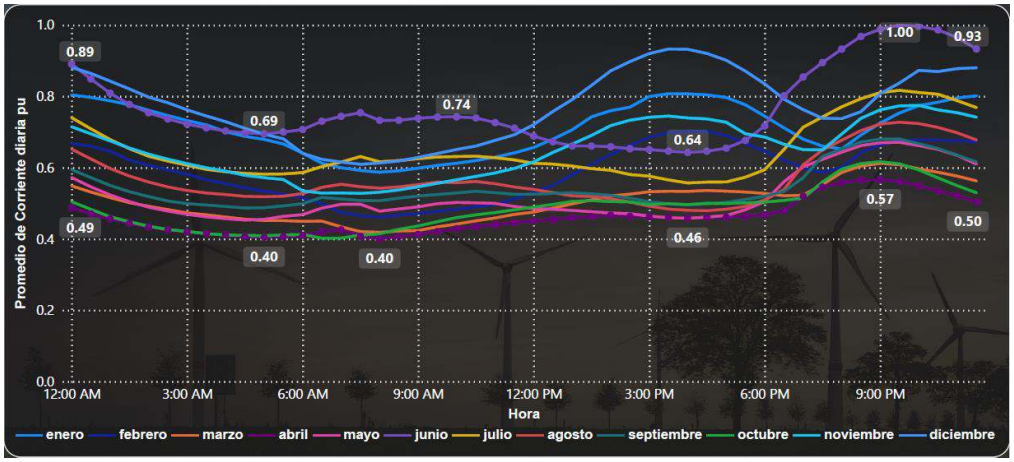


Fig. 1 - Perfiles diarios promedios obtenidos para todos los meses del año.

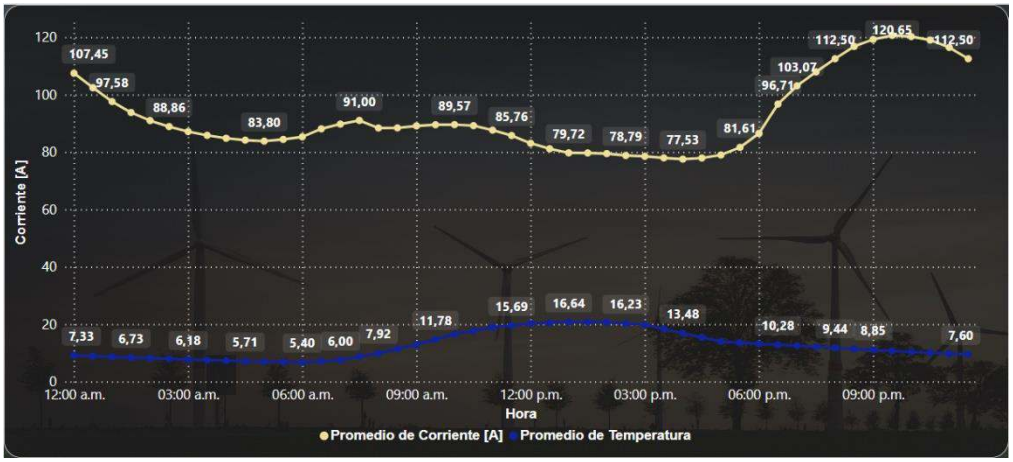


Fig. 2 – Detalle del perfil diario típico para junio.

Los perfiles de carga también pueden tipificarse según el día de la semana. En la Fig. 3 se muestran estos perfiles típicos para meses de verano. Se observa que los consumos de los días hábiles no son significativamente distintos a los de los días semi-hábiles y no hábiles. Esta característica es distintiva del consumo residencial, pues, tanto en días laborables como no laborables los consumos se tienen a mantener, no así, en comercios e industrias.

La temperatura ambiente está fuertemente correlacionada con el consumo de energía eléctrica. En las Fig. 4 y 5 se contrastan perfiles promedios de consumo y temperatura para una semana calurosa y fría de invierno, respectivamente. Se observa que, para esta estación, en semanas más frías el consumo aumenta. En verano la situación es la contraria, donde es notable el aumento de consumo en días calurosos, y la disminución en días de menor temperatura.

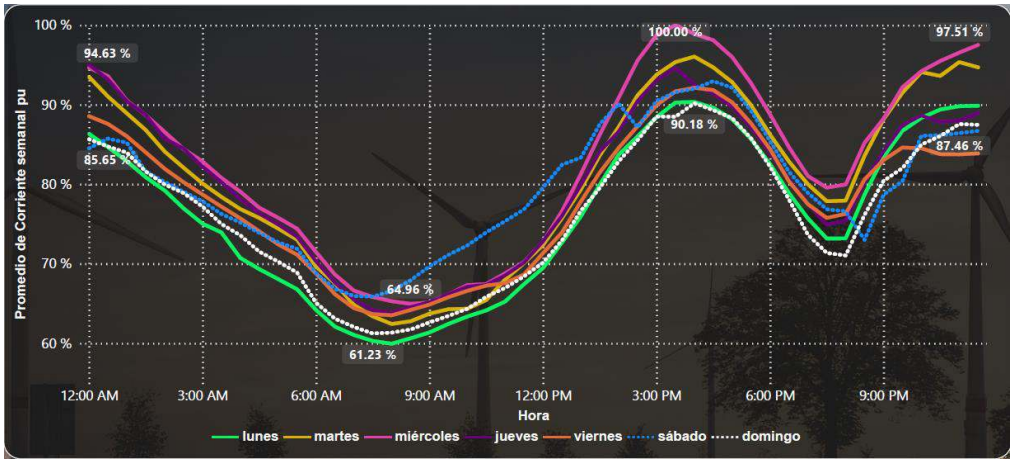


Fig. 3 - Perfil diario típico para días de la semana en meses de verano (diciembre-enero-febrero).

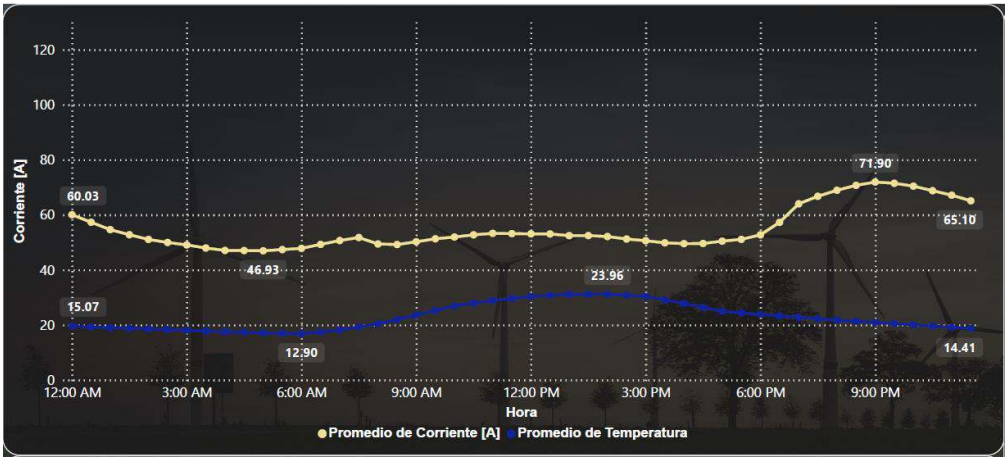


Fig. 4 - Perfil promedio diario de consumo y temperatura para una semana “calurosa” – Invierno

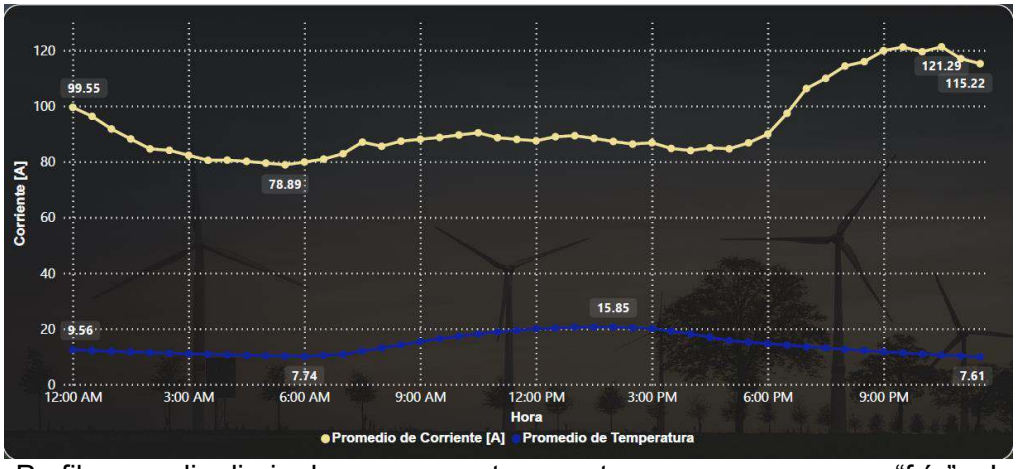


Fig. 5 - Perfil promedio diario de consumo y temperatura para una semana “fría” – Invierno.

Los perfiles de consumo individuales no se clasificaron por estación ya que los mismos se registraron entre los meses de noviembre y marzo. No obstante, se clasificaron en perfiles para días hábiles y no hábiles. Estos resultados permitieron obtener perfiles de carga que caracterizan el consumo de usuarios individuales, sin el “suavizado” resultante de trabajar con perfiles promedios. Para ciertos estudios en la red de distribución, estos resultados resultan relevantes y representativo de casos reales. En la Fig. 6 se observan los perfiles promedios diarios obtenidos para los 7 usuarios considerados. Cada perfil se expresa en proporción al consumo máximo de cada usuario. Las

potencias máximas registradas para estos usuarios estuvieron comprendidas entre 1,5 y 3 kW. No obstante, las potencias medias estuvieron generalmente por debajo de 0,5 kW.

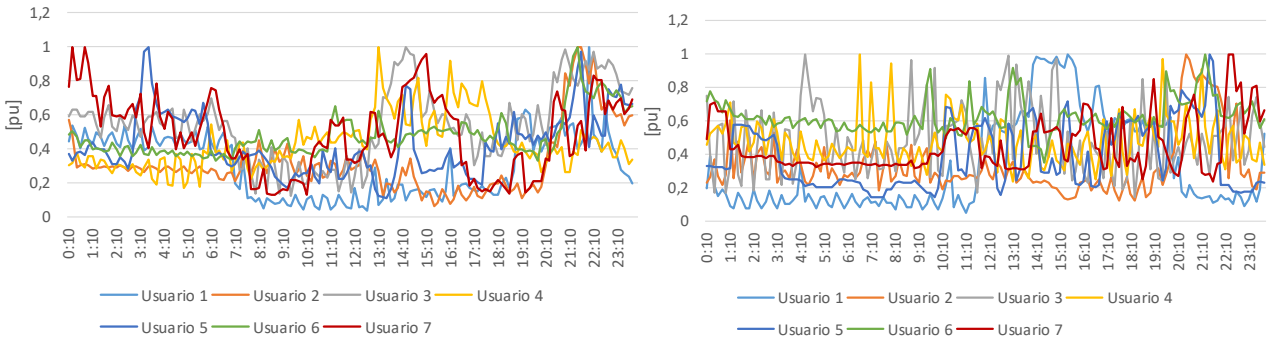


Fig. 6 - Perfil diario medio de potencia activa para días hábiles (izquierda) y para días no hábiles (derecha).

En la Fig. 7 se detalla el consumo de energía activa y reactiva junto con el factor de potencia medido para cada usuario. Los consumos de energía medios diarios resultaron bastante disimiles entre usuarios, pero puede hacerse una distinción entre aquellos usuarios considerados de bajo consumo y alto consumo. Los primeros presentaron consumos comprendidos entre 4 y 7 kWh/día (consumo diario per cápita medio de 1,8 kWh/día), mientras que los segundos presentaron consumos comprendidos entre 13 y 20 kWh/día (consumo diario per cápita medio de 3,6 kWh/día). En estos consumos influyó de forma apreciable la temperatura ambiente y el uso de acondicionadores de aire.

Los consumos de energía reactiva inductiva resultaron muy dispares entre los distintos usuarios, no pudiéndose identificar un patrón claro para su correlación. Contrariamente a lo que puede pensarse a priori, en términos de energía activa y reactiva, el factor de potencia de los usuarios es, en general, alto y cercano a 1. En 5 de los 7 usuarios registrados el factor de potencia estuvo por encima de 0,95. Probablemente, esto sea causado por la componente capacitiva que prepondera en muchas de las cargas actuales basadas en electrónica.

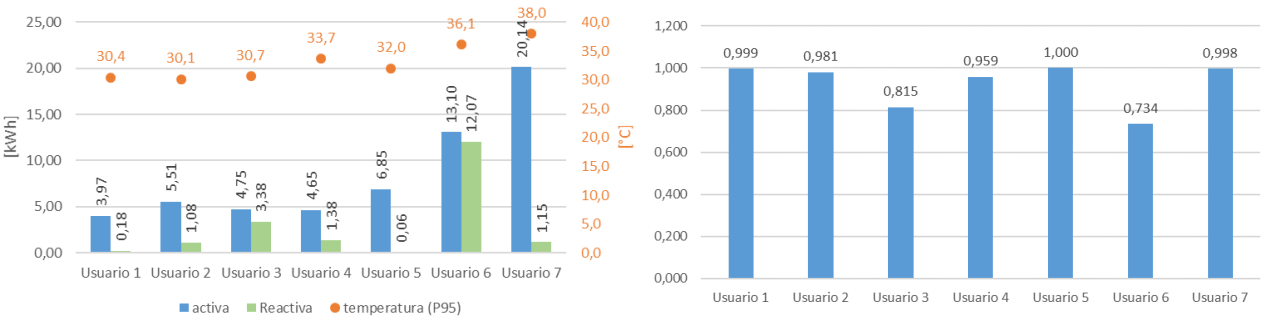


Fig. 7 - Consumo de energía (diaria activa y reactiva) y temperatura del periodo de medición (izquierda) y Factor de potencia en cada usuario, calculado a partir de los consumos de energía activa y reactiva (derecha)

Se muestra a continuación los resultados del análisis de algunos parámetros que definen la calidad de energía en el punto de suministro para los 7 usuarios. En la Fig. 8 se muestra Distorsión armónica total de la tensión y corriente mediante el valor del THD (Percentil 95 del THD registrado en cada usuario).

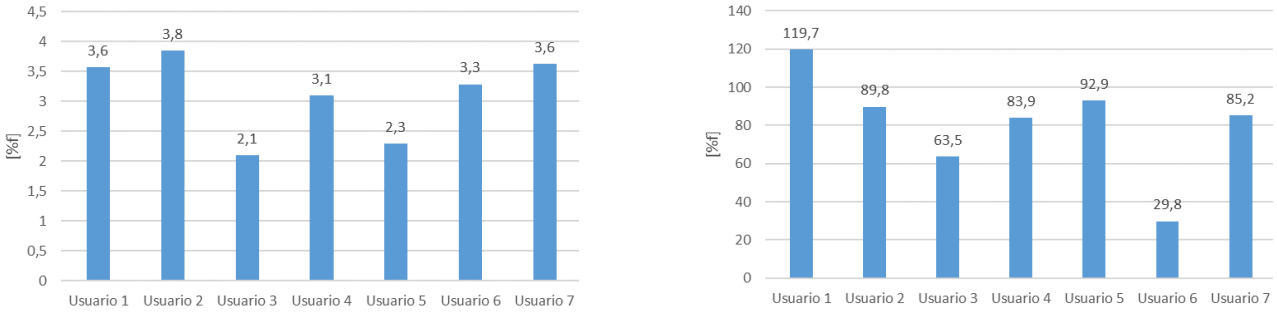


Fig. 8 - Distorsión armónica total de la tensión (izquierda) y distorsión armónica total de la corriente (derecha). Valores en % de la componente fundamental.

Conclusiones

El estudio realizado permitió caracterizar el consumo eléctrico en distintos escenarios para usuarios residenciales de la ciudad de Santa Fe. A través del análisis se logró identificar algunos patrones estacionales, semanales y horarios relacionados a su consumo. En este sentido, se considera valioso el aporte logrado con la obtención de perfiles típicos basados el análisis de registros en los distribuidores. Estos perfiles pueden emplearse en el modelado de redes de distribución y estudios específicos para la ciudad.

Por otro lado, se observaron algunos aspectos relacionados con la calidad de energía en redes de baja tensión, como la distorsión armónica provocada por las cargas de estos usuarios. Cabe remarcar que la medición de 7 perfiles residenciales no representa una muestra suficientemente grande como para caracterizar completamente el consumo de los usuarios residenciales de forma general, principalmente por lo siguiente: i) Estadísticamente, constituyen un conjunto pequeño de muestras, ii) las mediciones corresponden a momentos distintos del año, con condiciones ambientales distintas, y iii) las características de ocupación y tamaño de las viviendas, junto con los horarios de mayor actividad de los usuarios considerados, son distintos y no permiten hacer una clasificación contundente entre los usuarios. Más allá de lo anterior, los registros obtenidos permitieron identificar algunas particularidades que no se detectaron en el promedio de grandes muestras obtenidas con registros de alimentadores de la empresa distribuidora.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por la Universidad Tecnológica Nacional mediante su programa de proyectos y por el Consejo Interuniversitario Nacional a través de la Beca de Vocaciones Científicas otorgada (CIN CE. 480/2023). Los autores desean expresar su agradecimiento a la Empresa Provincial de la Energía de Santa Fe por la información brindada.

Referencias

CAMMESA. (septiembre de 2023). Informe Anual 2023.

Dehghanpour, K., Wang, Z., Wang, J., & Bu, Y. Y. (Marzo 2016). A Survey on State Estimation Techniques and Challenges in Smart Distribution Systems. IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 10, no. 2, 2312-2322.

Elhenawy, A. A.-M., Sayed, M. M., & Gilany, M. I. (2018). Harmonic Cancellation In Residential Buildings. Twentieth International Middle East Power Systems Conference (MEPCON), 346-351.

Meyer, J., Blanco, A. -M., Domagk, M., & Schegner, P. (2017). Assessment of Prevailing Harmonic Current Emission in Public Low-Voltage Networks. IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 32, no. 2, 962-970.

ANTENA HELICOIDAL vs ANTENA YAGI-UDA PARA RECEPCIÓN EN VHF DE ESTACIÓN TERRENA SATELITAL

Alejo Alesandría[1], Gastón Peretti[1], Sergio Felissia[1], Jorge Bossio[1]

[1]Departamento de Ingeniería Electrónica, Facultad Regional San Francisco, Universidad Tecnológica Nacional, Av. De la Universidad 501- San Francisco
gperetti@facultad.sanfrancisco.utn.edu.ar

Resumen

En los últimos años, las imágenes satelitales han sido ampliamente utilizadas para el estudio de parámetros ambientales. En nuestra región los factores climatológicos tienen incidencia sobre la producción agrícola - ganadera y una predicción de sus impactos posibilitaría la ejecución de estrategias para minimizarlo. La banda de VHF de 30 a 300 MHz, entre otras normalmente se utilizan como frecuencias principales para telemetría, seguimiento y comando (TT&C) en satélites debido a los bajos costos y la alta accesibilidad para los usuarios finales. El objeto del presente trabajo es comparar parámetros de dos tipos de antenas denominadas Yagi-Uda y Helicoidal, en esta banda de recepción satelital, específicamente alrededor de los 137,5 Mhz. Los parámetros característicos que se tendría previsto comparar en tales antenas serían los patrones de radiación, la ganancia de la antenas, el roe y la relación front/back, entre otros con el fin de seleccionar la antena que mejor se adapte para la recepción de señales en una estación terrena satelital, la cual será utilizada para recibir señales de satélites de órbita baja (LEO), finalmente con el objetivo de recibir específicamente información de satélites meteorológicos tales como los NOAA -15, NOAA-18 y NOAA-19. Los resultados de simulación obtenidos mostrarían mejor performance para características como ganancia, el roe y la relación front/back para la antena Yagi-Uda en general en frecuencias cercanas a los 137,5 Mhz, además de resultar más sencilla su construcción por su forma.

Palabras Clave: Estación terrena, Antena helicoidal, Satélites.

Introducción

El diseño de una estación terrena y sobre todo en este caso puntual, el diseño de la antena receptora nunca debería considerarse una tarea aislada del resto del sistema de comunicación (Redolfo Neri Vela, 2015). Por el contrario, como la antena forma parte de un todo, debe realizarse una evaluación global para determinar las características mínimas necesarias, tales como ganancia, e impedancia dentro de sus principales características. En nuestro caso, si analizamos el sistema de recepción de una estación terrena satelital podríamos decir que el sistema de comunicación está compuesto por la antena receptora, un filtro pasabanda, un LNA (Low Noise Amplifier) o amplificador de bajo ruido, y el receptor como es apreciado en el diagrama en bloque (Fig. 1).

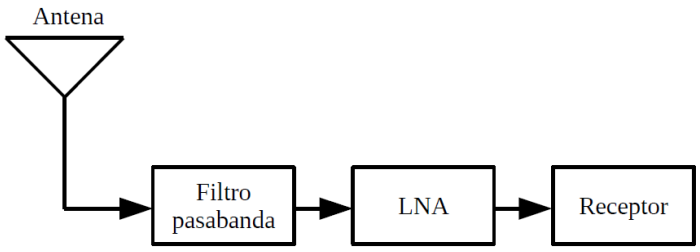


Fig. 1. Diagrama de una estación terrena satelital

Uno de los tipos de antena muy utilizado en la transmisión y recepción de señales en VHF, es la antena Yagi-Uda. La misma se compone de un boom central donde se montan de manera

transversal, los diferentes elementos. Consta de un elemento excitador, formado por un dipolo simple o doblado y una cantidad N de elementos parásitos. Posee dos tipos de elemento parásitos, uno situado delante del excitador, llamado director y otro situado detrás del excitador que se denomina reflector. Comúnmente una antena Yagi-Uda (Molino Luis Antonio, 2021) posee una matriz de varios directores colocados frente al elemento excitador y uno o dos reflectores detrás del elemento excitador mencionado para poder lograr una buena direccionalidad (Fig. 2).

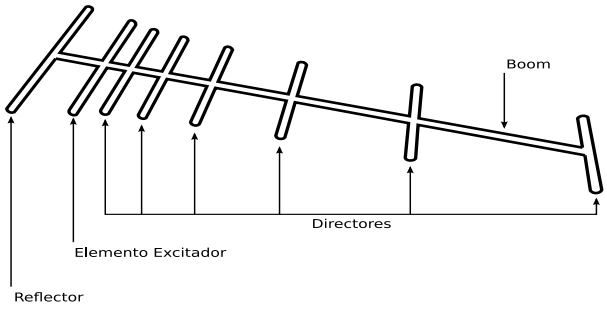


Fig. 2. Antena yagi-Uda

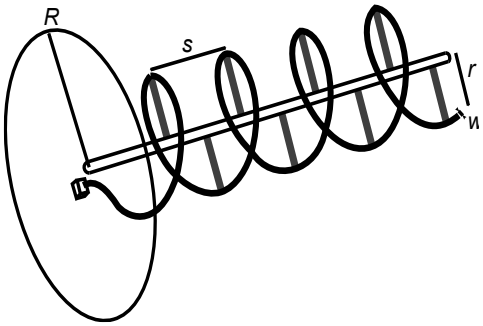


Fig. 3. Antena helicoidal

Por otra parte otro tipo de antena muy utilizada en comunicaciones satelitales (Corona Pablo Cruz, 2018) y estaciones terrenas es el modelo de antena helicoidal. La misma está formada por un alambre conductor enrollado en forma de espiral, conformando un helicoide y con un plano de tierra finito, similar al de los monopolos. Los parámetros claves de una antena helicoidal son el radio de la hélice, la circunferencia de la hélice, el número de vueltas, la separación entre vueltas, el radio del plano de tierra y el diámetro del conductor (Fig. 3). La antena helicoidal proporciona un alto rendimiento y una plataforma de antena robusta tanto en el espacio como en tierra (Corona Pablo Cruz, 1994).

Materiales y métodos

En el presente trabajo se desea comparar dos modelos de antenas denominadas Yagi-Uda y Helicoidal, en esta banda de recepción satelital, específicamente alrededor de los 137,5 Mhz.. Los parámetros característicos que se tendría previsto comparar en tales antenas serían los patrones de radiación, la ganancia de las antenas, el roe o relación de ondas estacionarias, en inglés swr (standing wave ratio) y la relación front/back, entre otros con el fin de seleccionar la antena (José Abel Hernandez Rueda, 1998) que mejor se adapte para la recepción de señales en una estación terrena satelital. El servicio que se desea recibir es el servicio APT (automatic picture transmision) de los satélites NOAA-15, NOAA-18 y NOAA-19 (Lopez Morilla, 2017).
La propuesta de dimensiones de la antena helicoidales cumplir con el criterio principal de diseño en una antena helicoidal es cumplir con un correcto ángulo de paso, el cual define la separación entre vueltas, como también el número de giros y el diámetro del plano de tierra. Se adopta este último, es decir el plano de tierra con una forma circular y cumpliendo con diámetro $D>\lambda/2$ como dimensión. El diámetro del conductor w se define de acuerdo con las restricciones mecánicas para llevar a cabo su construcción. La separación entre espiras s suele adoptarse entre 0,19 de λ y 0,25 de λ. Si se incrementa esta distancia s, en conjunto con el número de vueltas y la circunferencia de la hélice, se obtiene un aumento en la directividad de la antena. La circunferencia c de la helicoidal es óptima si se cumple que es igual a la longitud de onda seleccionada, pero se puede determinar un rango comprendido entre 0,75 de λ y 1,73 de λ. La cantidad de vueltas suele comprender valores entre 3 y 15 vueltas. La impedancia de la helicoidal también es sensible al espaciamiento y la circunferencia de los giros, aumentando, generalmente, a medida que se incrementan estas dimensiones, típicamente la impedancia ronda entre valores de 140 a 250 ohm.
De modo que se propone primero calcular el radio de la hélice tomando el diámetro c de circunferencia de la helicoidal igual a la longitud de onda λ considerando a una frecuencia de 137,5

Mhz. Entonces el radio de la circunferencia (Ec. 1) y el diámetro del plano de tierra D debe cumplir (Ec. 2):

$$r = \frac{c}{2\pi} = \frac{\lambda}{2\pi} = \frac{2{,}18 \text{ mts}}{2*3{,}14} = 0{,}347 \text{ mts} \quad (1)$$

$$\mathrm{D} = 2\mathrm{R} > \frac{\lambda}{2} = \frac{2{,}18}{2} = 1{,}09 \text{ mts} \quad (2)$$

Además, se define la mayor separación entre espiras s según el criterio, para obtener una óptima directividad (Ec. 3):

$$\mathrm{s} = 0{,}19 * \lambda = 0{,}19 * \ 2{,}18\text{mts} = 0{,}414 \text{ mts} \quad (3)$$

El número de vueltas que se propone es N=7. Por último, se utiliza un diámetro de conductor de w=7.94mm, debido a la disponibilidad de mercado del aluminio de estas dimensiones. Para optimizar la antena helicoidal se realizó la simulación con software Matlab en este caso reajustando los valores hasta obtener los mejores resultados en ganancia, roe, relación front/back para una frecuencia de 137,5 Mhz (Tabla 1).

Tabla 1. Dimensiones finales de antena Helicoidal

r	R	s	N	w
373 mm	700 mm	545 mm	7	7,94 mm

Para la propuesta de dimensiones de la antena Yagi-Uda: en este caso se calcula la longitud L y la separación s entre elementos como una primera propuesta de diseño de la antena Yagi-Uda. Luego mediante software de simulación, se encuentran los valores óptimos. Para la primera instancia los elementos con una longitud L (Ec. 4) y para la separación s entre elementos (Ec. 5).

$$\mathrm{L} = \frac{\lambda}{2} = \frac{2{,}18}{2} = 1{,}09 \text{ mts} \quad (4)$$

$$\mathrm{s} = \frac{\lambda}{4} = \frac{2{,}18}{4} = 0{,}545 \text{ mts} \quad (5)$$

Luego en una segunda etapa de optimización de la antena se la simula en el software MMANA-GAL obteniéndose los mejores resultados en ganancia, roe, relación front/back para una frecuencia de 137,5 Mhz con las siguientes tamaños y separaciones (Tabla 2):

Tabla 2. Dimensiones finales de antena Yagi-Uda

Elemento	Longitud	Posición en boom
Reflector	1062 mm	0 mm
Director 1	1028 mm	594 mm
Director 2	978 mm	697 mm
Director 3	980 mm	1140 mm
Director 4	944 mm	1705 mm

Resultados y discusiones

Una vez optimizadas ambas antenas tanto la antena Yagi-Uda como la antena Helicoidal, se someten a software de simulación para obtener los patrones de radiación, el roe, la relación front/back a modo de poder realizar una comparación de las características observadas de cada una de ellas para la frecuencia de interés, que en este caso se encuentra alrededor de los 137,5 Mhz que es la frecuencia del servicio APT de los satélites NOAA 15, NOAA 18 y NOAA 19 que se desea recibir.

Se muestra los patrones de radiación de la antena Helicoidal en primera medida para la frecuencia de 137,5 Mhz (Fig. 4):

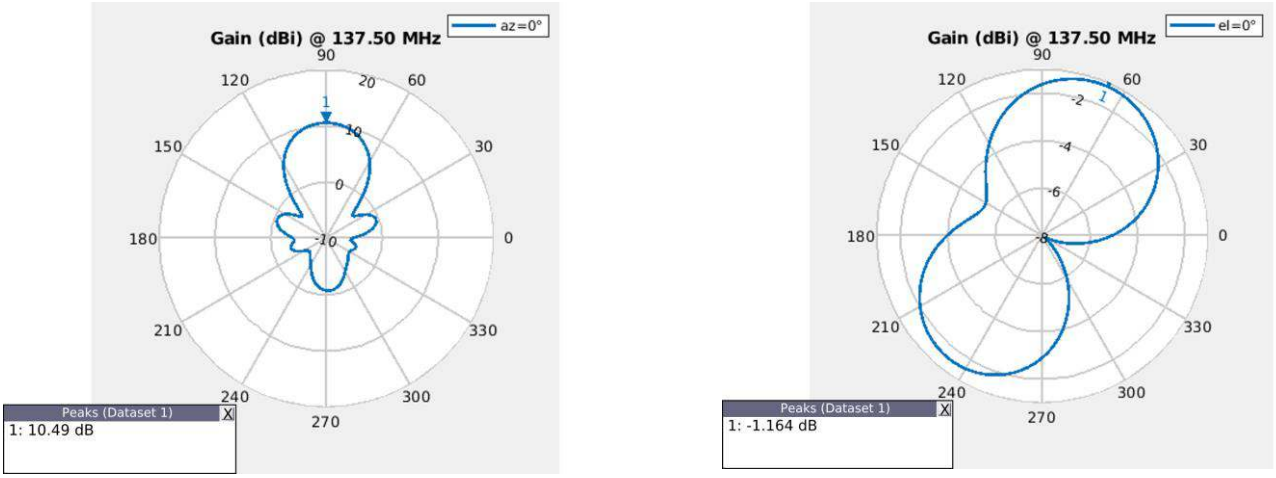


Fig. 4. Patrones de radiación de antena helicoidal azimut y elev.

Por otra parte se muestra los patrones de radiación de antena Yagi-Uda para la frecuencia de 137,5 Mhz (Fig. 5):

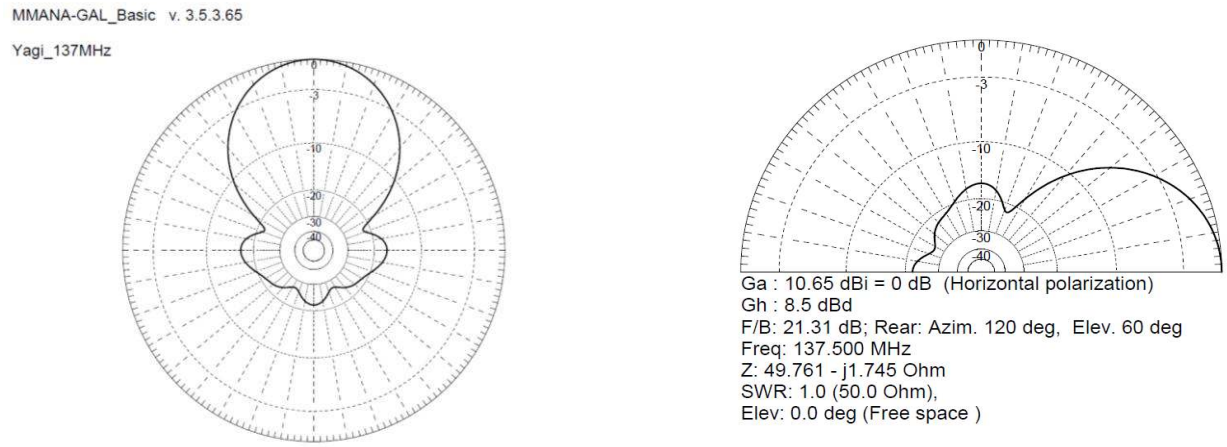


Fig. 5. Patrón de radiación de antena Yagi-Uda

Comparando ambos diagramas de radiaciones vemos que son semejantes, e inclusive la ganancia de ambas es bastante parecida resultando de 10,65 dBi para la antena Yagi-Uda y de 10,49 dBi para la antena helicoidal. Ambas poseen bastante directividad siendo el ángulo de apertura de alrededor de 60 °. Simulando el roe o swr para la antena helicoidal y Yagi-Uda respectivamente tenemos (Fig. 6):

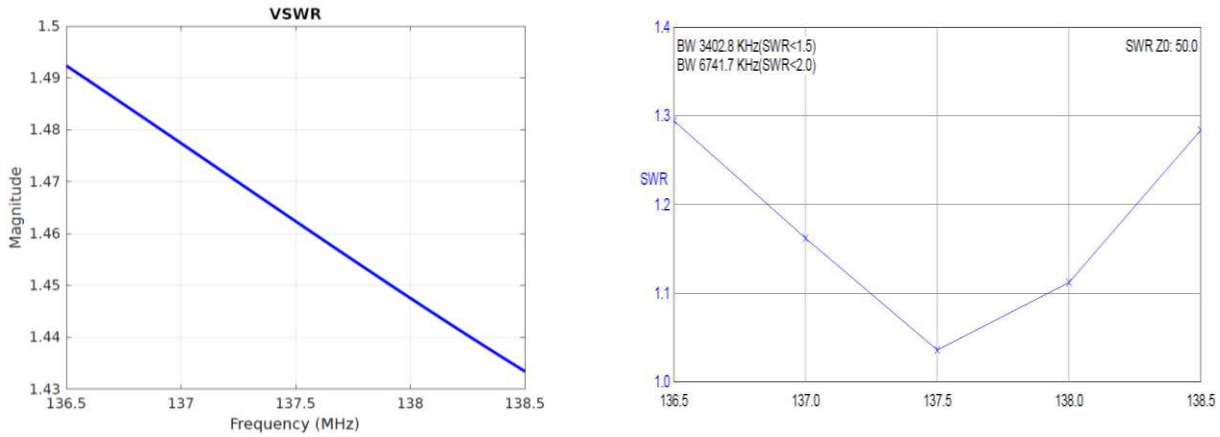


Fig. 6. Roe o swr de antena helicoidal y Yagi-Uda respectivamente a 137,5 Mhz.

Se puede interpretar, en cuanto al SWR, que la antena Yagi-Uda presentaría un mejor resultado con swr =1,04 para la frecuencia central de 137,5 Mhz mientras que la antena Helicoidal posee swr =1,463, aunque esta última sigue estando en un valor razonable ya que cumple con un swr <1,5.

Cuando realizamos la simulación de la relación front/back para la antena helicoidal y Yagi-Uda para la frecuencia de 137,5 Mhz (Fig. 7). Como se puede apreciar en las figuras la antena helicoidal tiene una relación front/back de 14,52 dB para la frecuencia de 137,5 Mhz, mientras que la antena Yagi-Uda posee una relación front/back de 21,31 dB, por lo cual parecería que esta última tiene mejor rechazo a las señales provenientes por detrás de la dirección de propagación. Cuando revisamos la impedancia de ambas antenas la impedancia de la antena helicoidal se encuentra alrededor de los 170 ohm mientras que la impedancia de la antena Yagi-Uda con un valor muy cercano a los 50 ohm. Este último punto o simulación no es mostrado en el trabajo por razones de espacio.

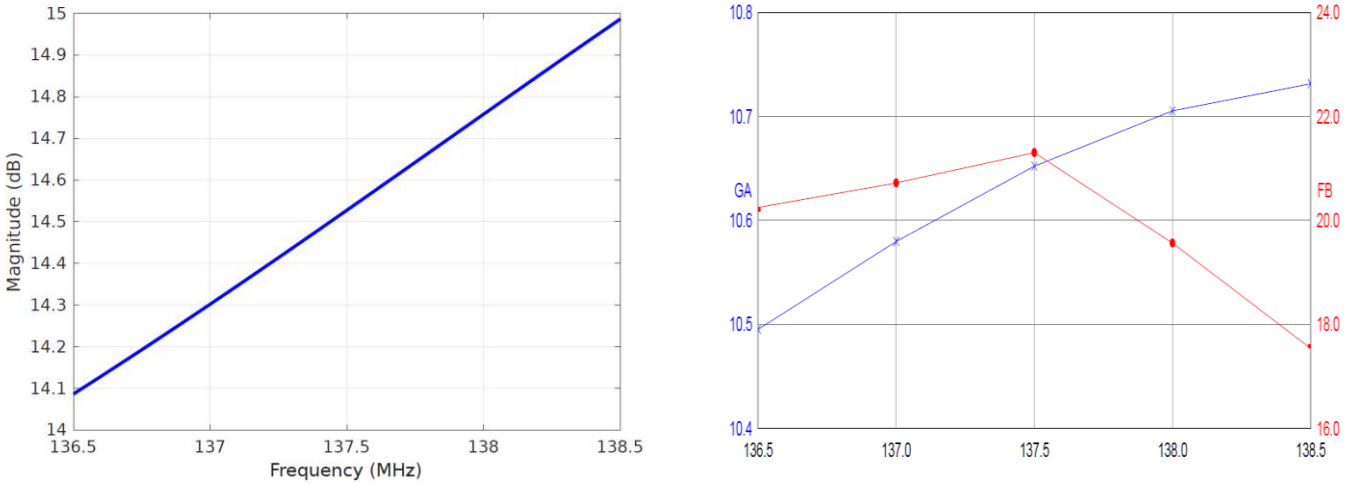


Fig. 7. Relación front/back de antena helicoidal y Yagi-Uda a 137,5 Mhz.

Conclusiones

A lo largo de todo el trabajo se analizaron dos diferentes modelos de antenas. Un modelo del tipo helicoidal y otro modelo del tipo Yagi-Uda para una frecuencia central de 137,5 Mhz. La frecuencia central elegida es la frecuencia que transmiten los satélites NOAA el servicio APT con el fin ser lograr su recepción en estación terrena satelital. Para ambos modelos de antenas se realizó una primera aproximación a través de cálculos y luego fue reajustada a través de software de simulación, en estos casos puntuales de MMana-Gal y Matlab. Se compararon la ganancia, el roe o swr y la relación front/back para la frecuencia central de 137,5 Mhz. Analizando los resultados logramos observar que las ganancias de ambas serían parecidas, el roe o swr ajustaría un poquito mejor para la antena Yagi-Uda y la relación front/back parecería que a 137,5 Mhz la antena Yagi-Uda se comportaría mejor para rechazar señales provenientes por detrás de la dirección de propagación. Además la impedancia característica de la Yagi-Uda resultaría muy próxima de los 50 ohm respecto a los 170 ohm de la antena helicoidal, lo que haría mas sencillo la adaptación de impedancia en la estación terrena. Por otra parte si comparamos a la frecuencia central los tamaños de las mismas, parecería que la antena Yagi-Uda resultaría de menor tamaño, además de más sencilla su construcción. En cuanto a la polarización de la onda, la antena helicoidal tendría la ventaja de recibir polarización que por razones de medios se encuentre rotada, lo que lo hace seguramente muy elegible para recibir frecuencias bastante superiores a los 137 Mhz que hagan que el tamaño de la antena sea mucho más pequeña, sino un arreglo de antenas Yagi-Uda sería lo esperable. Por todo lo expuesto parecería que el modelo Yagi-Uda se adaptaría mejor a la frecuencia central de 137,5 Mhz en función de los parámetros analizados resultando su construcción más sencilla y su peso más reducido para su utilización en la estación terrena satelital.

Referencias

Redolfo Neri Vela, (2015). Comunicaciones por satélite. México: Thomson.

Molino Luis Antonio, (2021). El ABC de las antenas. Barcelona, España.

Corona Pablo Cruz, (2018). Radiaficionados, Satélites y Naves espaciales. Barcelona, España: marcombo

Corona Pablo Cruz, (1994). Satélites de Radioaficionados. Barcelona, España: marcombo

José Abel Hernandez Rueda, (1998). Antenas, principios básicos, análisis y diseños. California, Estados Unidos: Universidad Autónoma de Baja California

López Morillas J., (2017). Servicio Web para satélites meteorológicos NOAA basado en receptor SDR. Granada. España: Universidad de Granada

DESARROLLO DE MATRICES POLIMÉRICAS pH-RESPONSIVAS CON APLICACIÓN EN CAPTACIÓN DE METALES PESADOS

Alejo N. Pardini[1], Oscar R. Pardini[1], Paula A. Faccia[2], Francisco M. Pardini[1]

[1]Centro de Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Materiales (CITEMA - FRLP-UTN), Berisso, CP 1923, Argentina.
[2]Grupo (Nano) Materiales Poliméricos: Instituto de Investigaciones Fisicoquímicas Teóricas y Aplicadas (INIFTA-CCT La Plata CONICET), Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata, La Plata, CP 1900, Argentina.

email:alejopardini@gmail.com

Resumen

Los polímeros inteligentes o responsivos son materiales muy atractivos para la aplicación en diversas áreas de la industria (biomédica, farmacéutica, agrícola, etc.), debido a que poseen la particularidad de modificar su estructura y sus propiedades físicas en respuesta a un estímulo externo como puede ser el pH, fuerza iónica o temperatura. Especialmente la utilización de polímeros pH-responsivos pueden ser de gran importancia como sistemas de transporte de fármacos, o como agentes acomplejantes que permitan la eliminación de iones metálicos en soluciones acuosas, tales como efluentes líquidos industriales y aguas residuales. Si bien existen métodos convencionales de remoción de metales, el uso de polímeros con estas características permite alcanzar una alta eficiencia y selectividad. El poli(2-(dietilamino)etil metacrilato) (PDEA) es un polímero capaz de formar complejos del tipo de coordinación con metales pesados, sin embargo, es un polímero de baja resistencia mecánica y no permite una aplicación directa como tal. Por otro lado, los poliuretanos (PU) son polímeros versátiles que permiten la funcionalización de sus cadenas y es posible combinarlos con polímeros acrílicos de forma de lograr mezclas de materiales poliméricos con propiedades especiales y particulares.

El objetivo del presente trabajo es entonces preparar sistemas poliméricos funcionales capaces de eliminar iones metálicos que puedan estar presentes en aguas contaminadas. Para ello se sintetizaron, por medio de una polimerización en dispersión, sistemas mezcla (blendas e híbridos) de PU y PDEA con diferentes proporciones. Los sistemas obtenidos fueron utilizados en forma de películas y se ensayaron como matrices pH-responsivas para eliminar iones metálicos (Cu^{+2}) en solución. Además, los sistemas se caracterizaron por FTIR, UV-visible y DSC.
Se observó que, a una mayor concentración inicial del metal, se obtiene una mayor captación del mismo en el rango analizado.

Los sistemas PU/DEA sintetizados pueden ser útiles como sistemas de captación de metales pesados en solución.

Palabras Clave: Polímeros inteligentes, sistemas pH-responsivos, captación de metales pesados en solución.

1. Introducción

Los polímeros inteligentes o responsivos son materiales muy atractivos para la aplicación en diversas áreas de la industria (biomédica, farmacéutica, agrícola, etc.), debido a que poseen la particularidad de modificar su estructura y sus propiedades físicas en respuesta a un estímulo externo como puede ser el pH, fuerza iónica o temperatura. Especialmente la utilización de hidrogeles estímulo-responsivos pueden ser de gran importancia como sistemas de transporte de fármacos (Faccia & Amalvy, 2013; Pardini & Amalvy, 2014) o como agentes acomplejantes que permitan la eliminación de iones metálicos en soluciones acuosas, tales como efluentes líquidos

industriales y aguas residuales. Si bien existen métodos convencionales de remoción de metales, el uso de polímeros con estas características permite alcanzar una alta eficiencia y selectividad (Rivas, Maureira & Geckeler, 2006).

El acrílico 2-(dietilamino) etil metracrilato (DEA) es una amina terciaría que se utiliza para sintetizar polímeros sensibles al cambio de pH y que posee un átomo de nitrógeno con un par libre de electrones capaz también de formar complejos del tipo de coordinación con metales como el cobre (Pardini, Amalvy, François & Daraio, 2007). Sin embargo, su baja resistencia mecánica y estabilidad en soluciones acuosas impide su utilización como sistema puro. Una solución es la combinación de materiales poliméricos para obtener sistemas con propiedades especiales y particulares. Por ejemplo, los poliuretanos (PU) son polímeros versátiles que permiten la funcionalización de sus cadenas y pueden ser co-polimerizados con monómeros acrílicos, y además poseen propiedades mecánicas excepcionales y una muy buena transparencia. En este trabajo se propone el uso de sistemas híbridos y blendas de poliuretano/acrílico, donde el componente acrílico es un polímero estimulo-responsivo unido químicamente con el poliuretano, con el fin de emplearlos como matrices capaces de absorber metales pesados. Al introducir la DEA en la red poliuretánica se pretende obtener un sistema mecánicamente estable, y con propiedades pH-responsivas, que frente a las condiciones apropiadas, modifique su estructura y permita el ingreso del metal a la matriz.

En el presente trabajo se describen la síntesis y caracterización por espectroscopia FTIR y grado de hinchamiento (GH) de polímeros híbridos y blendas con diferentes cantidades de PU y DEA (del 70 y 90 % p/p) ligeramente entrecruzados con poli(propilenglicol) diacrilato (PPGDA) y se los evalúa como posibles sistemas capaces de captar metales pesados. Además, se analiza la influencia de la DEA en la eficiencia de captación utilizando Cu^{+2} como metal modelo.

2. Materiales y métodos

2.1 Síntesis de los polímeros

Para los sistemas híbridos, la dispersión del PU se fraccionó en varias partes y se agregaron diferentes cantidades de DEA, PPGDA como agente entrecruzador y poli(etilenglicol) metacrilato (PEGMA) como estabilizador estérico. La polimerización de la mezcla de PU-DEA/PPGDA/PEGMA se realizó en masa utilizando un reactor de vidrio (1000 ml) con control de temperatura y APS como iniciador. La polimerización conduce a la formación de sistemas híbridos de PU/DEA con una unión química entre el poliuretano y las fracciones de DEA. Estos sistemas híbridos fueron denominados en forma abreviada como “H90/10” para el sistema compuesto por 90 % p/p de PU y 10 % p/p de DEA. Para los sistemas blenda, el pH de la dispersión acrílica se llevó a neutralidad con TEA y se filtró con el objeto de eliminar posibles agregados formados durante el procedimiento. Posteriormente, se adicionó gota a gota y con agitación constante la cantidad adecuada de dispersión acrílica (pDEA) sobre la dispersión poliuretánica polimerizada. Finalizado el agregado, se mantuvo la agitación durante una hora. La mezcla obtenida se filtró luego de 24 horas por malla de 63 mesh. Se sintetizaron dos tipos de mezcla diferentes dependiendo de la cantidad de acrílico agregado. La notación B90/10 corresponde una mezcla preparada utilizando 90 % p/p de dispersión poliuretánica polimerizada y 10 % p/p de dispersión acrílica.

2.2 Preparación de las películas de polímero

Luego de la polimerización, las películas se prepararon por deposición (*casting*) de las dispersiones sobre un molde apropiado (Fig.1). Luego del secado, las películas se cortaron en círculos (25 mm de diámetro) y se curaron a 60°C por 48 h.

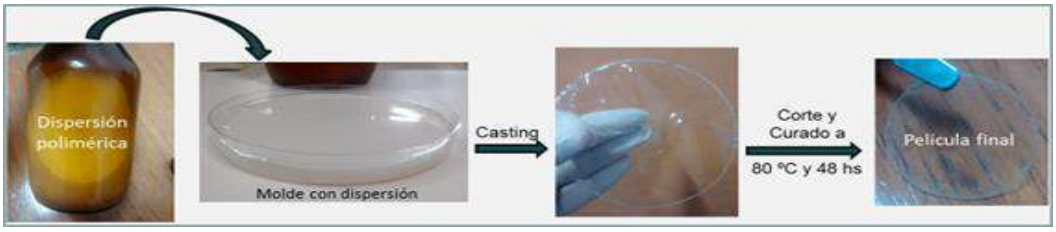


Fig 1. Representación del proceso de preparación de las películas

2.3 Mediciones

2.3.1 Espectroscopía FTIR

Los espectros FTIR se midieron en modo de transmisión utilizando un espectrómetro FTIR Nicolet 380. Los espectros se obtuvieron a partir de 64 barridos entre 4000 y 400 cm^{-1} con una resolución de 4 cm^{-1}. El procesamiento de los espectros se realizó utilizando el software EZ Omnic.

2.3.2 Grado de hinchamiento

El grado de hinchamiento (GH) de los sistemas poliméricos con sus diferentes proporciones de PU/Acrílico se determinó empleando la técnica gravimétrica. El grado de hinchamiento (GH) se calculó empleando la ecuación:

$$GH = \left(\frac{P_H - P_S}{P_S}\right) x\ 100 \qquad (1)$$

donde PH y PS son las películas hidratadas y secas respectivamente.

2.3.3 Captación del Metal

La captación del cobre por parte de las películas poliméricas se llevó a cabo por inmersión de las mismas en una solución acuosa de $CuSO_4$ a diferentes concentraciones. Las determinaciones se realizaron por absorción atómica utilizando un espectrofotómetro Varían SpectrAA 300 Plus. Las medidas se realizaron a pH 4, a temperatura ambiente y por triplicado. La cantidad de Cu^{+2} absorbido se calculó por diferencia de concentración entre la solución inicial y la solución final una vez alcanzado el equilibrio (7 días).

3. Resultados y discusión

3.1 Caracterización por espectroscopia FTIR de los sistemas híbridos de PU/DEA

En la Fig. 2 se muestra el espectro del PU puro y de los sistemas ensayados

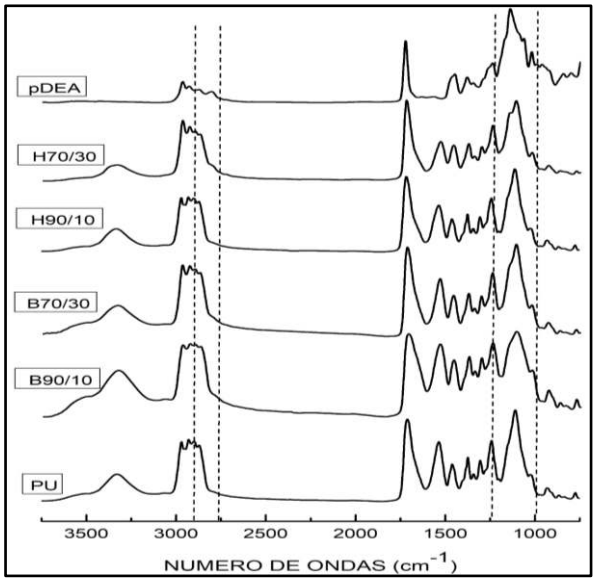


Fig 2. Espectros FTIR del PU, pDEA, de los sistemas híbridos y blendas.

El espectro de PU puro muestra las bandas típicas correspondientes a los segmentos duros a 3337, 3460, 1534 y 1712 cm^{-1}; y a los segmentos blandos a 1373, 1457, y de 2960 a 2875 cm-1 (Irusta & Fernández-Berridi, 1999). El espectro de la pDEA muestra una banda a 1729 cm^{-1} asignada a la vibración de estiramiento del carbonilo de los grupos éster del acrílico y una banda a 1150 cm^{-1} correspondiente a la vibración de estiramiento del C-O.

En los sistemas híbridos se observa un cambio progresivo de sus espectros con el aumento del contenido de acrílico. Si bien estos están compuestos por la combinación de las bandas de los componentes poliuretánico y acrílico puros, en adición se observan corrimientos en la región de vibración de estiramiento de C=O y de la banda de estiramiento NH al incrementar la proporción del componente acrílico. Se puede observar un corrimiento a números de ondas más altos en las bandas de estiramiento NH (de 3340 a 3360 cm^{-1}), a medida que se incrementa el contenido de DEA. Este comportamiento se debe a la ruptura de las interacciones de puente de hidrógeno. La presencia de las diferentes cantidades de DEA produce un cambio en la distribución de las interacciones de este tipo. Puede apreciarse que a bajas proporciones del monómero acrílico (10 % p/p), no es suficiente para modificar dicha interacción, pero al incrementar la proporción de DEA (30 % p/p) se produce un corrimiento del máximo de absorción de la banda NH hacia mayores números de onda (región 3450 – 3340 cm-1), característico de la vibración de estiramiento del NH libre. Además se observan cambios en la forma de la banda que no pueden ser interpretados como una contribución del componente acrílico. Por tanto, la presencia de DEA cambia la interacción mediante puentes de hidrógeno presente en el material poliuretánico, lo cual indica que existe una interacción entre ambos componentes en el material híbrido (Peruzzo, Anbinder y col. 2010).

Los cambios más importantes en los espectros de las blendas se observan en las bandas del estiramiento C=O (a 1712 cm^{-1}) y del grupo C-O-C (1110 cm^{-1}) (flexión y estiramiento) de los segmentos blandos del PU. En la primera región se observa la contribución correspondiente al pDEA. La banda observada a 1240 cm^{-1}, que se asigna al estiramiento asimétrico de los grupos C-O-C, se ensancha como también la banda asignada a la vibración de estiramiento del C-O del uretano y los grupos éter (a 1109 cm^{-1}), indicando una fuerte interacción o perturbación de las cadenas a través de los grupos éter del PPG y/o N-H de la fracción uretánica y los grupos carbonilos del éster del pDEA.

3.2 Grado de Hinchamiento

La Figura 3 muestra el GH en equilibrio para los diferentes sistemas poliméricos a pH ácido.

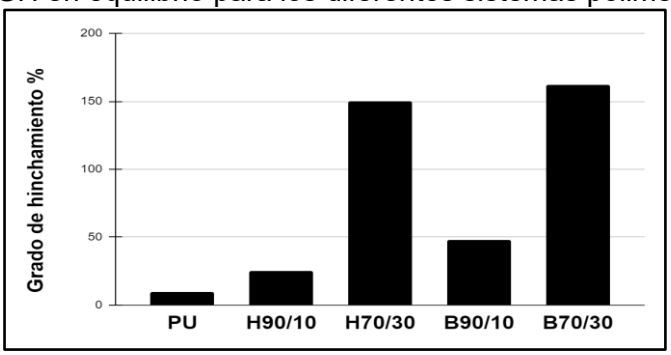


Fig 3. Grado de hinchamiento en equilibrio para los sistemas híbridos y PU puro.

Se observa que el incremento en el contenido de DEA produce un aumento en el GH debido a la protonación de los grupos aminos y al incremento de la fuerza de repulsión electrostática entre los grupos iónicos. El incremento en el espacio de la red, a su vez, permite que el agua ingrese dentro de la matriz (Nam, Watanabe & Ishihara, 2004; Yanfeng & Min, 2001).

Las características previamente mencionadas permitirían al sistema la absorción del metal al interior de la matriz cuando se modifica el medio circundante.

3.3 Captación del metal

En la Figura 4 puede observarse como el incremento en la proporción de DEA en los sistemas híbridos y blendas, conlleva a una mayor captación de Cu^{+2} para todas las concentraciones ensayadas. Estos resultados se correlacionan con el comportamiento de hinchamiento observado en la Figura 2. Además, en la Figura 3 se muestra cómo influye la concentración inicial de la solución del metal en la cantidad de Cu^{+2} incorporado. Se puede apreciar que a mayor concentración inicial del metal se obtiene una mayor captación del mismo en el rango analizado.

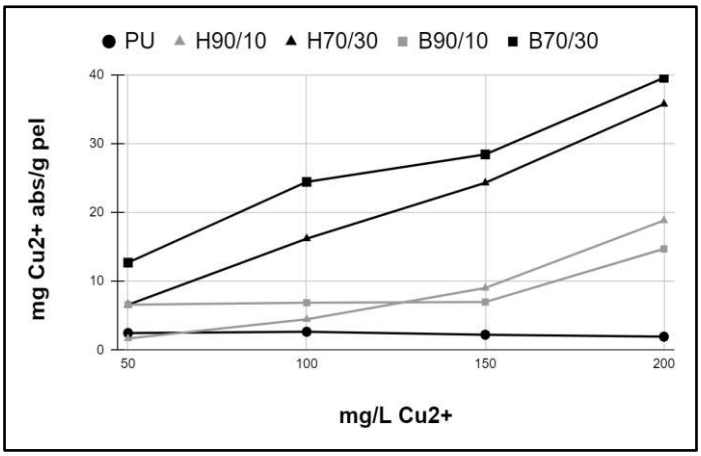


Fig 4. Captación de cobre en función de la concentración inicial del metal para los diferentes sistemas

4. Conclusiones

Los sistemas híbridos y blendas de PU/DEA, mostraron ser capaces de captar iones metálicos (Cu^{+2}) en solución. El aumento de la cantidad del componente acrílico (DEA) en dichos sistemas se traduce en una mayor incorporación del metal. La cantidad de cobre captado depende del tipo de polímero (híbrido o mezcla), de la composición de los mismos y de la concentración inicial del metal en el rango analizado. En ese sentido, las blendas incorporaron mayor cantidad de cobre que los sistemas híbridos en los análisis realizados.

5. Referencias

Amalvy, J. I., Wanless, E. J., Li, Y., Michailidou, V., Armes, S. P. & Duccini, Y. (2004). Synthesis and characterization of novel pH-responsive microgels based on tertiary amine methacrylates. *Langmuir, 20,* 8992–8999.

Faccia, P. A. & Amalvy, J.I. (2013). Synthesis, characterization and swelling behavior of new pH-sensitive hydrogels derived from copolymers of 2- hydroxyethyl mathacrylate and 2-(diisopropylamino)ethylmethacrylate. *Journal of Applied Polymer Science, 127,* 1974 – 1980.

François, N., Daraio, M. E., Pardini, O.R. & Amalvy J.I. (2007). Properties of pH-dependent tertiary amine-based gels as potential drug delivery matrices. *Journal of Applied Polymer Science, 104,* 4035 – 4040.

Irusta, L. & Fernández-Berridi, M.J. (1999). Aplicación de la Espectroscopía Infrarroja de Transformada de Fourier al estudio de recubrimientos de poliuretano, *Revista de Plásticos Modernos, 78,* 245 – 251.

Nam, K., Watanabe, J. & Ishihara, K. (2004). Modeling of swelling and drug release behavior of spontaneously forming hydrogels composed of phospholipid polymers, *International Journal of Pharmaceutics, 275,* 259 – 269.

Pardini, F.M. & Amalvy J.I. (2014). Synthesis and swelling behavior of pH-responsive polyurethane/poly[2-(diethylamino)ethyl methacrylate] hybrid materials. *Journal of Applied Polymer Science*, *131,* 39799.

Peruzzo, P.J., Anbinder, P.S., Pardini, O.R., Costa, C.A., Leite, C.A., Galembeck, F. & Amalvy, J.I. (2010). Polyurethane/acrylate hybrids: Effects of the acrylic content and thermal treatment on the polymer properties. *Journal of Applied Polymer Science, 116,* 2694-2705.

Rivas, B.L., Maureira, A., & K.E. Geckeler, K.E. (2006). Novel water-soluble acryloylmorpholine copolymers: Synthesis, characterization, and metal ion binding properties, *Journal of Applied Polymer Science, 101,* 180–185.

Yanfeng, C. & Min, Y. (2001). Swelling kinetics and stimuli-responsiveness of poly(DMAEMA) hydrogels prepared by UV-irradiation. *Radiation Physics and Chemistry, 61,* 65 – 68.

ESTACIÓN DE MONITOREO DE VARIABLES ATMOSFÉRICAS BASADA EN MICROCONTROLADOR RASPBERRY PI PICO W

Ramiro Manicardi, Andrés N. Alaniz, Julián Forneris, Franco Salvático, Javier Gonella
Departamento de electrónica, Facultad Regional de Villa María, Universidad Tecnológica Nacional,
Av. Universidad 450, Villa María, Córdoba, Argentina
ramiromanicardi123@gmail.com

Resumen

Obtener variables atmosféricas es esencial para evaluar y mejorar la calidad del ambiente, ya que permite monitorear la contaminación del aire y otros factores que afectan la salud humana y ecológica. El objetivo del trabajo es diseñar y desarrollar una estación meteorológica mediante el uso del microcontrolador Raspberry Pi Pico W que sea económica y eficiente en la obtención de datos en tiempo real como temperatura, presión, humedad, precipitaciones, calidad del aire, partículas en suspensión, índice UV, dirección y velocidad del viento. Además, facilitar la exhibición de los parámetros a través de una página web accesible desde cualquier dispositivo conectado a internet.

Se analizaron soluciones accesibles y precisas para la obtención de datos atmosféricos en aplicaciones domésticas y de investigación ambiental. En el mercado, muchas estaciones meteorológicas son costosas o no se integran fácilmente con redes domésticas y plataformas de visualización en tiempo real, cualquiera de estas desventajas limita la capacidad de monitorear condiciones ambientales locales eficazmente.

Después de evaluar diversos sensores, se desarrolló el software en MicroPhyton para la adquisición y procesamiento de datos presentados en una interfaz web. Es de importancia señalar que se elaboró una estructura a los estándares del proyecto empleando materiales reciclados e impresiones en 3D.

Los resultados obtenidos muestran que la estación meteorológica es capaz de proporcionar lecturas exactas y en tiempo real sobre una amplia gama de variables atmosféricas. Las pruebas iniciales indicaron que la comunicación entre los sensores y el microcontrolador es robusta y confiable, y que la presentación de estadísticas en la página web es funcional y amigable al usuario. Además, el sistema ha demostrado ser capaz de operar en entornos adversos, destacando su utilidad tanto para aplicaciones domésticas como para investigaciones ambientales aún más exigentes.

Palabras Clave: Meteorología, IOT, Raspberry, sensores, MicroPhyton.

Introducción

Las estaciones meteorológicas modernas son cruciales para aplicaciones como la investigación científica, la agricultura y la salud pública (Abbas et al., 2022). Sin embargo, las estaciones tradicionales pueden ser costosas y difíciles de mantener, especialmente en regiones remotas. El objetivo de este proyecto es desarrollar una estación meteorológica económica y eficiente utilizando el microcontrolador Raspberry Pi Pico W y programación en MicroPython para la captura y monitorización en directo.

La estación incluye sensores para medir temperatura, humedad, presión, velocidad y dirección del viento, índice UV y contaminantes. La integración de estos medidores en una plataforma moderna permite una monitorización rigurosa y continua, utilizando tecnologías de comunicación inalámbrica para facilitar la recolección de valores.

Este enfoque ofrece una solución accesible y ecológica, aprovechando materiales reciclados e impresión 3D para la estructura. Además, permite la futura implementación de redes

interconectadas de estaciones meteorológicas, mejorando la capacidad de alerta y la veracidad de los modelos climáticos.

Materiales y métodos

Inicialmente, se le realiza una prueba a cada sensor para corroborar su funcionamiento y asegurar medidas fiables mediante. Se utiliza una programación modular ya que simplifica la integración de los códigos de cada transductor y permite agregar el resto de las funcionalidades que debe realizar el microcontrolador.

Se emplea HTML para la estructura de la página web, CSS para los estilos y JavaScript para la funcionalidad de los medidores. Frameworks como chart.js se emplean para crear y mantener gráficos intuitivos y amigables con las mediciones realizadas. Simultáneamente, se fabrica la PCB en material FR-4 usando técnicas de transferencia térmica de tóner, permitiendo un diseño adecuado para el prototipado. Este proceso incluye conectores RJ-45 para interconexiones lógicas, zócalos para circuitos integrados y la capacidad de insertar módulos adicionales. Además, se elaboran modelos tridimensionales mediante impresión 3D para alojar los sensores y se reutilizan extrusiones de aluminio para la estructura de la estación, proporcionando alta robustez y contribuyendo a la reutilización de residuos.

Posteriormente, se realiza el cableado del tablero (Fig. 2 a) y de la pantalla OLED (Fig. 2 b). Por último, se lo acopla a la estructura en conjunto con los instrumentos de medición, el microcontrolador y una pantalla que muestra los datos actuales de manera *off-line* a través de un menú controlado por un encoder rotativo (Tabla 2).

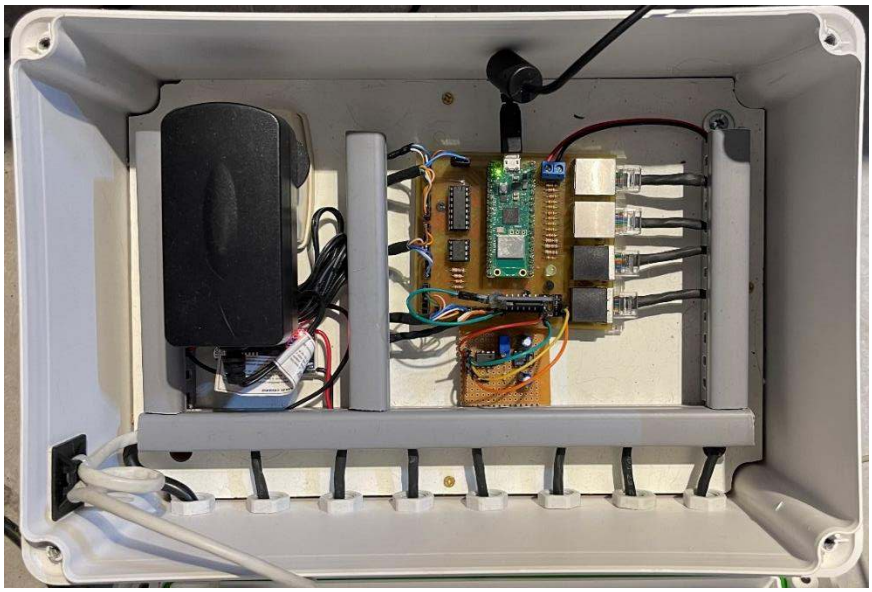


Fig. 2 a) Circuito eléctrico dentro de caja estanca. Fig. 2 b) pantalla informativa ubicada en el frente del tablero.

Tabla 2. Lista de componentes electrónicos utilizados en la estación de monitoreo

Componente	Descripción	Función	Especificaciones
Raspberry Pi Pico W	Microcontrolador de bajo costo con Wifi	Núcleo lógico del sistema	Wifi integrado, 2MB de Flash

Sensor de gas MQ135	Detecta contaminantes atmosféricos (CO2, NOx, etc.)	Monitoreo de calidad del aire	Sensibilidad ajustable
Sensor de presión BMP280	Mide presión atmosférica	Medición de presión atmosférica	Precisión: ±1 hPa
Sensor de humedad DHT22	Mide humedad relativa y temperatura	Medición de humedad y temperatura	Rango: 0-100% HR; -40~80 °C Precisión: ±2%
Sensor de polvo DSM501A	Detecta partículas en suspensión en el aire	Monitoreo de calidad del aire	Detecta partículas >1 µm
Sensor UV CJMCU	Detecta radiación ultravioleta	Medición de índice UV	Rango: 200-370 nm
Micrófono Max9814	Mide la contaminación acústica	Monitoreo de ruido	Ganancia ajustable, alta sensibilidad
Sensor Hall AH49E	Mide la fuerza del campo magnético	Detectar interrupciones mecánicas	Alta frecuencia de interrupción
Display OLED SSD1306	Pantalla informativa	Visualización de datos	Resolución: 128x64 píxeles
Encoder rotativo KY040	Mide el movimiento rotativo	Interfaz de usuario	Incremental, con pulsador
Lector de tarjeta microSD	Módulo de comunicación de interfaces	Almacenamiento de datos meteorológicos y página web.	Comunicación SPI

Interpretación y análisis del código

El algoritmo comienza importando las librerías necesarias para sensores, periféricos, comunicación y otras funciones esenciales, simplificando así la codificación. Paralelamente, se realiza la conexión a la red para ajustar la hora automáticamente con un servidor NTP. Con estos parámetros configurados, se implementa un menú interactivo en una pantalla OLED que muestra los valores medidos en tiempo real.

Después de crear las funciones para obtener y almacenar los valores de los transductores en la tarjeta SD, se inicia un temporizador que realiza el muestreo cada dos minutos. Este proceso no solo registra la información, sino que también actualiza una página web, almacenada parcialmente en la tarjeta de memoria y en un servidor a través de una API. La función que se repite en intervalos de tiempo iguales es la siguiente:

```
def sensado(timer):
    global temp, hum, valor_db, valor_uv, conParticulas, conGases, presion,
velocidad_viento_max,                                    velocidad_viento_actual,
lluvia_acumulada,dos_minutos,clima
    oled.fill_rect(0, 0, 128, 64, 0)

    # Se obtienen los valores instantáneos
```

```
    d.measure()
    temp = d.temperature()
    hum = d.humidity()
    valor_db = round(decibelimetro(), 1)
    valor_uv = lectura_uv()
    conParticulas = round(DSM501A(), 1)
    conGases = round(MQ135(), 1)
    presion = round((bmp.pressure / 100), 1)
    cambios_estado = medir_rpm(duracion_medicion_ms)
    velocidad_viento_actual = calcular_rpm(cambios_estado, duracion_medicion_ms)
    actuador.value(0)

    if conGases > 2000: actuador.value(1)# Gases peligrosos

    tiempo_actual = rtc.datetime()
    minuto = tiempo_actual[5]
    hora = tiempo_actual[4]


    with open("/sd/DatosH.csv","a") as file:  #se guardan los datos

file.write(f"{hora}:{minuto};{velocidad_viento_actual};{lluvia_acumulada};{punto
_cardinal};{temp};{hum};{conParticulas};{conGases};{presion};{valor_uv};{valor_d
b}\n")

    #Cada 30 datos se guarda un dato referido a 1 hora
    if dos_minutos % 30 == 0:
        calcular_promedios_acumulaciones("/sd/DatosH.csv","/sd/DatosHS.csv",30)
    if dos_minutos % (30*24) == 0:
        calcular_promedios_acumulaciones("/sd/DatosHS.csv","/sd/DatosD.csv",24)
    if dos_minutos % (30*24*31) == 0:
        calcular_promedios_acumulaciones("/sd/DatosD.csv","/sd/DatosM.csv",31)

    revisar_lluvia() #Personaliza el fondo de la página web

    if velocidad_viento_actual > 30:
        clima = "Ventoso"
    elif hora < 7 and hora >20:
        clima = "Despejado"
    elif hora >= 7 and hora <= 20 and valor_uv < 4:
        clima = "Nublado"
    else:
        clima = "Soleado"

    conParticulasEnvio = 0
    update_info()
    show_main_menu()
    oled.show()

tim2 = Timer()
tim2.init(period=120000, callback=sensado) #Temporizador
```

Finalmente, se encuentra un lazo cerrado en el cual se espera que un usuario ingrese a través de una dirección IP estática para actualizar los contenidos en la página web (Fig. 4) que efectúa la monitorización ambiental.

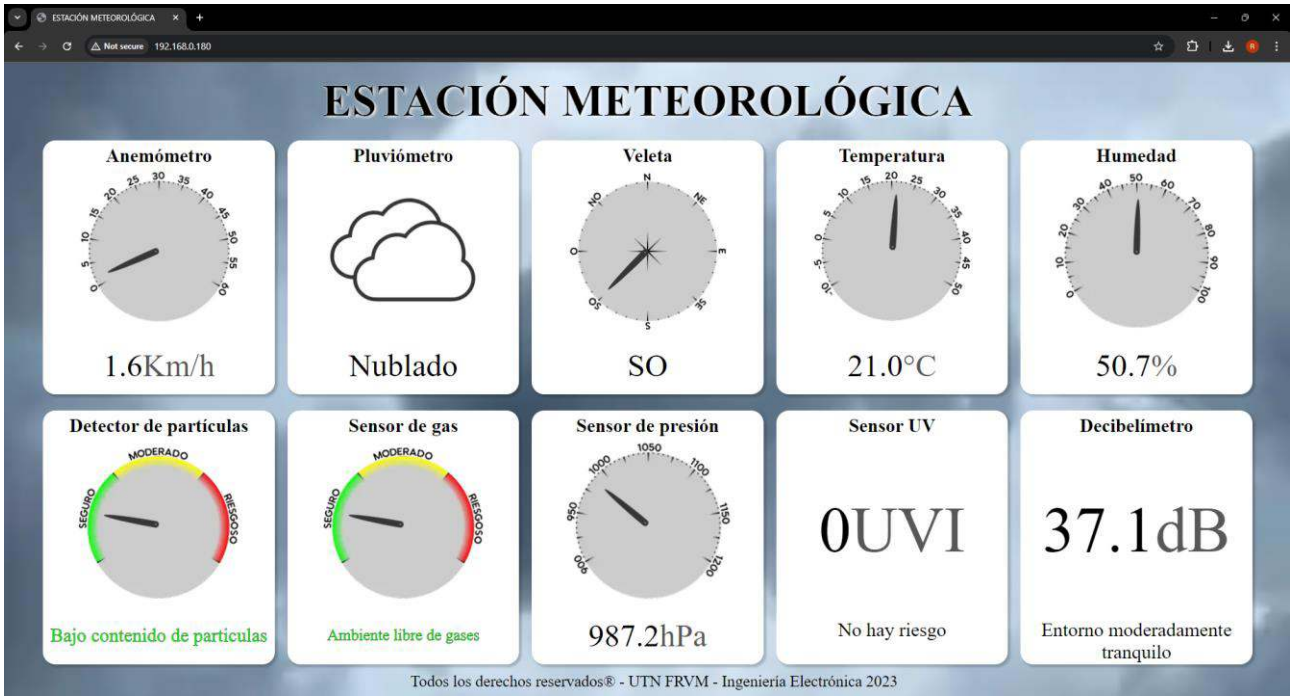


Fig. 4. Página web con parámetros en tiempo real.

Resultados y discusiones

El prototipo de la estación meteorológica se desempeñó bajo los parámetros esperados, proporcionando resultados precisos y consistentes sobre las condiciones atmosféricas locales. Durante las pruebas de campo, los sensores integrados demostraron una alta fiabilidad en la recolección de datos, trabajando de manera sinérgica y confiable. Esto valida tanto la elección de componentes como la eficacia del diseño del sistema, confirmando que el conjunto operativo mantiene un rendimiento consistente y efectivo.

En la fase preliminar, cada uno de los medidores electrónicos utilizados mostró un rendimiento notablemente estable. El sensor de temperatura y humedad DHT22, por ejemplo, registró variaciones con una exactitud que coincide con investigaciones previas (Ahmad, 2021). De igual manera, el sensor de presión atmosférica proporcionó cifras coherentes respecto a patrones de medición, esenciales para el análisis meteorológico.

El sensor MQ135, encargado de medir la concentración de gases contaminantes como el CO2 y los NOx, demostró ser particularmente eficaz al momento de detectar aumentos considerables de estos gases corroborando las calibraciones efectuadas por fabricantes (Carrillo-Amado, 2020) y ofreciendo lecturas detalladas que pueden ser utilizadas para evaluar la salud ambiental del área monitoreada. De igual forma, el sensor de calidad del aire DSM501A se utilizó para determinar la calidad de aire respondiendo acordemente a parámetros internacionales (Stanimirescu, 2020).

Durante las pruebas de fiabilidad del sistema, se detectaron fallas en un comparador debido a la falta de una fuente partida, solucionado mediante la adición de un circuito integrado que concede un potencial negativo al comparador de voltaje. La estación meteorológica operó sin interrupciones significativas durante dos meses, demostrando robustez y capacidad de funcionamiento continuo, cruciales para el monitoreo en tiempo real del clima. La arquitectura del sistema ofreció una plataforma estable y apta para la recopilación y transmisión de datos.

Este modelo experimental no fue probado en condiciones extremas como tormentas severas, temperaturas extremas o niveles elevados de humedad, lo que podría afectar el rendimiento de los

sensores y la integridad del sistema. Futuros trabajos incluirán pruebas en estas condiciones para asegurar la fiabilidad y resistencia en diversos entornos climáticos.

El sistema de monitoreo del clima desarrollado (Fig. 5) mostró una relación costo-beneficio favorable en comparación con estaciones meteorológicas comerciales. Este proyecto, más accesible y sin comprometer la precisión, es ideal para áreas rurales o proyectos educativos con recursos limitados.

Fig. 5. Prototipo final de la estación de monitoreo de variables atmosféricas a la izquierda y gráfico de temperatura en función del tiempo.

Conclusiones

La monitorización climática es fundamental para una variedad de aplicaciones que van desde la agricultura hasta la salud pública y la planificación urbana. La estación meteorológica desarrollada en este proyecto representa un avance significativo en el registro y análisis de datos climáticos. Al emplear materiales reciclados y sensores económicos, se logra una solución competente y accesible que permite la captura de variables instantáneas. Esta innovación no solo mejora la precisión de la monitorización, sino que también contribuye a la investigación científica y a la gestión ambiental, proporcionando indicadores valiosos para la elaboración de modelos climatológicos más eficaces con un bajo presupuesto. Así, el proyecto no solo refuerza nuestra capacidad para entender y enfrentar los desafíos climáticos actuales, sino que también sienta las bases para futuras innovaciones en la tecnología de monitorización meteorológica.

Referencias

Abbass, K., Qasim, M. Z., Song, H., Murshed, M., Mahmood, H., & Younis, I. (2022). A review of the global climate change impacts, adaptation, and sustainable mitigation measures. Environmental Science and Pollution Research, 29(28), 42539-42559.

Ahmad, Y. A., Gunawan, T. S., Mansor, H., Hamida, B. A., Hishamudin, A. F., & Arifin, F. (2021, June). On the evaluation of DHT22 temperature sensor for IoT application. In 2021 8th international conference on computer and communication engineering (ICCCE) (pp. 131-134). IEEE

Stanimirescu, A., Radu, S. M., & Soica, F. F. (2020). Measurements made using dsm501a sensors versus measurements made by national air quality monitoring network. Annals of the University of Petrosani Mechanical Engineering, 22, 49-54.

Amado, Y. R. C., Urquiza, M. A. C., & Valencia, J. A. R. (2020). Calibración y estandarización de mediciones de calidad del aire usando sensores MQ. Respuestas, 25(1), 8.

CONTROL DE TEMPERATURA EN REACTOR MEDIANTE LA REGULACION DEL CAUDAL DE VAPOR EN SERPENTINA UTILIZANDO PID EN CASCADA

Ramiro Manicardi, Andrés N. Alaniz, Julián Forneris, Catalano José, Doffo Augusto
Departamento de electrónica, Facultad Regional de Villa María, Universidad Tecnológica Nacional, 5900
ramiromanicardi123@gmail.com

Resumen

Como punto de partida del desarrollo tecnológico en cuestión, se analizaron los inconvenientes que suelen ser un factor común dentro de industrias que emplean la automatización con PID. Existen casos en donde, a pesar de que todas las variables que alteran el proceso están bajo una mesura constante, el sistema no provee un desempeño satisfactorio o no responde correctamente ante excitaciones disruptivas.

A grandes rasgos, la técnica que se va a desarrollar tiene como meta realizar un ajuste topológico del sistema de control, enfocándose en la aplicación de PID en cascada, para disminuir dificultades al momento de mantener la variable del proceso dentro de ciertos límites específicos, como así también, ser capaz de sobrellevar perturbaciones que sufre el sistema.

Primeramente, para implementar este control, se simula el PID único en el cual se precisa una mayor certidumbre, se introducirá una perturbación y se analiza cómo afecta la respuesta. Posteriormente, se simula la magnitud que mayormente se ve afectada por las perturbaciones para luego, sobre esta variable, implementar un control PID secundario de mayor velocidad y estabilidad posible. Seguidamente, se procede a diseñar un controlador primario PID para la variable de proceso que a su entrada estará conectado el secundario. Finalmente, se sintonizan los parámetros del controlador primario y secundario para minimizar los efectos de las fluctuaciones indeseadas.

Para concluir con el análisis, se dispondrán en simulación las respuestas del PID único y en cascada simultáneamente para cuantizar la mejora en estabilidad y la rapidez de la respuesta.

En el presente trabajo se estudia el caso para implementar un controlador PID en cascada para un control de temperatura en un reactor mediante la regulación de caudal de vapor en una serpentina. Esta configuración permitirá regular el valor de temperatura deseado, no solo a partir del sensor correspondiente a esta variable sino también del control de flujo de vapor que haya en la serpentina, de esta forma el control podrá actuar en base a perturbaciones ligadas a problemas que puedan surgir en la válvula de control.

Controlador PID único

El análisis de la planta comienza cuando se aplica un control PID único tal como se ve en la figura 2. A este sistema se le aplica una temperatura de 150 ℃ como setpoint. Tal como está armado el diagrama en bloques, se estaría tomando únicamente la señal de temperatura del reactor y, con este dato, el PID ajusta el control de la válvula de la serpentina. El actuador está limitado a 20 kg/m^3, por lo tanto, en la sintonización se deberá tener en cuenta que el controlador PID no opere en rangos por encima de este.

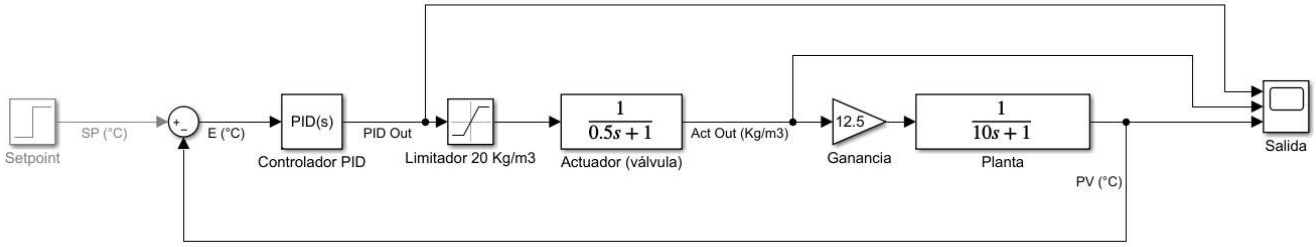


Fig. 2: Control PID aplicado a la planta.

Para sintonizar el PID se utiliza la opción de autotune proporcionado por el software Simulink, en este se podrán ajustar los parámetros como la respuesta temporal y el comportamiento transitorio. En la figura 3, se muestra el menú de autotune con las gráficas antes y después del proceso de sintonización, tanto para la salida del sistema como para el Controller effort.

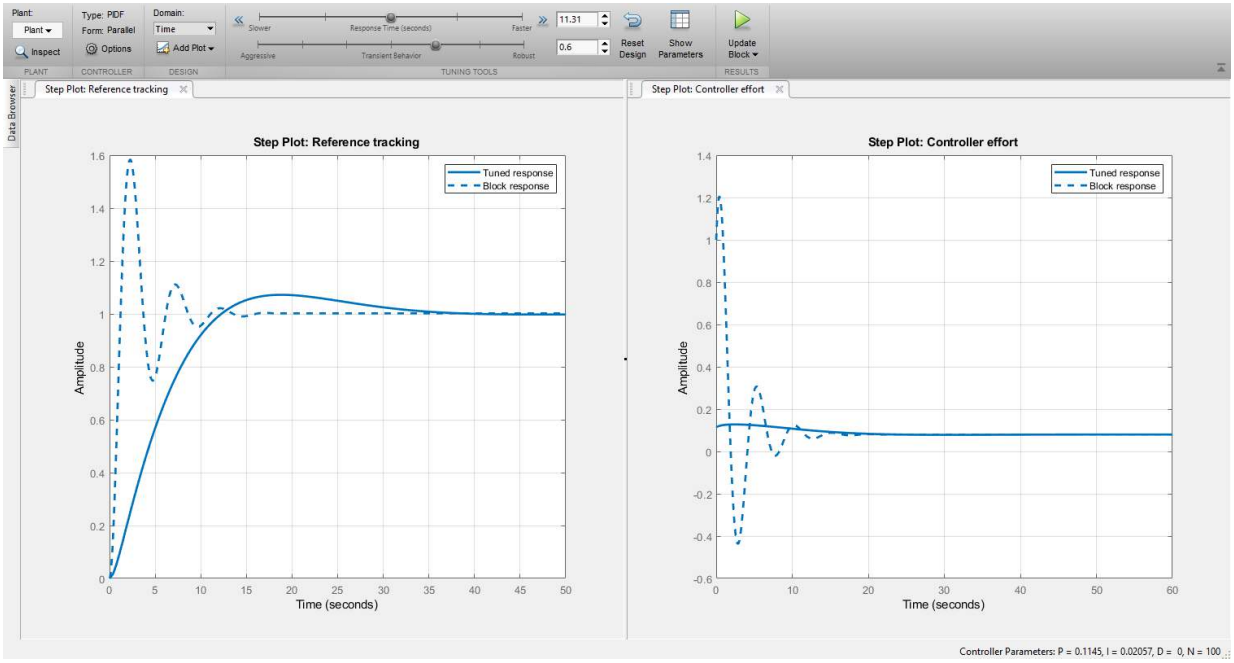


Fig. 3: Autotune del control PID único.

En la parte inferior derecha se encuentran los valores PID que se aplicarán al bloque. Elevar la respuesta temporal incrementa los valores PI del sistema permitiendo una respuesta mucho más rápida. Aumentar el comportamiento transitorio permite atenuar los sobre picos del sistema, esto se logra subiendo el valor de la variable derivativa, el problema de excederse en este aumento puede causar una fuerte respuesta del sistema ante sobrepicos inesperados causados por perturbaciones, por lo que se recomienda ajustarlo a valores moderados.

La gráfica de “Controller effort” nos permite visualizar el comportamiento del controlador, se bajó la amplitud de este para que no exceda los límites del actuador, consecuentemente la respuesta temporal del sistema se hace más lenta.

En la figura 4 se muestra las gráficas temporales ya sintonizadas a la salida del controlador PID, la salida del actuador con su limitador y la salida PV (variable de proceso) de la planta.

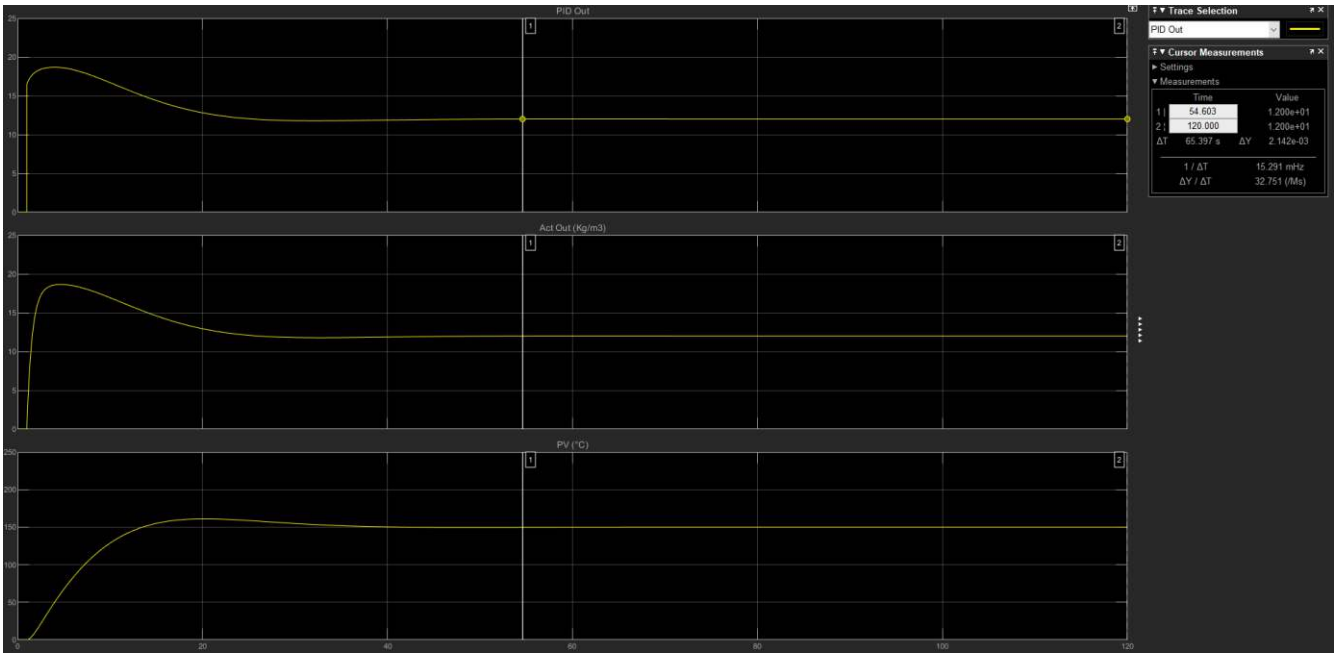


Fig. 4: Respuesta temporal a la salida del controlador PID, del limitador del actuador y la planta.

Se analiza el mismo sistema, pero ahora se le agrega una perturbación a los 50 segundos que produce una bajada de 5 kg/m^3 en el caudal de la válvula. En la Figura 5, se presenta el diagrama de bloques, mientras que la Figura 6 muestra la respuesta temporal ante la perturbación y la variable de proceso (PV) utilizando la sintonización previamente realizada.

Tal como indican los cursores, el sistema tarda aproximadamente 28.73 segundos en corregir la perturbación y esta disminuye el valor de temperatura aproximadamente 131 ℃. Estos valores aún tienen posibilidades de mejorarse con el ajuste de los parámetros de tuneo previamente mencionados.

Aumentar la variable proporcional e integrativa hace que el sistema sea más rápido y con mayores sobrepicos, reduciendo de una mejor manera las perturbaciones inducidas. Incrementar la variable derivativa permite mitigar los picos transitorios, pero a la hora de producirse una alteración, es decir una pendiente pronunciada, hace que la parte derivativa tenga más incidencia en el controlador y aumente aún más el valor de la anomalía, es por lo que en la mayoría de los casos prácticos el control derivativo no se utiliza o se utiliza moderadamente en valores relativamente bajos.

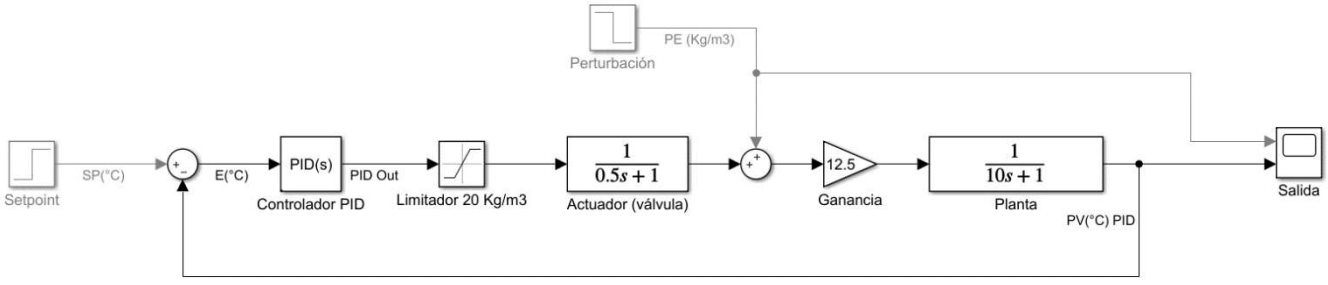


Fig. 5: Control PID aplicado a la planta con perturbación.

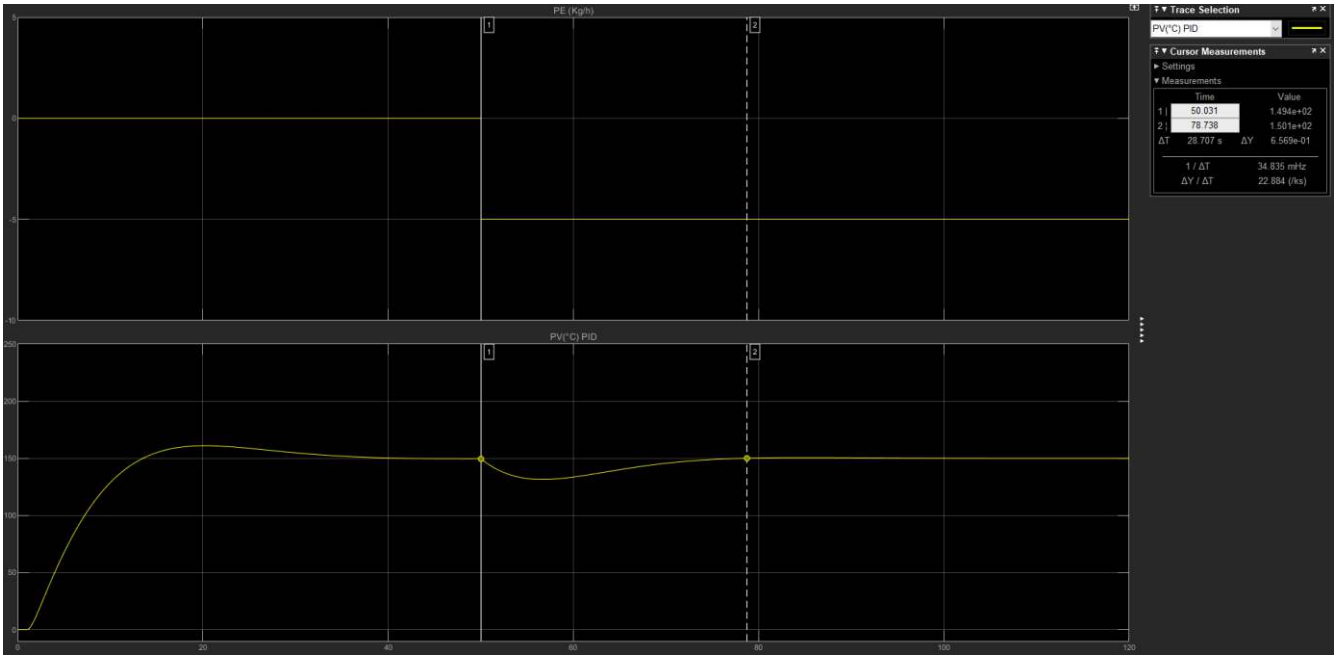


Fig. 4: Respuesta temporal de la perturbación aplicada al sistema y de la salida PV.

Controlador PID en cascada

En la figura 8a se muestra el diagrama del reactor si este solo fuera controlado por un PID que toma la señal de temperatura y, en base a ese dato, regula la válvula de salida de vapor. Este no es un diseño erróneo, pero el inconveniente que se presenta es el hecho de que no se está contemplando las posibles fallas que se puedan dar en el mecanismo de apertura y cierre de la válvula. Además, problemas derivados de la fuente de vapor pueden afectar directamente al caudal que se dirige hacia la serpentina. Es por lo que en la figura 8b se muestra el rediseño del sistema de control a partir de dos controladores que se suman para actuar sobre la válvula, uno se encarga de actuar en base a la temperatura sensada y otro en base al caudal entrante a la serpentina.

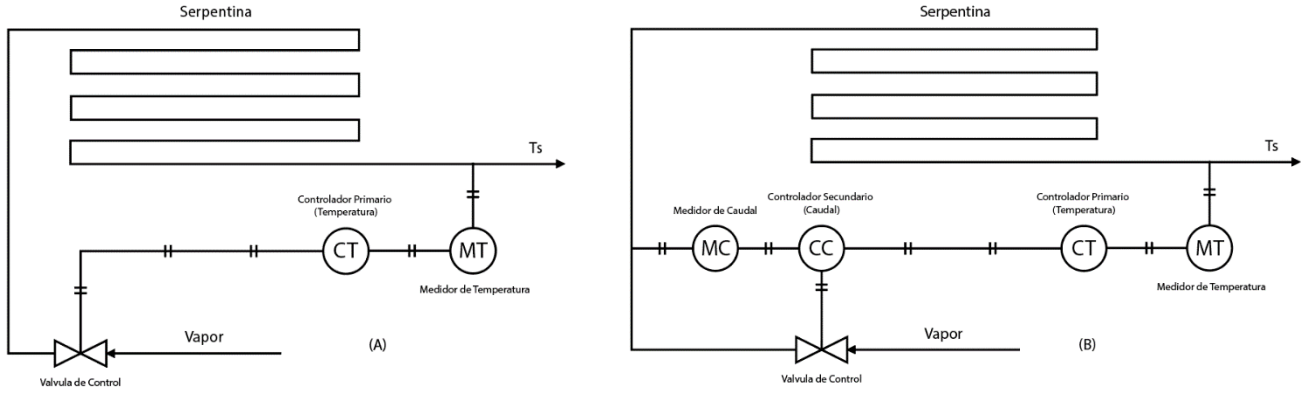


Fig. 8: a) Controlador teniendo en cuenta solo la temperatura de la serpentina. b) Controlador teniendo en cuenta la temperatura de la serpentina y el caudal de vapor que entra por ella.

En la figura 9 se muestra el diagrama en bloques del sistema con el controlador PID en cascada.

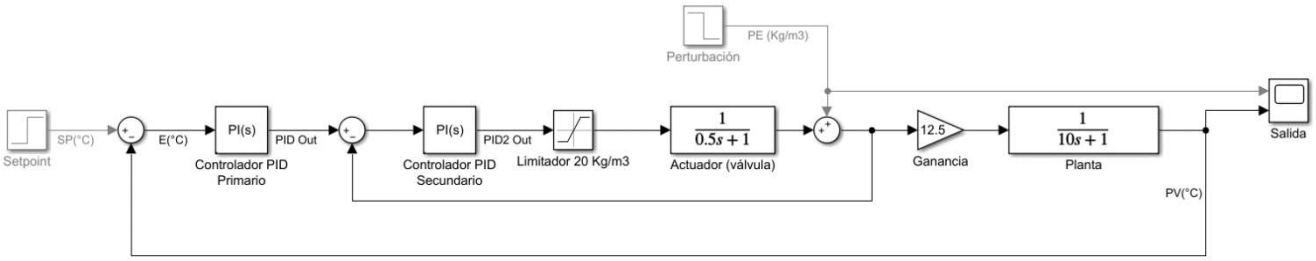


Fig. 9: Diagrama en bloques PID en cascada.

Se realiza un autotune a los bloques PID, en donde en el control primario predomina el término proporcional y en el controlador secundario el control integral, cabe aclarar que se anula el término derivativo debido a sus usos limitados en casos prácticos. En la figura 10, se comparan las salidas del sistema con y sin control PID en cascada.

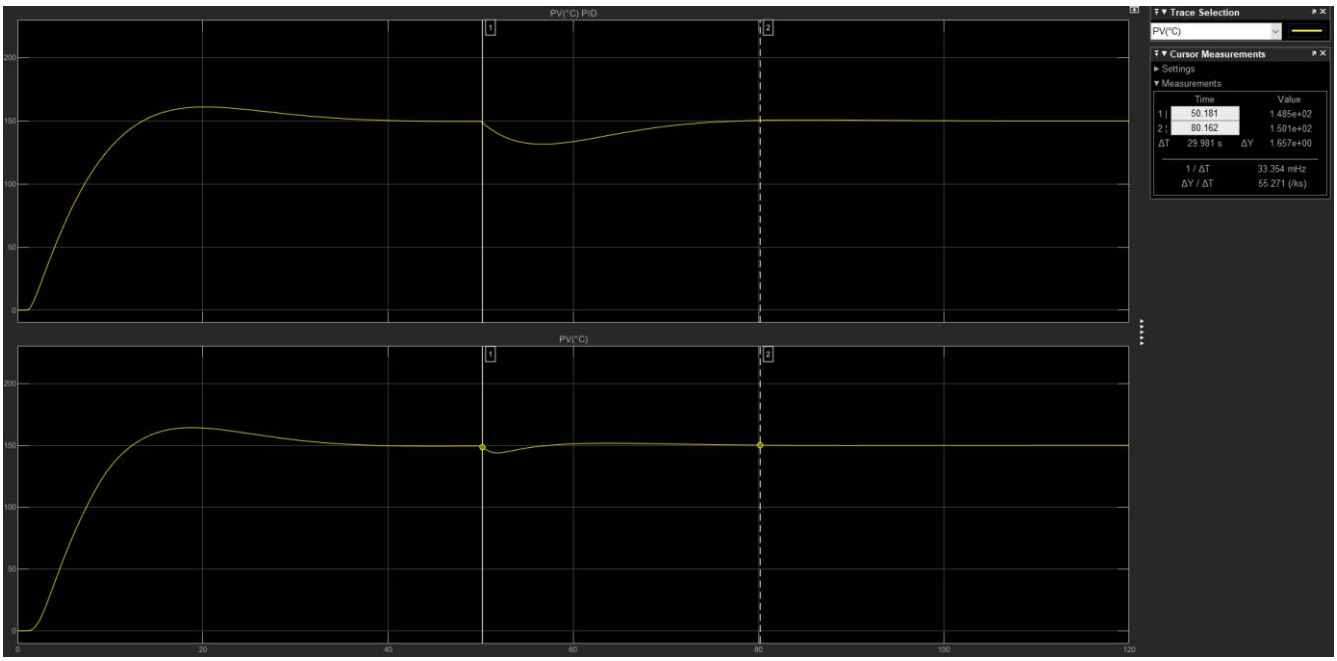


Fig. 10: Respuesta temporal de los sistemas con y sin control PID en cascada.

En términos de arranque transitorio las curvas son aproximadamente iguales, pero al momento de sufrir una perturbación en el sistema con control PID en cascada, se tiene una respuesta mejorada. Como se ve en la figura 10, se introduce una perturbación a los 50 segundos que produce una bajada de 5 kg/m^3 en el caudal de la válvula, mientras que en el control PID único produce una bajada de 131 ℃ y el sistema tarda 28.73 segundos en corregirlo, en el control PID en cascada la temperatura baja a 148 ℃ y tarda 8.1 segundos la restitución.

Normalización del sistema

Normalizar un control PID facilita que el controlador sea ajustable a diferentes sistemas sin la necesidad de rediseñar el circuito nuevamente y así compararlo con otros sistemas, permitiendo así ser independiente de la unidad de ingeniería con la que se está trabajando. En la figura 11 se muestra el diagrama en bloques del controlador PID en cascada normalizado. El subsistema 1 y 2 se encargan de normalizar las unidades de ingeniería en rangos de 0 a 100, mientras que el subsistema 3 se encarga de desnormalizar para regresar a los valores y unidades originales. En la figura 12 se muestra la salida de la planta y la salida normalizada correspondiente.

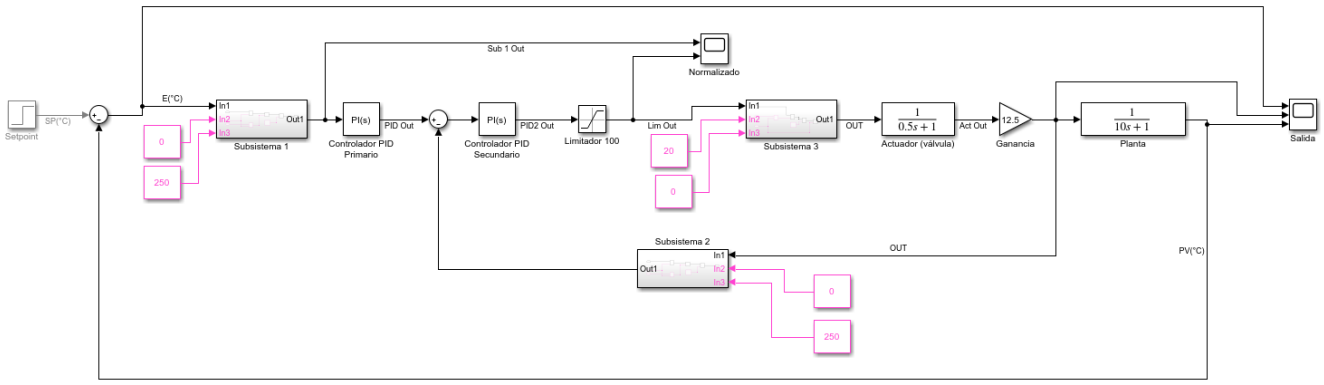


Fig. 11: Control PI en cascada Normalizado.

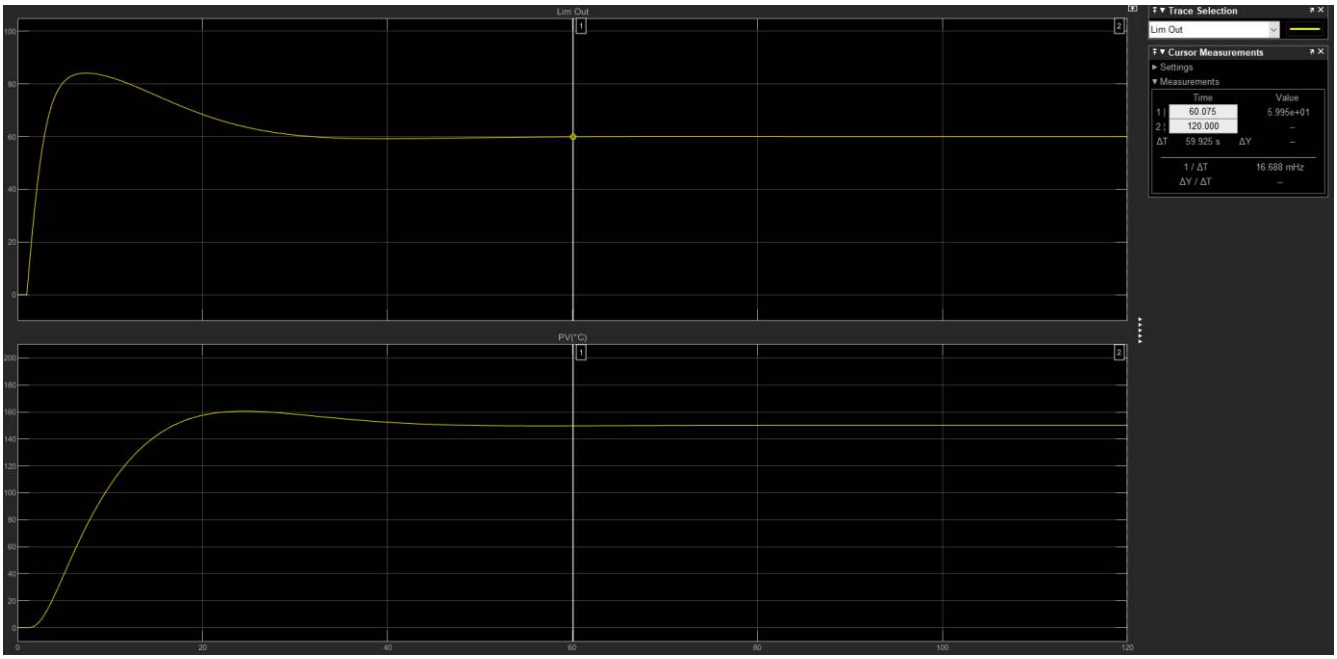


Fig. 12: Respuesta temporal del PID en unidades de ingeniería y unidades normalizadas.

Conclusiones

El uso de un controlador PID en cascada no solo permite mejoras en las respuestas de control de nuestro sistema, sino que también nos ayuda a anticiparnos a posibles errores o perturbaciones indeseadas en las estaciones de trabajo. Estas perturbaciones pueden ser causadas por fallos en los mecanismos o por problemas en otras áreas de trabajo que afecten directamente el proceso en el cual se está trabajando. Además, la herramienta Simulink es de gran ayuda para tener un primer vistazo del comportamiento de la planta cuando se le inserta uno o varios controladores, permitiendo sintonizar de acuerdo a las preferencias del usuario y simular posibles perturbaciones que se puedan originar en la planta.

Bibliográfica

- Control Automático de Procesos: Teoría y Práctica – Smith, Corripio

SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA APLICADO A CENSO FORESTAL: RELEVAMIENTO DEL ARBOLADO URBANO EN ZONA FUNDACIONAL DE LA CIUDAD DE SAN RAFAEL (MENDOZA)

Agustina G. Sanchez, Florencia A. Fernandez, Izaak S. Borkert, Cecilia J. Soengas, M. Luisina Biondi

Grupo de Estudios sobre Desarrollo Territorial, Facultad Regional San Rafael, Universidad Tecnológica Nacional, Av. Urquiza N° 314, San Rafael, Mendoza
lbiondi@frsr.utn.edu.ar

Resumen

El presente trabajo se enmarca dentro de un proyecto de investigación y desarrollo que se propone elaborar un plan estratégico de gestión del arbolado urbano de la ciudad de San Rafael, como parte del plan municipal de ordenamiento territorial del departamento respectivo, para contribuir al desarrollo sostenible del territorio. La metodología propuesta responde a los enfoques de la planificación territorial y la evaluación ambiental estratégica, dentro del paradigma de un modelo sostenible de desarrollo. En esta primera etapa se ha trabajado en el diagnóstico evolutivo del arbolado urbano como subsistema territorial, a partir de: información de referencia, selección de variables estratégicas, diseño de instrumentos de relevamiento, construcción de sistema de información geográfica y aplicación del barrido territorial. Al momento se ha estudiado el arbolado de alineación de la zona fundacional de la ciudad de San Rafael, con un total de 1369 ejemplares relevados. Los datos recolectados se volcaron en un sistema de información geográfica, a partir del cual se efectuó un análisis integral. Se presentan como primeros resultados: estadísticas relacionadas con las variables censadas (localización, especie, diámetro del fuste, altura, inclinación, frondosidad, plagas, implantación, riego), correlación entre variables e indicadores de estado general y de riesgo. A los avances obtenidos deberá sumarse el relevamiento en otros sitios muestrales en la ciudad de San Rafael, para elaborar un diagnóstico integral del arbolado urbano del área de estudio. A partir del diagnóstico, se trabajará en la construcción de escenarios prospectivos y en la propuesta de estrategias de planificación y gestión sectorial. Todas las etapas del proyecto se llevan adelante a través de procesos de democracia participativa e intervención socio-territorial.

Palabras Clave: Arbolado Urbano, Sistemas de Información Geográfica, Planificación Estratégica, Desarrollo Territorial, Censo Forestal.

Introducción

Conceptualmente, la infraestructura verde urbana está conformada por el arbolado público, las plazas, los parques y los espacios verdes en general, que en conjunto constituyen una red interconectada dentro de las ciudades, que conserva funciones y valores de los ecosistemas naturales (Vásquez, 2016). La existencia del arbolado urbano es el resultado de la plantación de especies forestales a lo largo de canales, calles, avenidas y espacios verdes en distintos períodos históricos, “una forma de vegetación claramente antropogénica, que debe su sobrevivencia, forma, estructura y estado de salud, a una compleja mezcla de factores socio-culturales y ambientales” (Rodríguez Bormioli et al, 2017).

La presencia de forestales en áreas urbanas responde a necesidades relacionadas con características climáticas, socioculturales y económicas. Entre sus múltiples beneficios se pueden mencionar: la disminución de la intensidad de las islas de calor, la absorción de gases de efecto invernadero, la reducción de la contaminación del aire, la producción de oxígeno, la proporción de sombra, la regulación de la humedad ambiental, la disminución de ruidos, la atenuación de vientos, la colaboración en la gestión del agua pluvial, la reducción de la erosión de los suelos, el aumento de la biodiversidad y el aporte de atractivo paisajístico al espacio urbano (Unión Europea, 2014). Sin embargo, el estado inadecuado del arbolado urbano puede ocasionar problemáticas asociadas

al riesgo de caída de los ejemplares, como: interferencias con otros servicios públicos, afectación a propiedades y pérdida de vidas humanas. De todo esto se desprende que la planificación ambiental asociada a la infraestructura verde urbana es un aspecto relevante del desarrollo territorial, con influencia en la sustentabilidad de las ciudades (Martinez et al, 2014).

En la provincia de Mendoza (Argentina), la presencia masiva de árboles en los núcleos urbanos ha hecho de una región desértica natural, un lugar apto para el desarrollo de la vida humana (Martinez, 2019). Esta intensa arborización, les confiere a los núcleos urbanos de Mendoza un carácter único en la región y en el mundo y, junto con la red de riego, es el recurso natural que sustenta el modelo urbanístico desarrollado (Castellanos, 2018). Sin embargo, en la actualidad, el arbolado público de la provincia de Mendoza se encuentra en franco deterioro (Consejo Provincial de Defensa del Arbolado Público, 2017), situación a la que no es ajena la ciudad de San Rafael, cuya infraestructura verde urbana ha comenzado a experimentar problemas que atentan contra los servicios ambientales que esta presta: los árboles que han sido plantados en el pasado están desapareciendo rápidamente, otros han sido derribados por eventos climáticos extremos, a lo que se suma el crecimiento urbano que avanza sobre zonas forestadas (Rodríguez Bormioli et al, 2017). Ante este escenario, surge la necesidad de efectuar una planificación estratégica sectorial, específica para el arbolado urbano, que contribuya al ordenamiento territorial y al desarrollo sostenible de la ciudad de San Rafael.

La importancia de la temática y su vinculación con las políticas públicas de la región en sus distintas escalas (nacional, provincial y departamental) convierten a la iniciativa en un proyecto interinstitucional entre el Grupo de Estudios sobre Desarrollo Territorial de la UTN-FRSR, la Municipalidad de San Rafael y el Consejo Departamental de Defensa del Arbolado Público. Se plantea el desarrollo del plan estratégico de arbolado urbano en la ciudad de San Rafael como un plan de ordenamiento territorial sectorial, que metodológicamente responde a los enfoques de la planificación territorial y la evaluación ambiental estratégica (Gómez Orea y Gómez Villarino, 2020), dentro del paradigma de un modelo sostenible de desarrollo. En el presente trabajo se muestran los avances obtenidos durante la primera fase del proyecto, correspondiente al diagnóstico evolutivo del arbolado urbano como subsistema territorial.

Materiales y métodos

En esta primera etapa se ha trabajado en la elaboración de un diagnóstico integral del arbolado urbano, que incluye el análisis de antecedentes y el desarrollo de un relevamiento forestal de sitios muestrales del área de estudio, enfocado en el arbolado de alineación. Se describe a continuación la metodología empleada para: la selección de variables estratégicas, el diseño de instrumentos de relevamiento, la construcción del sistema de información geográfica y la aplicación del barrido territorial.

La selección de variables estratégicas se llevó adelante a partir de talleres participativos, coordinados por las instituciones ejecutoras del proyecto y con la presencia de actores clave: agentes gubernamentales (representantes del Concejo Deliberante del departamento, de la Dirección de Ordenamiento Territorial y de la Dirección de Espacios Verdes del municipio, y de la Dirección de Recursos Naturales Renovables de la provincia de Mendoza), instituciones científico-tecnológicas (representantes de la Universidad Tecnológica Nacional, de la Universidad Nacional de Cuyo, de la Universidad de Mendoza, del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas – CONICET, del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria – INTA y del Instituto de Educación Superior 9-011 – IES del Atuel), consejos profesionales del medio (representantes del Consejo Profesional de Ingenieros y Geólogos de Mendoza – Delegación San Rafael y del Colegio de Arquitectos de Mendoza – Regional Sur), sumados a expertos y vecinos invitados. Como resultado del trabajo participativo y transdisciplinario se obtuvo: la ficha de variables a observar en la etapa de relevamiento (Tabla 1), una guía de identificación de las especies arbóreas más frecuentes en el área de estudio y lineamientos generales para desarrollar el trabajo de campo.

N°	Variables	Categorías de Valor				
1	Localización	latitud		longitud		altitud
2	Especie	(lista desplegable con las 15 especies más usuales)				
3	Altura	menor a 3 m		entre 3 m y 5 m		mayor a 5 m
4	Diámetro del fuste	< 30 cm	30 a 50 cm	50 a 65 cm	65 a 80 cm	> 80 cm
5	Inclinación del fuste	sin inclinación		inclinación media		inclinación alta
6	Estado del follaje	bueno		regular		malo
7	Presencia de plagas	insectos/ácaros		hongos/parásitos		no evidencia
8	Estado de raíces	expuestas				no expuestas
9	Nicho	reglamentario		no reglamentario		libre
9	Acequia	revestida		no revestida		no posee
10	Observaciones	(campo de texto abierto)				
11	Foto del ejemplar	(campo para subir archivo desde cámara o galería del dispositivo)				

Tabla 1. Variables seleccionadas para el relevamiento del arbolado urbano y categorías de valor asignadas

Para el diseño del instrumento de relevamiento se exploró el uso de varios programas y aplicaciones informáticas. La premisa fundamental fue utilizar un instrumento que pudiera implementarse a partir de un *smart phone* o *tablet* y que permitiera la georreferenciación de cada punto de relevamiento. A partir de pruebas piloto realizadas por el equipo de trabajo con diferentes aplicaciones, se decidió utilizar la herramienta “KoboToolbox”, una plataforma de recopilación, gestión y visualización de datos creada por una organización no gubernamental de alcance mundial. La selección de esta herramienta se fundó en las siguientes características: es de uso gratuito para organizaciones sin fines de lucro; es compatible con Android y cualquier navegador web; permite la recopilación de datos en línea y fuera de línea (sin conexión a internet); la información es almacenada en una nube, sin necesidad de contar con un servidor propio; los datos pueden descargarse en formato XLS, CSV, KML, ZIP o GeoJSON; tiene una interfaz de usuario intuitiva y disponible en idioma español; cuenta con mapas de visualización de los datos levantados y herramientas de análisis integradas. Con el usuario principal de la herramienta, se desarrolló el formulario web con base en la ficha de relevamiento consensuada. Luego, a partir de un enlace compartido, se le dio acceso a los participantes que desarrollan el barrido territorial, para cargar respuestas en el formulario.

La construcción del sistema de información geográfica se desarrolló a partir del software libre y de código abierto “QGIS”, compatible con el instrumento de relevamiento utilizado. De esta manera se constituyó la principal herramienta para el análisis e interpretación de los datos recopilados, con la que se realizan estadísticas, relaciones e indicadores incorporando la dimensión espacial en el proceso. Además, sirve como herramienta de planificación y gestión pública, una base de datos fácilmente actualizable para la toma de decisiones.

Previo a la ejecución del barrido territorial (relevamiento propiamente dicho), se tuvieron en cuenta dos aspectos: en primer lugar, la capacitación del personal afectado a la actividad, unificando conceptos y criterios; en segundo lugar, la definición de los sitios que se tomarán como muestra para el diagnóstico integral. La ciudad de San Rafael cuenta con un arbolado de alineación de aproximadamente 300.000 ejemplares. Las especies implantadas y el estado general responde a patrones históricos y culturales de forestación y cuidado del arbolado. Por esta razón, se decide seleccionar sitios de relevamiento representativos de las características de la infraestructura verde de diferentes épocas en el avance de la urbanización, entendiéndose que la misma se desarrolló desde el centro (casco fundacional), hacia la periferia (interfaz urbano-rural actual). Se eligieron zonas a muestrear con el siguiente criterio: área forestada entre los años 1920 y 1940 (zona fundacional y casco céntrico); área forestada entre los años 1940 y 1960 (expansión de zona urbana con dirección radial respecto al casco céntrico y desarrollo de importantes barrios históricos); área

forestada entre los años 1970 y 2000 (expansión urbana con dirección sur y oeste); área forestada a partir del año 2000 (expansión urbana con dirección norte y este).

La villa cabecera del departamento de San Rafael fue dispuesta en su actual localización en el año 1903, y fue declarada ciudad en octubre de 1922 (Dirección General de Escuelas, 2024). La zona fundacional tiene características urbanas propias de la fisonomía de la época colonial y la concepción europea: plaza principal central, rodeada por la catedral de la ciudad, el municipio y las principales entidades del pueblo (bancos y puntos de encuentro); desde allí se expande el radio céntrico, con una morfología urbana de “manzanas” delimitadas por calles ortogonales (“damero”) espaciadas aproximadamente cada 100 m. La zona fundacional fue reforestada en el año 1929: previamente, la especie predominante como arbolado urbano era la planta de mora que, con sus frutos y posterior descomposición, ocasionaba contaminación del área pública y alta presencia de insectos; por esta razón, el intendente de la época decide erradicar todos los ejemplares e implantar el arbolado que persiste en la actualidad.

El barrido territorial desarrollado comprende la totalidad de la zona fundacional, que abarca 25 manzanas y está comprendida entre las calles: Av. Rivadavia (límite Norte), Av. San Martín (límite Este), Av. Yrigoyen (límite Sur) y Av. Moreno (límite Oeste). El relevamiento se realizó en equipos de dos personas, cada uno de los cuales tenía asignadas una serie de alineaciones correspondientes a las calles incluidas en el área. Todas las alineaciones se recorrieron de Norte a Sur y de Oeste a Este, según el caso. La estandarización del método permitió la corrección de errores y revisiones necesarias. En total se relevaron 100 cuadras donde se localizaron 1369 ejemplares.

Resultados y discusiones

Dentro del área delimitada se relevaron 1369 ejemplares, de los cuales 77 se corresponden con tocones (sección de tronco que queda en el suelo unida a la raíz cuando se tala el árbol cercano a su base) o nichos vacíos (se ha talado el árbol y retirado el tocón). De esto resulta que existen actualmente 1292 árboles en la zona fundacional de la ciudad, con una media de 13 árboles por cuadra (promedio por alineación, a cada lado de la calle).

La especie fuertemente predominante es el plátano (*platanus hispanica*) totalizando el 70 % de los ejemplares relevados, seguida de la morera (*morus alba* y *morus nigra*) en su versión híbrida en un 7 % y la acacia visco (*parasenegalia visco*) en un 6 % (Figura 2). Un 92 % de los ejemplares relevados pertenecen a especies permitidas por la legislación vigente (HCD San Rafael, 2020): acacias, fresnos, moreras híbridas, plátanos, paraísos, ciruelo rojo y acer negundo. Entre las especies implantadas no permitidas se encontraron principalmente palmeras y frutales.

El 69 % de los árboles relevados cuenta con una altura superior 5 m y un diámetro del fuste mayor a 30 cm, dimensiones representativas de las especies predominantes para edades que rondan los 100 años. El 35 % de los ejemplares presenta inclinación del fuste media a alta; se infiere de las observaciones de los censistas que en la mayoría de los casos se relaciona con podas y desrames mal realizados (desequilibrios en la copa de los árboles hacia el eje de calle o hacia la línea de edificación). Un porcentaje similar, el 34 % tiene raíces expuestas sobre la vereda o en las acequias.

Más de la mitad de los ejemplares se encuentran en buen estado general (vitalidad y frondosidad de ramas y follaje), una proporción importante posee varias ramas secas o dañadas (estado general regular) y otros, en menor porcentaje, deberían ser reemplazados debido a su estado general malo (Figura 3).

El 25 % de los árboles relevados muestra presencia de plagas, entre las que se hallan: insectos (principalmente hormigas), ácaros, hongos y plantas parásitas.
El 18 % de los ejemplares está implantado en nichos (superficie libre) que no cumplen las disposiciones reglamentarias (HCD San Rafael, 2020)): 1 m^2 de superficie, lado mínimo de 0,8 m y lateral abierto hacia la acequia para el ingreso de agua de riego. A su vez, el 61 % del arbolado en

la zona fundacional es abastecido de agua de riego a través de acequias revestidas, contando el 39 % restante con acequias de suelo natural.

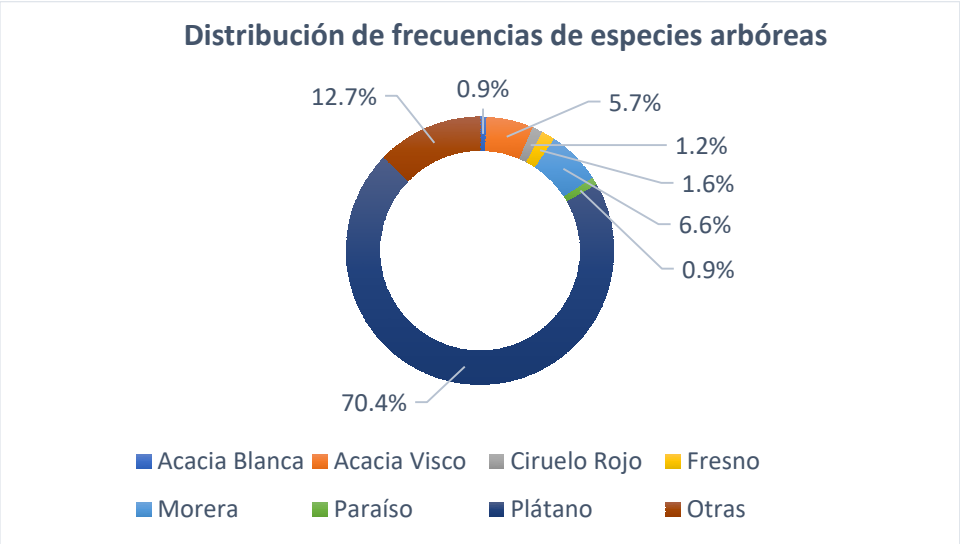


Figura 2. Distribución porcentual de frecuencias de las especies arbóreas relevadas en la zona fundacional de la ciudad de San Rafael.

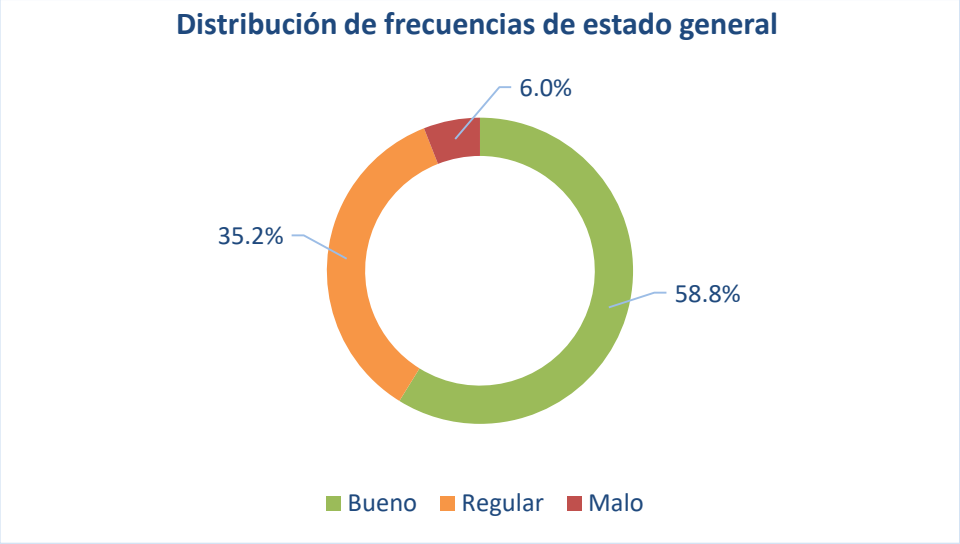


Figura 3. Distribución porcentual de frecuencias del estado general de los ejemplares relevados.

En un primer análisis, se observan relaciones entre las siguientes variables relevadas:

- Especie – Estado general del ejemplar
- Especie – Presencia de plagas
- Condiciones del nicho de implantación – Tamaño del ejemplar
- Dirección de la alineación (Norte-Sur o Este-Oeste) – inclinación del ejemplar

Actualmente se está trabajando en la verificación probabilística de la existencia de correlación entre estos datos, como así también en la construcción de indicadores relativos a cada ejemplar y al conjunto del arbolado urbano (biodiversidad, conectividad, percepción espacial, dotación).

Conclusiones

El relevamiento del arbolado de alineación de la zona fundacional de la ciudad de San Rafael muestra un patrón de forestación con el plátano como especie predominante, situación que se extiende al casco céntrico. Del análisis de los datos se desprende la prevalencia de ejemplares de gran magnitud y estado general aceptable, aunque en muchos casos con deficiencias en el mantenimiento y cuidado: poda y desrames perjudiciales, recambio de ejemplares por especies no permitidas, tala no autorizada por organismos de control y afectación de la infraestructura de plantación. Se están estudiando posibles correlaciones entre variables relevadas y se trabaja en la construcción de indicadores de sustentabilidad.

Luego de efectuar un relevamiento similar en los restantes sitios seleccionados, se podrá realizar análisis y comparaciones, incorporándose variables de estudio como: la frecuencia de riego, la calidad del mantenimiento en las diversas áreas y las especies que mejor se adaptan al medio local. Los datos serán integrados a partir del sistema de información geográfica, como base para construcción del diagnóstico evolutivo del arbolado urbano de San Rafael, dando cierre a la primera fase del proyecto.

Se espera elaborar un producto tecnológico con originalidad local, a través de la concreción de un plan estratégico de desarrollo sostenible del arbolado urbano de la ciudad de San Rafael, al momento inexistente, a partir de la necesidad explícita del organismo demandante (Municipalidad de San Rafael) y de su compatibilidad y coherencia con las políticas públicas vigentes a escala nacional, provincial y municipal.

Referencias

Castellanos, P. *Sistema integrado de información y gestión para la refuncionalización y recuperación del arbolado urbano en el área Metropolitana de Mendoza.* Secretaría de Ambiente y Ordenamiento Territorial del Gobierno de Mendoza (2018).

Consejo Provincial de Defensa del Arbolado Público. *Informe del Consejo Provincial de Defensa del Arbolado Público para la Legislatura de Mendoza* (2017).

Dirección General de Escuelas del Gobierno de Mendoza. *Historia de San Rafael*. Recuperado de https://www.mendoza.edu.ar/dia-del-departamento-de-san-rafael/ (2024).

Gómez Orea, D. y Gómez Villarino, A. *Marco Conceptual del Ordenamiento Territorial.* Clase 10 IX Posgrado de Evaluación Ambiental Estratégica y Ordenamiento Territorial. FundaBaires (2020).

Honorable Concejo Deliberante de San Rafael. *Ordenanza Municipal N° 9.814*. Recuperado de http://181.209.105.86:8080/invitadoDigesto/Queries/Documents (2010).

Martinez, C. F. *Gestión y monitoreo del bosque urbano en ciudades de zonas áridas. Caso de Mendoza - Argentina*. 2º Foro Latinoamericano y del Caribe sobre Bosques Urbanos, Silvicultura Urbana, arboricultura y áreas verdes, FAO (2019).

Martinez, C. F. et al. *Incidencia del déficit hídrico en el crecimiento de árboles de uso urbano en ciudades de zonas áridas*. Interciencia 39(12), 890–897 (2014).

Rodríguez Bormioli, N. et al. *Generación de cartografía temática del arbolado urbano mediante el uso de SIG*. Cardinalis 3(5), 117–142 (2017).

Unión Europea. *Construir una infraestructura verde para Europa*. ISBN: 978-92-79-39996-1. DOI: 10.2779/2738 (2014).

Vásquez, E. A. *Infraestructura verde, servicios ecosistémicos y sus aportes para enfrentar el cambio climático en ciudades*. Revista de Geografía Norte Grande 63, 63–86 (2016).

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO AL DESGASTE DEL ACERO AISI 420 NITRURADO Y NITROCARBURADO POR PLASMA

Nicolás Chaparro[1]
Tutora: Eugenia L. Dalibón[1]

[1]Grupo de Ingeniería de Superficies (GIS), Facultad Regional Concepción del Uruguay, Universidad Tecnológica Nacional, Ing. Pereyra 676 C.P. 3260.
Contacto: nicolas.alf.chaparro@gmail.com

Resumen

El acero inoxidable martensítico AISI 420 es usado en aplicaciones que requiere buena resistencia al desgaste y a la corrosión. Los tratamientos de nitruración y nitrocarburación asistidos por plasma mejoran las propiedades superficiales a bajas temperaturas y con menor impacto ambiental que los tradicionales. En estos procesos, el nitrógeno y/o carbono difunden en la superficie del material, quedando en solución o formando compuestos. La capa modificada permite endurecer el material y mejorar su resistencia al desgaste y a la corrosión.

En este trabajo, se evaluó el comportamiento al desgaste de muestras de acero AISI 420 nitruradas y nitrocarburadas por plasma donde el parámetro que se modificó fue el tiempo on en relación con el tiempo total (25% y 33%). Las muestras fueron tratadas a 440°C durante dos horas, en una atmósfera de 50% de H_2 y 50% de N_2 para la nitruración y de 48% de H_2, 48% de N_2 y 4% de CH_4 para la nitrocarburación. Los tratamientos se llevaron a cabo en la Universidad Técnica de Freiberg (Alemania).

Se observaron las capas modificadas mediante MO y se determinó su espesor. Se evaluó el comportamiento al desgaste mediante ensayos de Pin On Disk y abrasivo según la norma ASTM G65. El espesor de las capas modificadas fue mayor en las probetas nitruradas y nitrocarburadas con mayor tiempo on, alcanzando 12 µm y 12,6 µm respectivamente.

A partir de los resultados, se determinó que en los ensayos de POD que las muestras con mayor tiempo on tuvieron un mejor comportamiento al desgaste y las muestras nitrocarburadas con 33% on tuvieron un rendimiento 41% mejor que las nitruradas con ese mismo tiempo on. En los ensayos de desgaste abrasivo, las probetas con mayor tiempo on tuvieron un mejor rendimiento, pero no hubo diferencia significativa entre las muestras nitruradas y nitrocarburadas.

Palabras clave: Nitruración por plasma, Nitrocarburación por plasma, AISI 420, desgaste.

Introducción

Los aceros inoxidables martensíticos, como el AISI 420 suelen ser seleccionados para utilizarse en herramientas o componentes de maquinarias de diferentes tipos de industrias tales como la farmacéutica, alimentaria y petroquímica debido a su alta resistencia, tenacidad adecuada y aceptable resistencia a la corrosión. Su resistencia al desgaste y a la corrosión en condiciones severas suele ser una limitante en la vida útil de este material incrementando los costos y reduciendo su productividad (Dalmau, 2018).

Para mejorar las propiedades superficiales se pueden utilizar diferentes tratamientos por plasma. Estos ofrecen ventajas sustanciales con respecto a los tradicionales al operar a temperaturas más bajas y ser ambientalmente amigables. Además, en estos tratamientos es posible realizar un proceso de limpieza superficial previa (sputtering) al tratamiento que permite eliminar el óxido pasivante y favorece la difusión. Estos procesos utilizan gases ionizados a baja presión y permiten la modificación superficial del material sin afectar sus propiedades másicas o en volumen. La

nitruración y la nitrocarburación asistidas por plasma permiten la difusión de nitrógeno/carbono y/o forman compuestos como nitruros o carbonitruros (Li, 2017).

Durante estos tratamientos, se forman dos zonas distintas en la superficie del acero. La capa superficial, que corresponde a una solución supersaturada de nitrógeno en la red martensítica llamada "martensita expandida" con algunos nitruros de hierro precipitados. Esta capa tiene un espesor del orden de micrones y ofrece alta dureza, resistencia al desgaste y protección contra la corrosión. Debajo de esta capa, se encuentra la zona de difusión, que proporciona resistencia adicional al desgaste y a la fatiga, con una dureza que se extiende a profundidades del orden de décimas de milímetros (Mainardi, 2024).

En el presente estudio, se sometió el acero inoxidable martensítico DIN 1.4021 (equivalente a AISI 420) a procesos de nitruración y nitrocarburación utilizando un sistema asistido por plasma y se evaluó su microestructura y comportamiento al desgaste. Las condiciones experimentales incluyeron temperatura de 440 °C durante 2 horas con diferente tiempo activo en una atmósfera con una mezcla de nitrógeno (N_2) e hidrógeno (H_2). En el caso de la nitrocarburación, se añadió un 4% de metano (CH_4) a la atmósfera.

Materiales y métodos

El material utilizado en este trabajo es un acero inoxidable martensítico DIN 1.4021 (SAE/AISI 420) con la composición química de 0,20% C, 13% Cr, 1% S, 1,5% Mb, 0,04% P, 0,015% S y Fe como balance. Se utilizaron muestras cilíndricas de aproximadamente 25 mm de diámetro y un espesor de 6 mm. La nitruración y nitrocarburación fueron realizadas en un reactor asistido por plasma en la Universidad Técnica de Freiberg (Alemania) a 440°C, durante un tiempo de 2 h. Para la nitruración se utilizó una atmósfera 50% de N_2 y 50% de H_2, mientras que para la nitrocarburación se utilizó una atmósfera 48% de N_2, 48% de H_2 más un 4% de CH_4. La descarga que generó el plasma fue pulsada con tiempo on (t_{on}) de 70 µs y tiempo off (t_{off}) 140 µs para el grupo de 0,33 t_{on}/t_{total} y un t_{on} de 70 µs y t_{off} de 210 µs para el grupo de 0,25 t_{on}/t_{total}.

Tabla 1. Condiciones de tratamiento

Tratamiento	Denominación	Temperatura (°C)	Duración (h)	t_{on}/t_{total}
Nitrocarburación	NC440 0,33	440	2	0,33
Nitruración	N440 0,33	440	2	0,33
Nitrocarburación	NC440 0,25	440	2	0,25
Nitruración	N440 0,25	440	2	0,25

Las muestras fueron cortadas, incluidas en resina fenólica, lijadas y pulidas con pasta de diamante de 1 µm. Posteriormente, estas fueron atacadas con el reactivo de Vilella (1 g ácido pícrico, 5 ml HCl y 100 ml alcohol etílico) para poder revelar la microestructura de la superficie. Se midió la dureza superficial y en profundidad con un microdurómetro con indentador Vickers con una carga de 50 gramos durante 10 segundos. Se realizaron ensayos de desgaste por deslizamiento de tipo Pin-on-Disk según la Norma G99, aplicando una carga de 3 N y una longitud de 1000 m, utilizando como contraparte una bolilla de Al_2O_3 de 6 mm de diámetro. Se calculó el volumen desgastado a partir del análisis del perfil de la huella de desgaste con un perfilómetro mecánico. Se observaron las huellas de las muestras tratadas y sin tratar y sus respectivas contrapartes (bolillas) utilizando un microscopio óptico.
La resistencia al desgaste abrasivo se investigó utilizando Norma ASTM G65–95 con 65 N de carga durante 3 min. Las muestras fueron pesadas con una balanza con una resolución de 0,1 mg antes y después del desgaste abrasivo para calcular la pérdida de masa.

Resultados y discusión

Las micrografías de las secciones transversales muestran una capa blanca por el color que presenta al atacarla con el reactivo de Vilella. Esta corresponde a la zona con mayor concentración de nitrógeno y de precipitación de nitruros y carbonitruros de hierro de acuerdo con lo reportado en la literatura (Dalibon, 2024). Las muestras con mayor tiempo activo (t_{on}/t_{total}) presentaron un espesor de (12,0 ± 0,4) µm en la muestra nitrocarburada (Fig. 1a) y de (12,7 ± 0,5) µm en las muestras nitruradas (Fig. 1b).

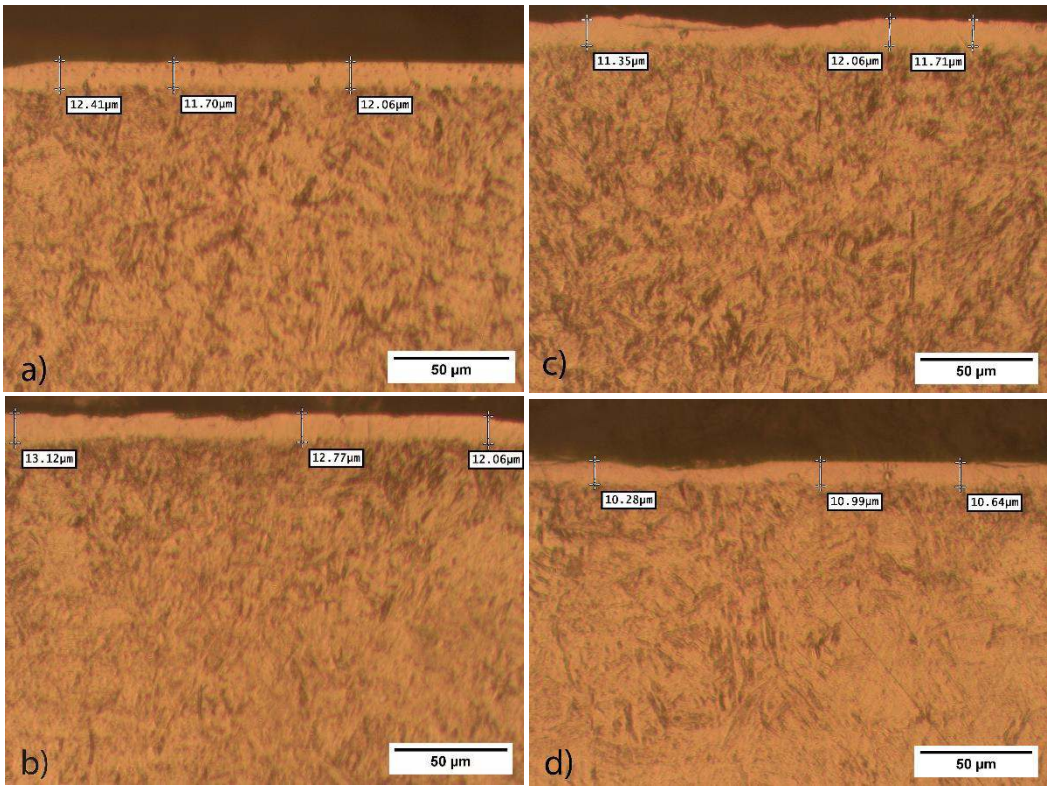


Fig. 1. Micrografía óptica de las secciones transversales: a) Nitrocarburada mayor tiempo activo b) Nitrurada mayor tiempo activo c) Nitrurada menor tiempo activo d) Nitrocarburada muestras menor

Esto indica que el proceso de nitruración genera un mayor espesor de capa que la nitrocarburación, y podría deberse a que la energía de activación para el proceso de nitruración es menor que para la nitrocarburación (Cardoso, 2015).

En las muestras con menor tiempo activo (t_{on}/t_{total}), las nitruradas presentaron un espesor de (11,7 ± 0,4) µm (Fig. 1c) y las nitrocarburadas un espesor de (10,6 ± 0,4) µm (Fig 1d), evidenciando en ambos casos un menor espesor de capa en comparación con los resultados observados en la Figura 1a y Figura 1b.

Se realizaron mediciones de dureza en superficie, en profundidad y en el núcleo, a continuación, se presenta el gráfico del perfil de dureza en profundidad para las diferentes muestras (Fig. 2). A partir del perfil de dureza en profundidad se puede obtener la profundidad de penetración del tratamiento, marcando 50 HV por encima de la dureza del núcleo y determinando en ese punto donde se corta al eje de abscisas y esa distancia es la profundidad de penetración conforme a la norma DIN 50190-3. En la (Fig. 2) se visualizan los resultados y se puede determinar que la muestra NC 440 0.33 tuvo una menor penetración mientras que las demás muestras no presentan variación considerable respecto a la profundidad de penetración.

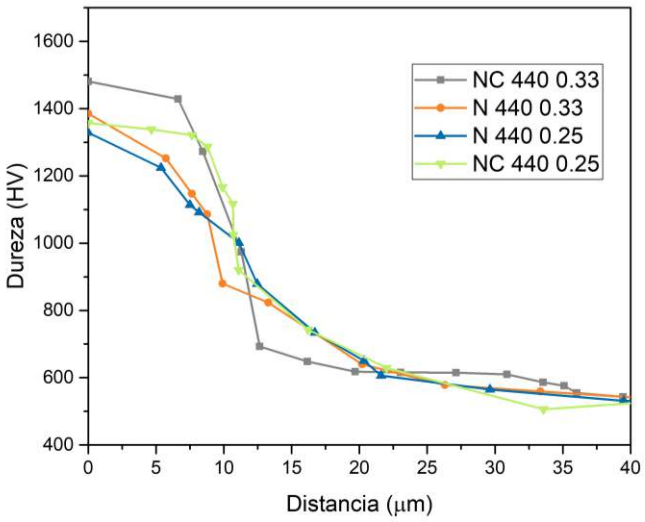


Fig. 2. Perfil de dureza en profundidad de las diferentes muestras tratadas.

En los ensayos tipo Pin-on-Disk se observó una gran mejora de las muestras tratadas respecto al patrón (Fig. 3a) y entre las muestras tratadas se visualiza un mejor comportamiento frente al desgaste en las muestras N 440 0.33 y NC 440 0.33 las cuales son las muestras con mayor tiempo activo. La mejor resistencia de la muestra NC 440 0.33 podría estar vinculada no solo a la dureza superficial si no a la microestructura de la capa y a los carbonitruros presentes (Umemura, 2019).

Con un perfilómetro mecánico, se pudieron graficar las huellas de desgaste del ensayo (Fig. 3b) donde se puede visualizar que la profundidad de las huellas y su ancho resultó menor para las muestras con mayor tiempo activo.

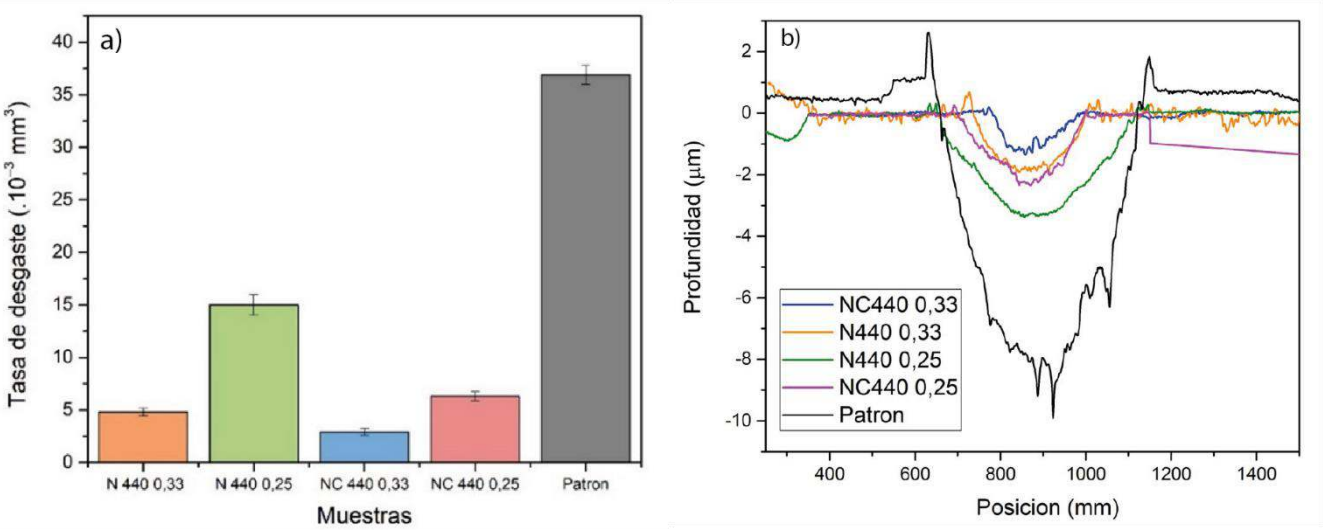


Fig. 3. Ensayos de Pin On Disk: a) Tasa de desgaste b) Perfiles de las huellas para diferentes muestras

En el ensayo de desgaste abrasivo se pesaron las muestras antes y después del mismo y se graficaron las pérdidas de masas de cada tratamiento (Fig. 4.) donde se puede visualizar que tanto para las muestras nitruradas y las nitrocarburadas hay una mejora en las muestras con mayor tiempo activo, mientras que las muestras tratadas con un menor tiempo activo presentaron perdidas de masa similares a la probeta patrón.

Teniendo en cuenta los resultados, se podría indicar que en los ensayos más severos como los de desgaste abrasivo, las muestras nitruradas presentaron mayor resistencia, esto podría deberse a

que una capa de mayor espesor otorga mayor soporte mecánico al sistema (Li, 2017; Scheuer, 2024).

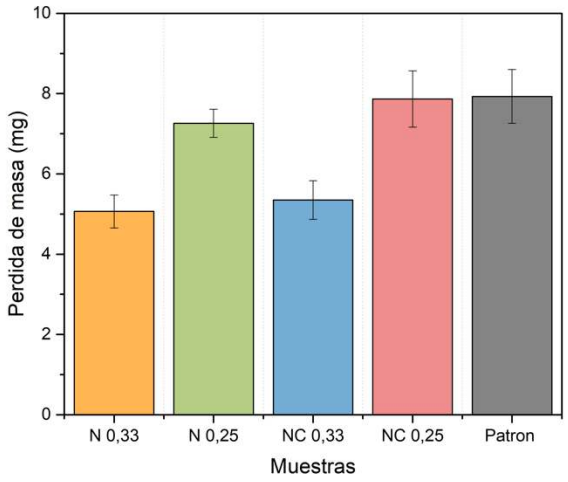


Fig. 4. Pérdida de masa en ensayo abrasivo para las diferentes muestras.

Conclusiones

A partir de los resultados mostrados en este trabajo se concluye que: un mayor tiempo activo en el tratamiento presenta importantes mejoras en los ensayos de desgaste.
La capa nitrurada presentó mayor espesor respecto de la nitrocarburada bajo un mismo tiempo activo. Las muestras nitrocarburadas presentaron mejores resultados frente al desgaste por deslizamiento tipo pin on disk, sin embargo, las muestras nitruradas mostraron mejor comportamiento en desgaste abrasivo.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Dra. Anke Dalke de la Universidad Técnica de Freiberg por la realización del tratamiento de nitruración y nitrocarburación y a los integrantes del Grupo GIS de la Facultad Regional Concepción del Uruguay, Universidad Tecnológica Nacional, por la colaboración en la realización de los ensayos.

Referencias

Dalibón, E. L; Dalke, A; Biermann, H; Brühl, S. P. (2024). Short time nitriding and nitrocarburizing of martensitic stainless steel. Surface and coatings technology, 485, 130931. doi: 10.1016/j.surfcoat.2024.130931

Dalmau, A; Richard, C; Igual-Muñoz, A. (2018). Degradation mechanisms in martensitic stainless steels: Wear, corrosion and tribocorrosion appraisal. Tribology international, 121, 167-179. doi: 10.1016/j.triboint.2018.01.036

Li,Y; He, Y; Xiu, J; Wang, W; Zhu, Y; Hu, B. (2017). Wear and corrosion properties of AISI 420 martensitic stainless steel treated by active screen plasma nitriding. Surface and Coatings Technology, 329, 184-192. doi:10.1016/j.surfcoat.2017.09.021

Mainardi, V.A; Cardoso, R.P; Brunatto, S.F; Scheuer, C.J. (2024). Tribocorrosion behavior of low-temperature plasma-carburized AISI 420 martensitic stainless steel: Investigating the synergy between corrosion and erosion in slurry and liquid impingement environments. Surface and coatings technology, 477, 130373. doi:10.1016/j.surfcoat.2024.130373

Scheuer, C. J; Cardoso, R. P; Brunatto, S. F. (2015). Low-temperature Plasma Assisted Thermochemical Treatments of AISI 420 Steel: Comparative Study of Obtained Layers. Materials Research, 18(6), 1392-1399. doi: 10.1590/1516-1439.013815

Scheuer, C.J; Silva, L; das Neves, J; Cardoso, R; Brunatto, S. (2024). Tribological performance of low-temperature plasma carburized AISI 420 martensitic stainless steel Surface and Coatings Technology 476, 130239. doi:10.1016/j. surfcoat.2023.130239.

Umemura, M.T; Varela, L.B; Pinedo, C.E; Cozza, R.C; Tschiptschin, A.P. (2019). Assessment of tribological properties of plasma nitrided 410S ferritic-martensitic stainless steels, Wear, 426–42, 49–58. doi: 10.1016/j.wear.2018.12.092

SISTEMA INTEGRAL DE GESTIÓN DE CONSUMOS ELÉCTRICOS
NEXT ENERGY MANAGMENT SYSTEM

Agustín Fernández Perlo[1], Mauro Valentini[1], Milagros Rovigno[1], Ing. Ángel Famá[1]

[1]Grupo de Estudio de Sistemas de Control, Departamento Electrónica, UTN-FRSN
Colón 332, San Nicolás (B2900LWH), Buenos Aires, Argentina.
afernandezperlo@frsn.utn.edu.ar

Resumen

En la actualidad, la demanda energética es un tema de suma importancia en el desarrollo de un país. En una sociedad con demandas energéticas en continuo crecimiento y con desafíos de generación cada vez más exigentes, este proyecto surge como una herramienta que proporciona un sistema integral e inteligente de gestión de consumos eléctricos que permite maximizar la eficiencia de generación de energías sustentables.

Integrado dentro de la red eléctrica de la facultad, el sistema utiliza una Edge PC 1502 de Phoenix Contact como controlador principal y cuyo software fue desarrollado en Node-RED. La EPC recibe los datos de generación fotovoltaica a través de su conexión Ethernet con el inverter y a su vez, obtiene en tiempo real los datos de consumo dentro de la instalación gracias a la implementación de un multimedidor EMpro conectado a la red. Teniendo disponibles las variables energéticas de la instalación, el sistema gestiona los consumos eléctricos en función de la disponibilidad de energía proveniente del inversor. Para dicho fin, se desarrollaron módulos IoT que se conectan en serie con los dispositivos a controlar para que actúen como switch y se comuniquen vía MQTT con la EPC para su gestión. Además, se desarrolló un prototipo de estación de carga para vehículos eléctricos que cumple con el estándar SAE y utiliza el protocolo OCPP. La Edge PC actúa como el controlador principal, gestionando y autorizando los puntos de carga de los vehículos eléctricos mediante la validación de usuarios a través de tarjetas RFID. Utilizando Node-RED, se desarrolló una interfaz de usuario accesible via internet que permite al usuario el monitoreo y control de los consumos, de los módulos IOT y gestionar la carga del auto eléctrico.

El proyecto proporciona un sistema de gestión de energía que permite al usuario el monitoreo y control de los consumos eléctricos que se llevan a cabo en la instalación. El proyecto fue desarrollado por alumnos de Ingeniería Electrónica becados en el Grupo de Estudio de Sistemas de Control, fomentando la integración del alumnado en los grupos de investigación y su participación en proyectos académicos.

Palabras Clave: Energías renovables, Gestión de consumos, IoT, Node-RED, auto eléctrico.

Introducción

El aumento de la demanda energética y la necesidad de implementar fuentes de energía renovable han impulsado el desarrollo de tecnologías capaces de optimizar el consumo y la generación de energía. En este contexto, los sistemas de gestión energética se han convertido en herramientas esenciales para lograr un uso eficiente de los recursos energéticos, reducir la dependencia de fuentes no renovables y disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero.

Desarrollado por alumnos y tutores del *Grupo de Estudio de Sistemas de Control* (GESIC), el proyecto busca integrar al alumnado de las carreras de ingeniería en el estudio de energías renovables y participación de proyectos académicos.

El proyecto se denomina *Next Energy Managment System (NEMS)* siendo una solución diseñada para gestionar el consumo energético en instalaciones eléctricas, con un enfoque particular en la integración de energías renovables. Este sistema permite la supervisión y el control de

dispositivos eléctricos en tiempo real, optimizando el uso de la energía disponible según la generación local, principalmente proveniente de fuentes fotovoltaicas.

Este trabajo describe el desarrollo, implementación y evaluación del NEMS, detallando los componentes tecnológicos utilizados, la metodología de integración y los resultados obtenidos en su aplicación en la red eléctrica de la Facultad Regional San Nicolás (FRSN) de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN).

Planteo del problema

Los sistemas de generación distribuida y los vehículos eléctricos son tecnologías con un gran potencial de crecimiento para los próximos años. En ambos casos, se persiguen objetivos ambientales y de sustentabilidad en pos de una mejor calidad de vida para las personas. A pesar de que ambas tecnologías funcionan bien de manera independiente, se pretende mediante la combinación y coordinación de ambas obtener una mayor eficiencia que permita mejorar los márgenes de rentabilidad y potenciar los beneficios ambientales.

De acuerdo las reglamentaciones en nuestro país, la generación distribuida resulta más beneficiosa para el usuario generador cuando esta se destina al autoconsumo. Con el fin de aprovechar mejor la energía generada y aumentar el autoconsumo se recurre, en muchos casos, a la utilización de baterías para almacenar energía. Sin embargo, esto no solamente conlleva una inversión mayor, sino que además plantea problemas adicionales referidos al mantenimiento y la vida útil de las baterías.

Una alternativa a la utilización de baterías consiste en la gestión inteligente de los consumos. El vehículo eléctrico resulta ser el consumo eléctrico más importante y, por lo tanto, la correcta gestión de esté es fundamental para maximizar la eficiencia.

Materiales y Métodos

El controlador es la unidad central del sistema, encargada de comunicarse con todos los dispositivos de la instalación y procesar la información recibida para aplicar algoritmos de decisión que ajustan los consumos administrables y la recarga de vehículos eléctricos (EV) en función de la disponibilidad de generación de energía. Además de estas funciones, el controlador proporciona la conectividad del sistema y sirve como interfaz de usuario. Estas funciones requieren un hardware con capacidad de procesamiento a alto nivel y con interfaces de comunicación adecuadas. Para cumplir con estos requerimientos, se consideró óptimo utilizar la tecnología presente en la EPC 1502. En la *Figura 1a,* se muestra el controlador principal en conjunto con una fuente de alimentación *Trio Power,* un *FL Switch LM 5TX y* un acces point *WLAN 1100,* todos fabricados por *Phoenix Contact.*

Durante el desarrollo del sistema, se emplearon varias aplicaciones adicionales. Docker Engine se utilizó para la ejecución de contenedores en cada servidor, proporcionando un entorno sencillo para la creación y gestión de estos. Mosquitto Broker actuó como un servidor para la comunicación mediante el protocolo MQTT, permitiendo administrar la comunicación de los dispositivos IoT dentro de la instalación. Node-RED, una herramienta de programación visual, facilitó la conexión de dispositivos de hardware, APIs y servicios en línea mediante un editor basado en navegador.

En cuanto a la medición de energía, se instaló un multimedidor *EMpro* con conectividad Modbus TCP a la red principal (*Figura 1b).* Por motivos didácticos, dicho multimedidor se encuentra fuera del tablero seccional. Este dispositivo, conectado a la red a través de su puerto Ethernet, permite realizar un seguimiento en tiempo real de los consumos, la generación de energía, las potencias y las corrientes en toda la instalación. El controlador, mediante una rutina sencilla, obtiene los valores de medición deseados y los comparte a través de la interfaz OPC UA con la aplicación Node-RED, donde se utilizan para la gestión de los consumos.

Figura 1a – Tablero de control principal

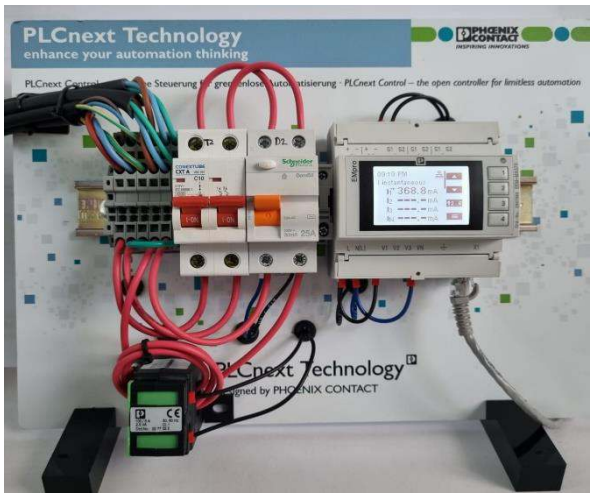


Figura 1b - Multimedidor EMpro

La estación de carga de EV implementada en el sistema (*Figura 2)* está diseñada para manejar la recarga de baterías de vehículos eléctricos, que suelen tener capacidades de entre 20 kWh y 100 kWh. La recarga de estas baterías puede realizarse tanto en corriente continua (CC) como en corriente alterna (CA), dependiendo del tipo de cargador utilizado. El sistema de recarga incluye un protocolo de comunicación llamado Pilot, que permite la señalización entre el sistema de carga EVSE y el EV para garantizar la seguridad durante el proceso de recarga. Además, el proyecto incorpora un sistema de recarga basado en el estándar SAE-J1772 y la certificación UL-2231-2 para garantizar la seguridad eléctrica durante el proceso de carga.

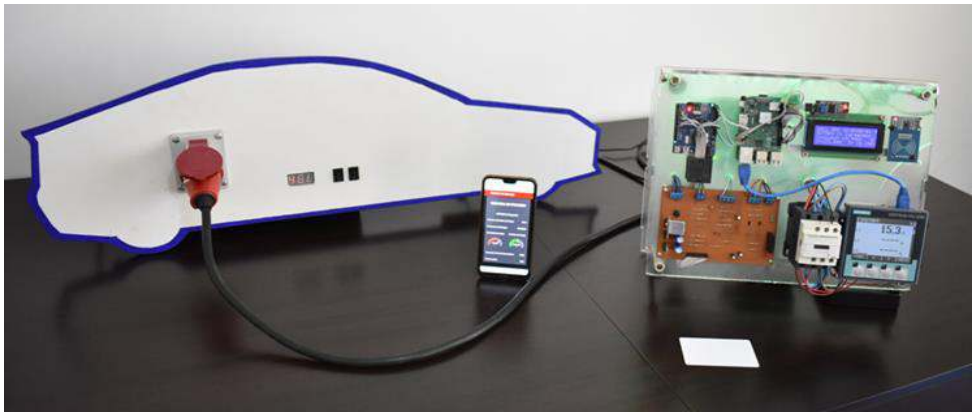


Figura 2 Prototipo de estación de carga de EV

La comunicación entre el controlador y el sistema de recarga EVSE se realiza mediante el protocolo Open Charge Point Protocol (OCPP), un estándar abierto que facilita la interoperabilidad entre hardware y software de diferentes fabricantes. El controlador, actuando como servidor en esta comunicación, gestiona la recarga del EV de acuerdo con la disponibilidad de generación y los requerimientos del usuario.

El sistema se desarrolló en una instalación solar fotovoltaica con inyección a la red, ubicada en la Facultad Regional San Nicolás. Esta instalación cuenta con un inversor de conexión a red SMA SUNNY BOY 2.5 y ocho paneles solares policristalinos (*Figura 3)*, lo que proporciona una potencia máxima de 2000W. El proyecto aprovecha la capacidad de comunicación del inversor para integrar los valores y parámetros eléctricos de generación en la gestión energética.

Figura 3 Instalación fotovoltaica e inversor SMA

Finalmente, el NEMS utiliza módulos IoT (*Figura 4)* basados en NODEMCU ESP8266 para controlar dispositivos del hogar y el punto de carga del EV. Estos módulos, mediante el protocolo MQTT, permiten enviar y recibir información de manera eficiente, facilitando la administración de los dispositivos conectados.

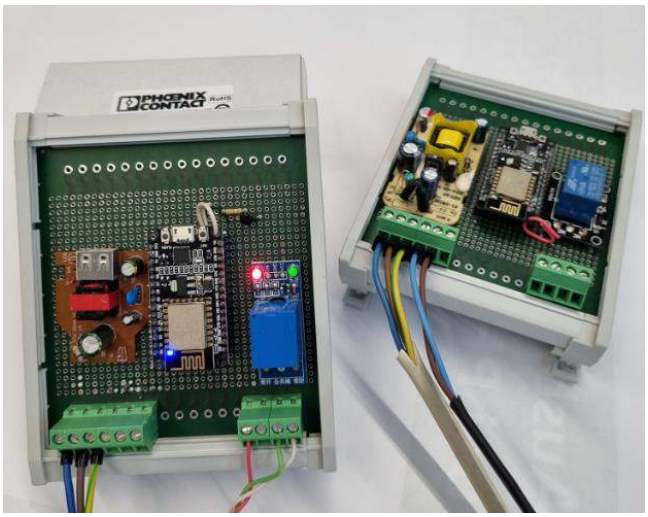


Figura 4 Módulos IoT

El sistema puede ser controlado vía internet mediante el *Web* Panel (*Figura 5)* de desarrollo propio o a través de la interfaz HMI que se incluye en la *Figura 6* en conjunto con los demás elementos del proyecto.

Figura 5 Web Panel

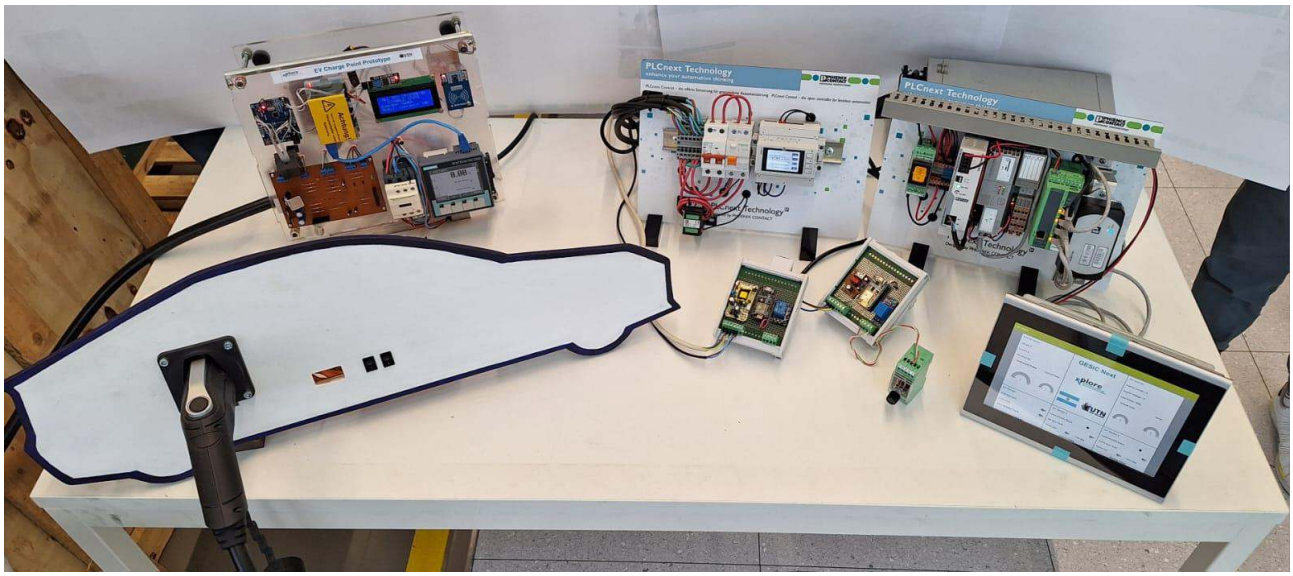


Figura 6 Next Energy Managment System

Resultados y Discusión

El Next Energy Management System (NEMS) fue sometido a pruebas en un entorno controlado en la red eléctrica de la Facultad Regional San Nicolás (FRSN) de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN). Durante estas pruebas, el sistema demostró ser capaz de gestionar y monitorear en tiempo real el consumo de energía de diversos dispositivos eléctricos, priorizando el uso de energía generada localmente por fuentes fotovoltaicas.

Uno de los principales resultados obtenidos fue la validación de la funcionalidad básica del sistema, que incluyó la correcta comunicación entre los diferentes módulos y la transmisión confiable de datos. Aunque las pruebas no se enfocaron en la optimización del consumo energético, se verificó que el NEMS es capaz de responder de manera eficiente a las variaciones en la disponibilidad de energía, ajustando la demanda de los dispositivos conectados.

La discusión sobre los resultados obtenidos se centra en las áreas de mejora identificadas. Si bien el NEMS cumplió con los objetivos iniciales, se evidenció la necesidad de incorporar una base de datos centralizada que permita almacenar y analizar históricos de consumo y generación. Esta integración podría potenciar las capacidades del sistema, permitiendo la implementación de algoritmos predictivos que optimicen el consumo energético no solo en función de la disponibilidad inmediata de recursos, sino también basándose en tendencias históricas y previsiones climáticas.

Otra consideración importante es la escalabilidad del sistema. Las pruebas realizadas se limitaron a un entorno específico, por lo que el próximo paso en el desarrollo del NEMS será la adaptación del sistema para que pueda operar en entornos más amplios y complejos. La integración con sistemas externos y servicios en la nube es un camino que podría facilitar esta expansión, permitiendo una gestión energética más eficiente y robusta.

En cuanto a los objetivos académicos, el proyecto fue presentado en el concurso Xplore 2023 organizado por Phoenix Contact, llegando a la fase final del mismo y permitiendo a los alumnos participes viajar a Alemania en representación de la institución para presentarlo y exponerlo junto a otros cien trabajos ante un jurado internacional.

Conclusión

El desarrollo y las pruebas del Next Energy Management System (NEMS) han demostrado que es un sistema prometedor para la gestión eficiente de la energía en instalaciones eléctricas, con un

énfasis particular en la integración de energías renovables y carga de vehículos eléctricos. A pesar de estar en una fase preliminar, el NEMS ha superado con éxito las pruebas iniciales, validando su capacidad para monitorear y controlar el consumo energético en tiempo real.

Quedan abiertas para su futura mejora y desarrollo, las líneas de investigación discutidas previamente en la sección de *Resultados y Discusión.*

Agradecimientos

La realización de este proyecto fue posible gracias al material provisto por Phoenix Contact y el financiamiento parcial por parte de la Facultad Regional San Nicolás.

Referencias

De Aragón, E. (Abril, 2019). *Las ventas de vehículos eléctricos en el mundo crecieron un 64% en 201* [En línea]. Recuperado de https://movilidadelectrica.com/las-ventas-de-vehiculos-electricos-globales-2018

Espressif Systems. (Julio, 2020). *ESP8266EX Datasheet Ver. 6.5* [En línea]. Recuperado de https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex data sheet en.pdf

iProfesional. (Agosto, 2017). *YPF instaló primeros cargadores eléctricos y el mercado apunta a los supermercados y shopping* [En línea]. Recuperado de https://www.iprofesional.com/notas/253799-automotriz-energia-electricidad-elec tricos-YPF-instalo-los-primeros-cargadores-electricos-v-el-mercado-se-prepara- para-expandirlos-a-super-y-restaurantes

International Electrotechnical Commission. (Diciembre, 2018). *IEC-60479-1 Effects of current on human beings and livestock - Part 1: General aspects*.

JS Foundation. (s.f.). *About Node-Red* [En línea]. Recuperado de https://nodered.org/about
NXP Semiconductor. (Noviembre, 2017). *MIFARE Classic EV1 4K - Mainstream contactless smart card IC for fast and easy solution development* [En línea]. Recuperado de https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/MF1S70YYX V1.pdf

NXP Semiconductors. (Abril, 2014). *UM10204 I2C-bus specification and user manual Rev. 6* [En línea]. Recuperado de https://www.nxp.com/docs/en/user-guide/UM10204.pdf

Open Charge Alliance. (Septiembre, 2017). *OCPP-J 1.6 Open Charge Point Protocol version 1.6*.
Raspberry Pi Foundation. (s.f.). *Raspberry Pi 3 Model B+ product brief* [En línea]. Recuperado de https://static.raspberrvOi.oro/files/product-briefs/200206+Raspberrv+Pi+3+Mode
I+B+plus+Product+Brief+PRINT&DIGITAL.pdf

Schneider Electric. (Junio, 2010). *Guía Protección Diferencial Baja Tensión* [En línea]. Recuperado de https://www.se.com/es/es/download/document/010503D10/
Society of Automotive Engineers. (Octubre, 2017). *SAE-J1772 Electric Vehicle and Plug in Hybrid Electric Vehicle Conductive Charge Coupler*.

Underwriters Laboratories. (Agosto, 2016). *UL2231-1 Standard for Safety for Personnel Protection Systems for Electric Vehicle (EV) Supply Circuits: General Requirements*.

W. Mohd Zamri Che. (Enero, 2013). *Harmonic Measurement and Analysis during Electric Vehicle Charging*. *Engineering*, 05, 215-220. https://doi.org/10.4236/eng.2013.51b039

Famá, A. (2020). *Sistema de recarga semipúblico para vehículos eléctricos* (Proyecto final). Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Nicolás.

UNA HERRAMIENTA DE HIGH-LEVEL SYNTHESIS EN PYTHON PARA ACELERACIÓN POR HARDWARE EN SOFTCORES RISC-V

Martín. Pereira Nuñez[1], Federico. Borello[1], Roberto, Simone[1], Luciano. Ferreyro[1] , Alejandro. Furfaro[1]

[1]Laboratorio de Procesamiento de Digital (DPLab), Facultad Regional Buenos Aires, Universidad Tecnológica Nacional, Av. Medrano 951
mpereiranunezmachado@frba.utn.edu.ar

Resumen

En este trabajo hemos desarrollado una herramienta en Python que permite realizar la implementación de un acelerador de hardware para procesadores softcore RISC-V. El mismo compila código escrito para RISC-V a ejecutarse en el procesador, y crea la representación a Nivel de Transferencia de Registros (RTL) del código a ser acelerado mediante Síntesis de Alto Nivel (HLS) basada en la síntesis de código ensamblador RISC-V. El resultado de la herramienta fue implementado en un dispositivo Field Programmable Gate Array (FPGA, por sus siglas en inglés), en conjunto con un protocolo de comunicación ad-hoc mapeado en memoria, para la interacción entre el hardware acelerado y el núcleo del procesador. Las simulaciones y pruebas de laboratorio realizadas, demuestran que la aceleración por hardware para este tipo de arquitecturas es posible, y arrojaron resultados prometedores.

Palabras Clave: RISC-V, High-Level Synthesis, FPGA, Python.

Introducción

RISC-V es un estándar abierto internacional sin fines de lucro de un set de instrucciones de arquitectura (ISA), alineado con los lineamientos conocidos como Reduced Instruction Set Computer (RISC). Cada vez más empresas, como Google, Apple o Seagate, consideran este estándar para los procesadores de próximas generaciones de dispositivos móviles, debido a la simpleza de su set de instrucciones, velocidad, versatilidad y flexibilidad para su desarrollo; pero principalmente porque al ser un standard abierto no requiere licencia alguna. Al igual que otros diseños, como LEON-3, OpenRISC u OpenSPARC entre otros, RISC-V está descrito en código sintetizable en un lenguaje de descripción de hardware (HDL), y puede ser implementado tanto en una Field Programmable Gate Array (FPGA) o en un Application Specific Integrated Circuit (ASIC).

High-Level Synthesis, también referida como C Synthesis o Síntesis Algorítmica, permite transformar una descripción abstracta de comportamiento de un sistema digital en una estructura Register-Transfer Level (RTL) [4,6], la cual puede ser interpretada luego por herramientas de síntesis y ruteo para FPGAs y ASICs.

AMD, Xilinx, Intel, entre otros han comenzado a liberar dispositivos integrados que integran un *hard-processor* (al que se denomina **PS**, por *Processing System*) y una FPGA (denominada **PL**, por *Programmable Logic*) (Figura 1.a), imprimiendo a estas herramientas un impulso aún mayor.

La posibilidad de escribir código que se ejecuta en el **PS** y utilizar una herramienta que permita optimizar ciertas porciones de código en la **PL**, extienden las aplicaciones científicas e industriales de estos dispositivos, en áreas en las que no es indispensable conocer ni comprender cómo describir hardware con un HDL: aplicaciones de Inteligencia Artificial, o pequeños sistemas de adquisición y procesamiento de señales. En la Figura 1.b, puede observarse un diagrama en bloques de los productos obtenidos con las herramientas Vivado HLS o Intel HLS Compiler.

A medida que las especificaciones de arquitectura de RISC-V, y la mayor parte de sus extensiones van tomando el estado “Ratificado”, que implica que ya no se modificarán, crece la disponibilidad de dispositivos en el mercado basados en RISC-V, junto con nuevas herramientas

que permiten incluir esta arquitectura en los ecosistemas de desarrollo actuales. Para ello, se requiere cubrir para RISC-V los mismos aspectos, respecto a HLS, que para las demás arquitecturas (en especial, ARM), respetando también la filosofía de RISC-V, de código abierto y libre de licencias.

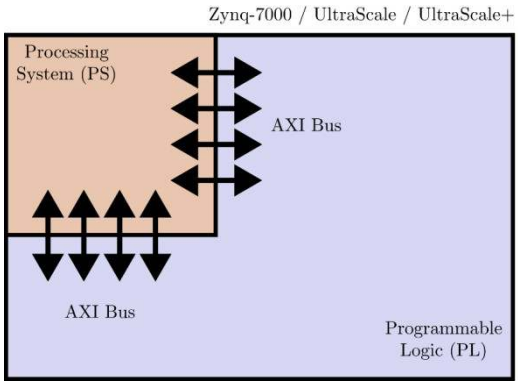


Figura 1.a

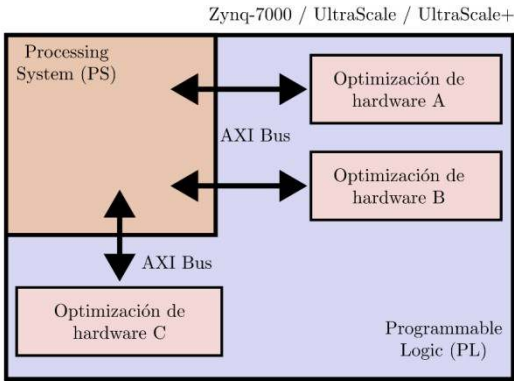


Figura 1.b

Figura 1: Esquema básico de un SoC. Fig. 1.a) Vista de un Processing System (**PS**) y Programmable Logic (**PL**), representando el hard-processor y la FPGA respectivamente. Fig. 1.b) Resultado posible de una implementación utilizando HLS, Vivado o Intel Compiler, dónde las optimizaciones A, B y C representan porciones de código ejecutándose en el **PS** que fueron optimizados en algún aspecto (velocidad de ejecución, utilización de memoria, etc.).

El objetivo de este trabajo es contribuir con:

1) una herramienta que genere las salidas necesarias para ser usadas en un SoC que integre tanto un hard-processor o soft-processor RISC-V, y la representación RTL,
2) un estándar para la intercomunicación y administración entre el PS y el PL.

Materiales y Métodos

High-Level Synthesis

Actualmente existen diferentes herramientas de HLS, algunas propietarias como Vivado HLS e Intel HLS Compiler, y otras open-source como LegUp HLS [2-3] y Bambu [5], entre otras. Existen diferentes enfoques para llevar a cabo el proceso de HLS, a saber: 1) pre-procesamiento del código, usualmente con ayuda de un compilador para facilitar parte del trabajo; o 2) Análisis sintáctico *(parsing* de ahora en más*)* del código para generar directamente la síntesis a RTL. Los SoC-FPGA disponibles en el mercado implementan el **PS** en base a arquitectura ARM, conectado al **PL** mediante un bus de comunicaciones AXI [1]. Las herramientas existentes ofrecen soporte únicamente para dicha arquitectura. Actualmente, no existen implementaciones SOC-FPGA cuyo **PS** sea RISC-V. Nuestra propuesta es sintetizar el **PS** (un *soft-processor* RISC-V) en la FPGA junto con un protocolo de comunicación alternativo a AXI, como se indica en la Figura 2. La herramienta HLS se ha desarrollado en Python, ya que es el lenguaje más utilizado tanto en la comunidad científica como en la industria[1].

Pipeline

La herramienta desarrollada utiliza un compilador como primera etapa, para facilitar el *parsing* del código escrito por el usuario, el cual queda de esta forma mejor estandarizado. Utilizamos *gcc* para RISC-V para crear código ensamblador a partir del código escrito en C, para así poder acceder a las optimizaciones del compilador. La síntesis comienza a partir de éste código ensamblador obtenido. El formato sencillo del código en ensamblador de Risc V simplifica el *parsing* y limita los problemas de síntesis a las reglas de un programa en ensamblador, a saber: operaciones aritméticas, ejecución secuencial, uso del *stack*, condicionales, y saltos.

1 https://spectrum.ieee.org/the-top-programming-languages-2023

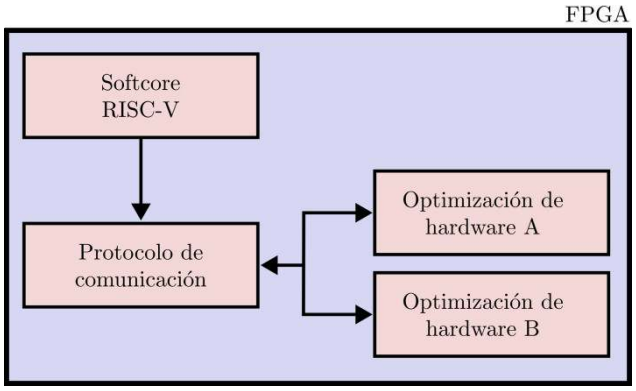


Figura 2: Esquema básico de una optimización para el caso de un Softcore RISC-V. Se observa la implementación del core, dos secciones de un código optimizadas (A y B) y un protocolo de comunicación que resuelve la interacción entre el procesador y las optimizaciones nombradas.

Al ser tan reducido el set de instrucciones de RISC-V, el soporte de todo un programa es más simple de implementar. Las capacidades de optimización del compilador, permiten generar código de alta eficiencia desde el más alto nivel, dejando las optimizaciones más sofisticadas, de ser necesario, para la herramienta Python. Se generan dos salidas: el código binario compilado para ser ejecutado en el **PS**, y el RTL para programar la **PL,** mediante la posibilidad de configuración de la herramienta para que ciertas funciones en el código a ser optimizado sean efectivamente aceleradas mediante HLS, mientras que el código restante se compila a un binario. Todo este flujo se muestra en la Figura 4. Para la administración de la ejecución del código entre el procesador y el bloque de HLS, se propuso la arquitectura definida en la Figura 5, la cual se basa en un dispositivo mapeado en memoria, de modo que el procesador transfiere los valores de sus registros hacia y desde la unidad de control, y señaliza el comienzo de la ejecución del bloque de HLS. Para esto durante el proceso de compilación, la herramienta agrega funciones que reemplazan las rutinas que serán aceleradas mediante HLS con el *handshake* para enviar los datos requeridos, señalizar el inicio de ejecución del bloque, y recuperar los datos nuevos procesados. Esto se realiza con rutinas de ensamblador como las que se muestran en la siguiente porción de código, en donde **HLS_BASE** representa la posición de memoria donde está mapeada la unidad de control de HLS.

```
.equ HLS_BASE, 0x800000
.section .text
.globl hls_routine

hls_routine:
   li   a0, 1 ;# set a0 to 1
   li   a1, HLS_BASE ;# load HLS mapped registers base on a1
   sw   a0, 0(a1) ;# write 1 on HLS_BASE to enable HLS
   lw   a0, 10(a1) ;# store return value on a0
   jr  ra
```

Este listado muestra el llamado a una rutina con el prototipo: **int hls_routine (void)**. Las rutinas con las que se reemplaza deben respetar la interfaz ABI para C de RISC V, de modo que solo resta con copiar el estado del sistema necesario para no alterar la continuidad de la ejecución del **PS**. Se genera un bloque RTL llamado ***executor***, que tiene como entradas y salidas los registros que use la función a sintetizar, encargado de generar una instancia para cada bloque generado en la síntesis, y administrar su ejecución en orden hasta terminar. La síntesis asegura que cada secuencia consecutiva de instrucciones aritméticas entre un branch se resuelve en un bloque combinacional instanciado por ***executor***. Cada instrucción de branch altera el orden de ejecución de dichos bloques.

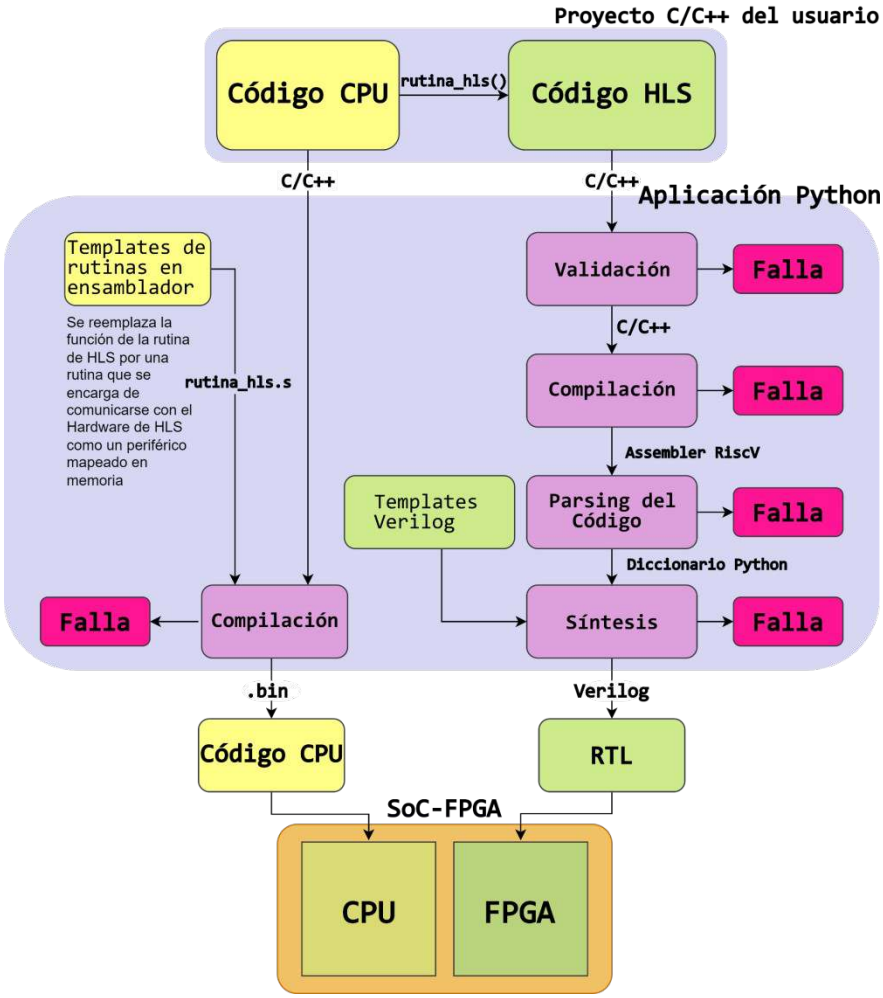


Figura 4: Diagrama General de la Herramienta HLS. Se observan diferenciados los caminos del código con destino en el **PS** (CPU), y el HDL destinado a la **PL** (FPGA).

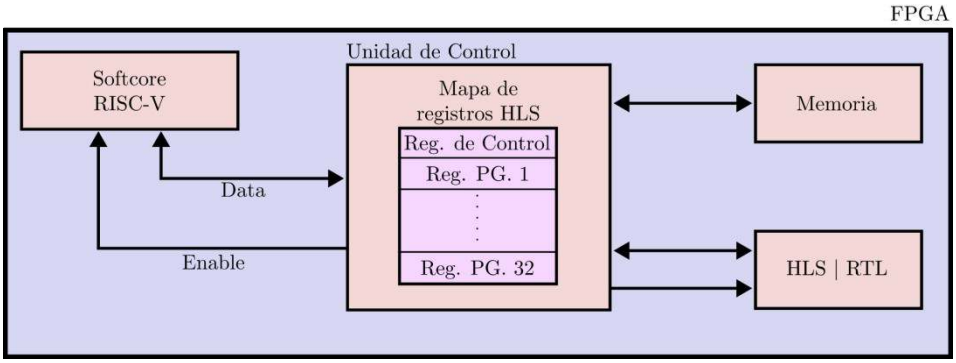


Figura 5: Diagrama Conceptual del contexto de la CPU Risc V y el mapeo en memoria de los principales componentes.

El programa de prueba incluyó todas las instrucciones básicas principales (*call*, *branch*, *loop* y *add*). La unidad de medida utilizada en este caso fue el reloj del sistema (que es el de la etapa digital en este trabajo). El código es el del listado a continuación, compilado con gcc con y sin optimización (flag **-O**), ejecutando en el **PS** o por HLS.

```
int equation(int a, int b) {
   a = a + b;
   a += 3;
   return a + a;
}
```

```
int hls_routine(int a) {
   int b;
   b = 2;
   for (int i=0; i < 10; i++)
       a = equation(a, b);
   return a;
}
```

Para las pruebas se implementó un softcore RISC-V de arquitectura base de 32-bits, basado en el diseño de Bruno Levy[2], junto con el RTL generado por la herramienta desarrollada. En la memoria del procesador, se carga el binario del programa a ejecutar y probar. Para la medición se creó un programa que invoca la rutina HLS dentro de un loop perpetuo, permitiendo medir el tiempo de cada iteración. Se utilizó el ILA de Vivado (por Integrated Logic Analyzer).

Resultados

Tabla 1: Resultados con y sin optimización de gcc de un código optimizado con la herramienta de HLS vs. el código ejecutado en el softcore.

	Clks de ejecución con HLS	Clks de ejecución sin HLS
Código sin optimizar	66	1001
Código optimizado	29	135

Utilizar HLS proporciona una importante mejora en los tiempos de ejecución compilando el código C/C++ con o sin optimización. Para este ejemplo particular, la diferencia fue mucho mayor sin optimizar debido a que en ésta condición, gcc inserta muchas operaciones de movimiento de datos, no así con optimización, y en HLS las omite siempre. Las particularidades del programa, producen variabilidad en la optimización de la herramienta, pero siempre se ejecuta en un tiempo menor. Respecto del tiempo de ejecución del HLS (es decir sin contar el tiempo de enviar y extraer la información para el **PS**) dadas las características de la herramienta de síntesis descritas, por simple inspección del código ensamblador de un programa se determinan los ciclos de reloj requeridos para su ejecución en comparación al CPU (asumiendo un CPU que ejecuta una instrucción por ciclo). Por ello, para el código que se muestra a continuación, compilado con gcc sin optimización, puede contabilizarse 21 ejecuciones antes de entrar al bucle. El bucle tiene 28 instrucciones, de modo que su ejecución en el **PS**, demanda (21 + 28·N) siendo N la cantidad de ciclos de reloj (N = 10 en este caso). Como la herramienta HLS divide el código ensamblador en bloques en base a instrucciones de salto o condicional, la ejecución por HLS se divide en 4 bloques iniciales y 3 de bucle, (4+3·N). La Tabla 2 muestra la comparación que indica un valor teórico máximo de mejora de 89,27 %.

```
int equation(int a, int b) {
   a = a + b;
   a += 3;
   return a + 5;
}
int hls_routine() {
   int a, b;
   a = 1;
   b = 2;
   for (int i=0; i < 10; i++)
       a = equation(a, b);
   if (a > 100)
      return 7;
   return a;
}
```

2 Disponible en repositorio público: https://github.com/BrunoLevy/learn-fpga/tree/master

Tabla 2: Ciclos de reloj de la implementación de un código comparado con su equivalente optimizado con HLS. Se observa la importante mejora debido a la aceleración de hardware

Iteraciones (N)	CPU [clks] (21 + 28·N)	HLS [clks] (4 + 3·N)	Mejora [%]
10	301	34	88,70
100	28021	3004	89,27

Conclusiones

Los resultados experimentales demuestran la viabilidad de la aceleración de hardware para implementaciones de SoC's basados en RISC-V y FPGAs. Junto con la definición del protocolo de comunicación entre la CPU y el bloque HLS, mostraron satisfacer los requerimientos del usuario, permitiendo cambiar, modificar y/o mejorar cualquiera de sus bloques constitutivos, ya sea el compilador, los bloques RTL o el protocolo de comunicación.

Estos resultados permiten proyectar como próximos pasos la extensión de esta metodología de trabajo para diferentes boards de desarrollo, métricas de rendimiento utilizando aplicaciones reales como la suite de SPEC, conexión del bloque HLS al bus AXI (o AMBA) para el caso de implementaciones en arquitecturas Zynq, conectando al mismo bus AXI el *soft-processor* RISC-V, y la publicación de la herramienta desarrollada como open-source abierta a la comunidad.

Referencias

[1] ARM. AMBA Specification (Rev2.0) [Enlace web].

[2] Canis Andrew, Choi Jongsok, Aldham Mark, *et al*. 2011. "LegUp: high-level synthesis for FPGA-based processor/accelerator systems". 19th ACM/SIGDA, Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 33–36, 2011. https://doi.org/10.1145/1950413.1950423

[3] Canis Andrew, *et al*. 2013. "LegUp: An open-source high-level synthesis tool for FPGA-based processor/accelerator systems". ACM, 13, 2, Article 24, Set. 2013. https://doi.org/10.1145/2514740

[4] Chu, Pong. "RTL Hardware Design Using VHDL: Coding for Efficiency, Portability, and Scalability". Wiley-IEEE Press, 2006. ISBN-10: 0471720925.

[5] Ferrandi Fabrizio, *et al*. "Invited: Bambu: an Open-Source Research Framework for the High-Level Synthesis of Complex Applications," 58th ACM/IEEE Design Automation Conference (DAC), San Francisco, CA, USA, pp. 1327-1330, 2021, doi: 10.1109/DAC18074.2021.9586110.

[6] Nane Razvan, Sima Vlad, Pilato Christian, *et al*. "A Survey and Evaluation of FPGA High-Level Synthesis Tools". IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, 35. 1-1, 2015, 10.1109/TCAD.2015.2513673.

SELECCIÓN DE COMPONENTES PASIVOS EN FILTROS BICUADRÁTICOS PASO ALTO UTILIZANDO OPTIMIZACIÓN POR ENJAMBRE DE PARTÍCULAS

Luciano Mendaro[1], Nicolás Alberto[1], Evelyn Acevedo[1]
Tutores: Eduardo Romero[2], Gabriela Peretti[2], Mónica Lovay[2]

[1]Facultad Regional Villa María, Universidad Tecnológica Nacional, Av. Universidad 450, 5900, Villa María, Argentina
[2]Grupo de Estudio en Calidad en Mecatrónica, Facultad Regional Villa María, Universidad Tecnológica Nacional, Av. Universidad 450, 5900, Villa María, Argentina
mendaroluciano04@gmail.com

Resumen

En este trabajo, se propone utilizar un método basado en el algoritmo optimización por enjambre de partículas (PSO, *Particle Swarm Optimization*) para dimensionar los componentes pasivos en filtros bicuadráticos paso alto. PSO efectúa la selección de los valores de resistencias y capacitores, optimizando el proceso para que los filtros bicuadráticos cumplan con las especificaciones de frecuencia de polo, ganancia y calidad de filtrado. Para validar el esquema propuesto se considera como caso de estudio un filtro IGMFB (*Infinite-Gain Multiple Feedback*) paso alto, adoptando tres escenarios posibles respecto a la tolerancia de los componentes. Los resultados exploratorios alcanzados demuestran que el enfoque basado en PSO permite obtener configuraciones de filtro con errores de diseño muy bajos, ofreciendo una herramienta valiosa para ingenieros y diseñadores en el campo de la electrónica.

Palabras Clave: filtros bicuadráticos, filtros paso alto, selección de componentes pasivos, optimización por enjambre de partículas

1. Introducción

Los filtros de segundo orden o bicuadráticos son el componente fundamental en muchos sistemas electrónicos. Se utilizan para realizar diversas operaciones, como la separación de señales en distintas bandas de frecuencia, la eliminación de ruidos no deseados y la mejora de la calidad de las señales en aplicaciones de audio, comunicaciones, y control.

Un desafío para el diseño de filtros activos-RC bicuadráticos es seleccionar valores adecuados para los componentes pasivos (resistencias y capacitores) que cumplan con las especificaciones deseadas. Este proceso puede ser complicado debido a las tolerancias y variaciones en los valores de los componentes, que pueden afectar el desempeño del filtro, sumado a que los valores de estos componentes están discretizados mediante las denominadas series E.

En el Grupo de Estudio en Calidad en Mecatrónica de la FRVM-UTN se han propuesto diferentes alternativas para subsanar el problema de diseño, empleando para ello metaheurísticas (Talbi E‐G., 2010). De esta forma, se abordaron filtros bicuadráticos y también de orden superior, empleando algoritmos genéticos, evolución diferencial, vortex y optimización por enjambre de partículas (PSO, *Particle Swarm Optimization*) (Lovay et al., 2016, 2017, 2019a, 2019b). Asimismo, como resultado de estas investigaciones se formuló una aplicación para diseño de filtros desarrollada en el entorno App Designer de Matlab (Lovay et al., 2022). No obstante, los trabajos realizados consideran respuestas paso bajo y paso banda. Se propone entonces explorar un filtro bicuadrático paso alto para brindar un panorama completo de diseño de filtros utilizando metaheurísticas.

Específicamente, se propone utilizar un método basado en PSO, que es un algoritmo de optimización inspirado en el comportamiento social de los enjambres. El proceso, mediante el uso de PSO, efectúa la selección de los valores de resistencias y capacitores, de manera que los filtros

paso alto cumplan con las especificaciones de frecuencia de polo, ganancia y calidad de filtrado. En base al filtro adoptado como caso de estudio, se muestra que el método propuesto permite encontrar conjuntos de valores para los componentes pasivos que cumplen con las especificaciones, para diversas condiciones de disponibilidad de valores de los componentes.

2. Materiales y métodos

2.1. Filtros bicuadráticos

Una topología muy utilizada para implementar este filtros activos-RC es la denominada IGMFB (*Infinite-Gain Multiple Feedback*). Esta configuración emplea múltiples lazos de realimentación, un amplificador operacional y componentes pasivos tales como resistencias y capacitores. En la Fig. 1, se muestra el circuito correspondiente a un filtro IGMFB paso alto (Raut R. & Swamy M. N. S., 2010).

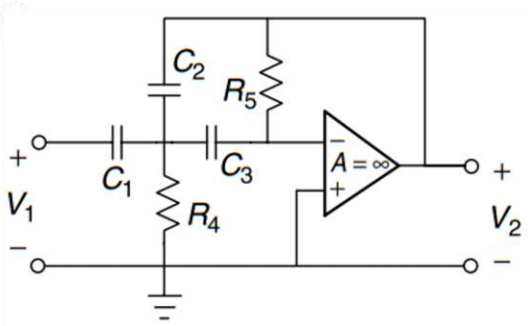


Fig. 1. Filtro bicuadrático IGMFB paso alto

La función de transferencia en el domino de Laplace de un filtro paso alto, en función de las especificaciones se muestra en (1). Estas son ganancia en la banda de paso (G), la frecuencia de polo ($\omega p=2\pi f_p$) y factor de calidad (Qp).

$$F(s) = \frac{Gs^2}{s^2 + \left(\frac{\omega_p}{Q_p}\right)s + \omega_p^2} \tag{1}$$

Mediante una comparación entre la función genérica (1) y la obtenida del filtro caso de estudio en función de los valores de los componentes pasivos, se pueden encontrar las siguientes expresiones para las especificaciones:

$$G = \frac{C_1}{C_2} \tag{2}$$

$$\omega p = \sqrt{\frac{1}{R_4 R_5 C_2 C_3}} \tag{3}$$

$$Qp = \left(\sqrt{\frac{R_4}{R_5}}\left(\frac{C_1}{\sqrt{C_2 C_3}}\right) + \sqrt{\frac{C_3}{C_2}} + \sqrt{\frac{C_2}{C_3}}\right)^{-1} \tag{4}$$

En la Tabla 1, se presentan las especificaciones elegidas para este filtro (G_F, ωp_F, Qp_F). Se observa que se proponen valores independientes para las tres especificaciones del filtro. Los métodos convencionales de diseño no podrían ser aplicados en este caso de estudio. Los mismos proponen igualar todas las resistencias o todos los capacitores a un valor normalizado. Luego, teniendo en cuenta ωp y Qp se calculan los valores resultantes de los demás componentes pasivos. La ganancia

G del filtro, en general, queda supeditada a los valores que adopten ωp y Qp, lo cual se traduce en una limitación a la hora de definir las especificaciones del filtro.

Tabla 1. Especificaciones elegidas para el filtro IGMFB paso alto.

Especificación	Valor
G_F	1
ωp_F	1000 rad/s
Qp_F	0,7

2.2. Formulación del problema de diseño

La tarea de PSO consiste en encontrar los valores de los componentes pasivos (resistencias y capacitores) para los cuales los errores en G, ωp y Qp sean mínimos.
El problema de optimización que debe ser resuelto por el algoritmo puede representarse mediante la siguiente expresión, la cual debe ser minimizada:

$$Error(Y) = \frac{1}{3}\Big(Error_G(Y) + Error_{\omega p}(Y) + Error_{Qp}(Y)\Big) \tag{5}$$

En (5), *Y* es una posible configuración de filtro determinada por los valores de resistencias y capacitores ($Y=C_1,C_2,C_3,R_4,R_5$). Por otro lado, $Error_G$, $Error_{\omega p}$ y $Error_{Qp}$ representan los errores relativos en G, ωp y Qp, respectivamente, y se calculan con las expresiones (6) a (8).

$$Error_G(Y) = |(G(Y) - G_F)/G_F| \tag{6}$$

$$Error_{\omega p}(Y) = |(\omega p(Y) - \omega p_F)/\omega p_F| \tag{7}$$

$$Error_{Qp}(Y) = |(Qp(Y) - Qp_F)/Qp_F| \tag{8}$$

2.3. Implementación de PSO

PSO es un método de búsqueda iterativo y colectivo, con énfasis en la cooperación, inspirado en el movimiento coordinado de los animales que viven en grupos. El comportamiento (dirección y velocidad) de cada individuo es el efecto de influencias cognitivas, sociales y estocásticas. El objetivo común de todos los miembros de la población consiste en encontrar la ubicación más favorable dentro de un determinado espacio de búsqueda (Slowik, 2020; Yu X. & Gen M., 2010).

En PSO, cada individuo es considerado una partícula que se mueve en un espacio de búsqueda multidimensional. La población o grupo también se denomina enjambre (*swarm*), y la trayectoria de cada partícula en el espacio de búsqueda es ajustada dinámicamente mediante la alteración de su velocidad. Estas partículas vuelan a través del espacio de búsqueda, teniendo dos capacidades de razonamiento esenciales: la memoria de la mejor posición individual alcanzada (influencia cognitiva) y el conocimiento de la mejor posición global (influencia social). En trabajos previos pueden encontrarse mayores detalles acerca de la implementación de PSO en Matlab (Lovay et al., 2016, 2022).

3. Resultados y discusiones

3.1. Parametrización de PSO

Con el propósito de evaluar preliminarmente el desempeño de PSO se proponen tres escenarios posibles respecto de los valores que pueden adoptar los componentes pasivos del filtro. El

escenario E1 considera que las resistencias y los capacitores pueden asumir valores de acuerdo con las series E192 y E96, respectivamente. Por otro lado, el escenario E2 propone emplear la serie E96 para los valores de las resistencias y la serie E24 para los valores de los capacitores. En el escenario E3 se considera la serie E24 para las resistencias y la serie E12 para los capacitores. En todos los casos el rango de valores definidos para las resistencias y capacitores es 10^2-10^6 Ω y 10^{-12}-10^{-6} F, respectivamente.

La selección de los parámetros de PSO es un aspecto crítico debido a la influencia que estos ejercen en la calidad de las soluciones que puedan alcanzarse. El valor más conveniente para cada uno se obtiene a partir de un proceso de ajuste que se lleva a cabo de manera particular para el problema de optimización que se desea resolver.

En este caso de estudio, para encontrar el conjunto de valores más apropiados de tamaño de población y cantidad de generaciones, se realizan pruebas con PSO empleando diferentes combinaciones. En cada caso se selecciona el tamaño de población y la cantidad de generaciones que permite alcanzar al algoritmo el mejor *fitness*, es decir el error de diseño más bajo. En la Tabla 2, se presentan los valores seleccionados en cada escenario considerado.

Tabla 2. Parámetros de PSO para cada escenario considerado

Parámetro	E1	E2	E3
Tamaño de población	80	40	60
Cantidad de generaciones	2000	2000	500

Con referencia a los parámetros particulares de PSO, es decir, los coeficientes de aceleración (c_1 y c_2) y los valores entre los que varía la masa inercial (ϕ_{max} y ϕ_{min}), se adoptan valores empleados en trabajos previos (Lovay et al., 2016, 2022). Los valores seleccionados son: c_1=2, c_2=2, ϕ_{max}=0,9 y ϕ_{min}=0,4.

3.2. Resultados obtenidos

En la Tabla 3 se presentan los valores de los capacitores y resistencias de la mejor configuración de filtro encontrada por PSO en cada escenario adoptado. También se visualiza para cada una el error en cada uno de los parámetros funcionales del filtro ($Error_G$, $Error_{\omega p}$ y $Error_{Qp}$) y el valor de *fitness* correspondiente. En la tabla, es posible observar que, en los tres escenarios PSO es capaz de encontrar soluciones que presentan errores de diseño muy bajos.

Tabla 3. Características de la mejor solución alcanzada por PSO en cada escenario.

Parámetro	E1	E2	E3
C_1	1,91 E-07 F	3,90 E-09 F	1,50 E-07 F
C_2	1,91 E-07 F	3,90 E-09 F	1,50 E-07 F
C_3	9,31 E-08 F	4,70 E-08 F	4,70 E-10 F
R_4	3,01 kΩ	26,1 kΩ	4,7 kΩ
R_5	18,7 kΩ	210 kΩ	3000 kΩ
$Error_G$	0%	0%	0%
$Error_{\omega p}$	0,0089%	0,2326%	0,2988%
$Error_{Qp}$	0,1190%	0,1134%	0,8572%
Fitness	0,0426	0,1153	0,3854

Teniendo en cuenta las especificaciones se utiliza (1) para obtener la función de transferencia de un filtro al que denominamos filtro nominal. La respuesta en frecuencia del filtro nominal es utilizada para observar de manera gráfica el cumplimiento de las especificaciones por parte de las soluciones

encontradas por PSO. En la Fig. 9, se muestra la respuesta en frecuencia (magnitud) del filtro nominal y la respuesta de la mejor configuración de filtro alcanzada por PSO en cada escenario propuesto (Tabla 3). Es posible observar que la respuesta de los filtros obtenidos por el algoritmo y la respuesta del filtro nominal son muy similares. En la figura, se visualiza específicamente la magnitud de las respuestas en frecuencia para la zona correspondiente a la frecuencia de corte. Puede apreciarse que para E1 la respuesta es idéntica a la del filtro nominal. Para E2 y E3 las respuestas presentan una diferencia mínima con la nominal en esta zona.

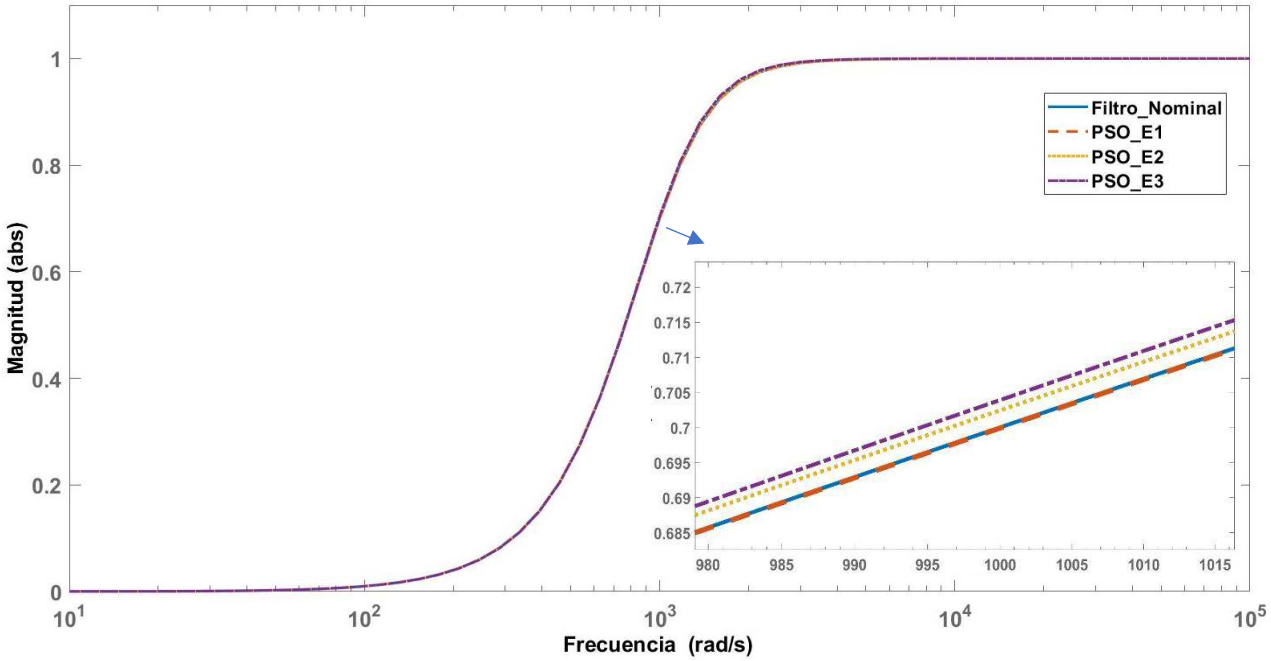


Fig. 2. Respuesta en frecuencia del filtro nominal y los filtros encontrados con PSO.

4. Conclusiones

Este trabajo presenta un esquema de dimensionamiento basado en PSO para filtros bicuadráticos paso alto. Se propone como caso de estudio un filtro IGMFB considerando tres escenarios posibles respecto de los valores que pueden adoptar los componentes. Los resultados exploratorios obtenidos muestran que la estrategia formulada permite diseñar filtros con errores de diseño muy bajos en todos los casos, demostrando la utilidad de esta.

En futuros trabajos se prevé incorporar las sensibilidades pasivas del filtro al proceso de optimización llevado a cabo por PSO con el propósito de obtener configuraciones lo más robustas posibles respecto a la variación que puedan presentar los componentes del filtro. La estrategia de dimensionamiento será incorporada a la aplicación desarrollada en el entorno App Designer de Matlab.

Referencias

Lovay, M., Peretti, G., & Romero, E. (2017). Aplicación del algoritmo Evolución Diferencial en un método de dimensionamiento para filtros bicuadráticos. *6th Argentine Symposium on Industrial Informatics, 46 JAIIO*, 223–233.

Lovay, M., Peretti, G., & Romero, E. (2022). Desarrollo de una herramienta en App Designer de Matlab para el diseño de filtros bicuadráticos. In Universidad Tecnológica Nacional (Ed.), *II IDETEC 2022*.

Lovay, M., Romero, E. A., & Peretti, G. M. (2019a). Genetic algorithms applied to the design of robust biquadratic filters. *International Journal of Numerical Modelling: Electronic Networks, Devices and Fields*, *32*(2). https://doi.org/10.1002/jnm.2531

Lovay, M., Romero, E., & Peretti, G. (2016). Aplicación del algoritmo de Optimización por Enjambre de Partículas en el dimensionamiento óptimo de componentes para Filtros Activos. *Proceedings of SII 2016, 5th Argentine Symposium on Industrial Informatics, 45 JAIIO - 45th Argentine Conference on Informatics*, 13–24.

Lovay, M., Romero, E., & Peretti, G. (2019b). Aplicación del algoritmo Vortex para optimizar la selección de componentes en filtros bicuadráticos. *RADI - Revista Argentina de Ingeniería*, *14*, 51–57.

Raut R., & Swamy M. N. S. (2010). *Modern Analog Filter Analysis and Design*. Wiley.

Slowik, A. (2020). *Swarm Intelligence Algorithms, A Tutorial* (CRC Press, Ed.).

Talbi E-G. (2010). *Metaheuristics from Design to Implementation*. Wiley.

Yu X., & Gen M. (2010). *Introduction to Evolutionary Algorithms*. Springer.

ECTA - TRAZADOR DE CORRIENTE PARA ALGORITMOS (ELECTRIC CURRENT TRACER FOR ALGORITHMS)

Facundo. Orona[1], Fernando. Aló[1], Luciano. Ferreyro[1], Roberto Simone[1], Alejandro. Furfaro[1]
[1]Laboratorio de Procesamiento de Digital (DPLab), Facultad Regional Buenos Aires, Universidad Tecnológica Nacional, Av. Medrano 951
forona@frba.utn.edu.ar

Resumen

El consumo de energía eléctrica es una de las principales restricciones en el diseño de sistemas electrónicos y en particular en computadores. Las tecnologías de miniaturización están llegando a su límite físico. El consumo de energía, pensado en términos del trabajo que debe realizar un sistema para resolver un cálculo determinado, es hoy uno de los principales factores que preocupan a los diseñadores. Existen herramientas de software ampliamente utilizadas en la comunidad científica, con las cuales es posible estimar el consumo de un diseño. Este trabajo propone un sistema de medición in vivo de la energía que consume un sistema, permitiendo controlar por software tanto en forma local como remota, el inicio y fin de la toma de medición, levantando la curva de corriente eléctrica mediante una entrada de precisión, permitiendo calcular en base a esa corriente la energía eléctrica consumida en tiempo real, con una precisión y efectividad apreciables, superior a la que se puede obtener usando instrumentos convencionales. El presente trabajo muestra el diseño, desarrollo, calibración y validación de un medidor de corriente analítico y gráfico, con pruebas de validación en plataformas de cómputo, verificando su capacidad para evaluar la contribución a la eficiencia energética de un determinado algoritmo.

Palabras Clave: Amperes, ADC, tensión, corriente, AI, GPU, redes neuronales

Introducción

El estado del arte de la tecnología de miniaturización, sugiere que la ley de Moore está llegando a su fin [7]. La escala de 1nm que se busca en la actualidad enfrenta límites físicos difícilmente superables[3]. Como consecuencia de ello, la miniaturización deja de ser la estrategia para aumentar la integración. En cambio, si se logra reducir significativamente el consumo de energía eléctrica para un mismo nodo tecnológico, es posible integrar mayor cantidad de componentes electrónicos, aplicando tecnologías de fabricación actualmente disponibles como stacking.

Además de esto, existe una tendencia a implementar en hardware diversos algoritmos y tareas hasta hace muy poco tiempo realizadas exclusivamente por software[9] algunos de los cuales demandan alto poder de cómputo, y por consecuencia, de energía.

En proyectos científicos y tecnológicos avanzados existen herramientas de software que permiten estimar el consumo de energía de un sistema de cómputo de manera confiable. Lo interesante es medir, en lugar de estimar, el consumo de energía que demanda un determinado algoritmo. Existen algunas soluciones y propuestas que permiten hacerlo [1][4][5][6][8]. Sin embargo no se conocen modelos que dispongan funcionalidades para acceso y control remoto del sistema de medición, ni de identificar en forma controlada dos puntos singulares que permitan identificar el inicio y fin de una medición, y de esta manera poder identificar el comportamiento temporal del consumo del sistema bajo medición.

Nos proponemos medir el consumo de cualquier tipo de sistema computacional, desde sistemas con una o varias GPGPUs, computadores personales, sistemas embebidos basados en uno o varios cores, o en dispositivos FPGA.

El objetivo de este trabajo es implementar un sistema computacional compacto, que trabaje como ***T*** *razado de* ***C****orriente* ***E****léctrica* resultante de la ejecución de un ***A****lgoritmo* ,(ECTA por sus siglas en inglés) con una interfaz de adquisición de corriente, conectividad para ser operado en forma remota,

capacidad de identificar vía software de control puntos de inicio y fin de la medición (puntos singulares de interés), caracterizar su curva de respuesta y su precisión mediante ensayos de laboratorio con el fin de implementarlo, medir resultados en alguna plataforma real de cómputo, y ponerlo disponible para la comunidad científica. A partir de los valores de corriente eléctrica medidos a lo largo de un intervalo de tiempo, es trivial determinar, la energía consumida por el Dispositivo Bajo Test (de ahora en más DUT por Device Under Test), durante ese intervalo.

Materiales y Métodos

ECTA tiene 3 etapas: *Adquisición de señales, Procesamiento,* y *Reporte de resultados*. La disposición se ilustra en la Figura 1

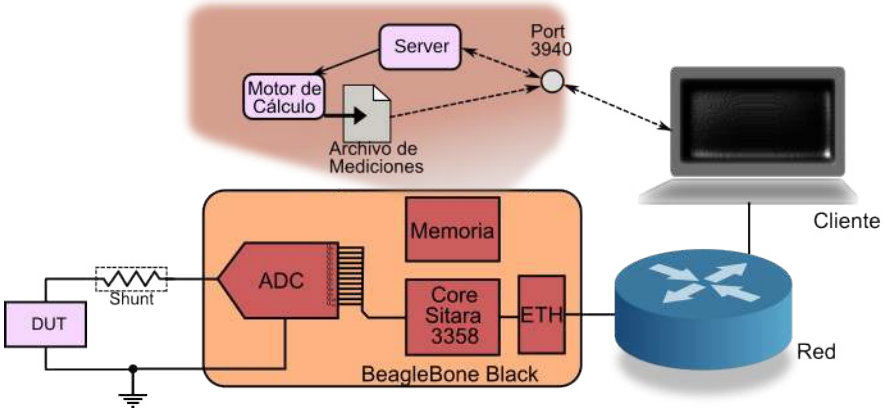


Figura 1: Diagrama de ECTA. El Shunt y el ADC componen la Etapa de Adquisición, el resto de la computadora embebida en la BeagleBone Black junto con el server concurrente que ejecuta bajo un Sistema Linux, compone la Etapa de Procesamiento, y el cliente remoto obtiene la información y la presenta al usuario.

La etapa de *Adquisición de señales* consta de un resistor Shunt, de valor calculado e incertidumbre estimada del 95%, que se conecta en serie al DUT, conectado a la entrada de un ADC. Para optimizar la precisión, se requiere el mayor rango dinámico posible. Esto requiere utilizar la cantidad de cuentas máxima en el medidor. Con este fin el valor del Shunt se calcula de forma tal que la caída de tensión entre sus terminales no supere la tensión máxima de entrada del ADC, que en esta implementación es el que trae integrado en la placa Beaglebone Black, cuya resolución es de 12 bits,tiempo de muestreo de 125 ns, y un rango de medición de 0 a 1.8 V, (su terminal de referencia de tensión provee 1,8V). La corriente de entrada máxima que puede obtenerse en estas condiciones es de 30A. Se ensayaron interfaces basadas en sensores de efecto Hall, pero nos encontramos con algunos inconvenientes entre los que destacamos la falta de linealidad de los sensores disponibles en el mercado local al momento del desarrollo, hecho que nos imponía incluir algoritmos de linealización [2], sumado a que la salida en vacío de estos dispositivos no se corresponde con consumo cero, hecho que generó inconvenientes en el proceso de medición. Optamos por lo tanto en dejar este tipo de interfaz para una segunda etapa.

La etapa de Procesamiento es una aplicación, desarrollada sobre una placa de desarrollo de bajo costo y alta capacidad de expansión BeagleBone Black[1], basada en un SoC Sitara AM3358 de Texas Instruments, que contiene un Microprocesador ARM Cortex A8 y una amplia gama de periféricos integrados, 512 MB de memoria DRAM DDR3L, y soporta un SO Linux. Sobre estos recursos ECTA dispone de un servidor concurrente que escucha requerimientos de conexión por el port 3490 TCP. En base a estos, puede activar y desactivar en forma remota la adquisición, almacenando los valores de corriente leídos a la salida del ADC y procesarlos para obtener los reportes de salida. Todos los comandos se reciben desde una aplicación cliente. Durante la etapa experimental se incluyó como primer paso de esta etapa, un algoritmo de filtrado digital de media móvil. Este filtro se puede implementar en operación, aunque no lo aplicamos en la etapa

1 https://www.ti.com/tool/BEAGL-BONE-BLACK

experimental a fin de poder captar tanto los transitorios como picos de consumo que pueden ser relevantes para analizar los resultados de la implementación.

La etapa de *Reporte de Resultados* se implementa en una consola remota en la que se ejecuta el software cliente. Desde esa aplicación se puede ordenar el análisis de los datos adquiridos o descargar para post procesar el archivo con los datos adquiridos. Para ello se dispone de un set de comando para que el cliente requiera servicios al ECTA server: MEASURE (medir) y STOP (detener) para iniciar y finalizar una medición y DOWNLOAD (descargar) para descargar el archivo de la medición para su post procesamiento. La Figura 2, muestra la interacción

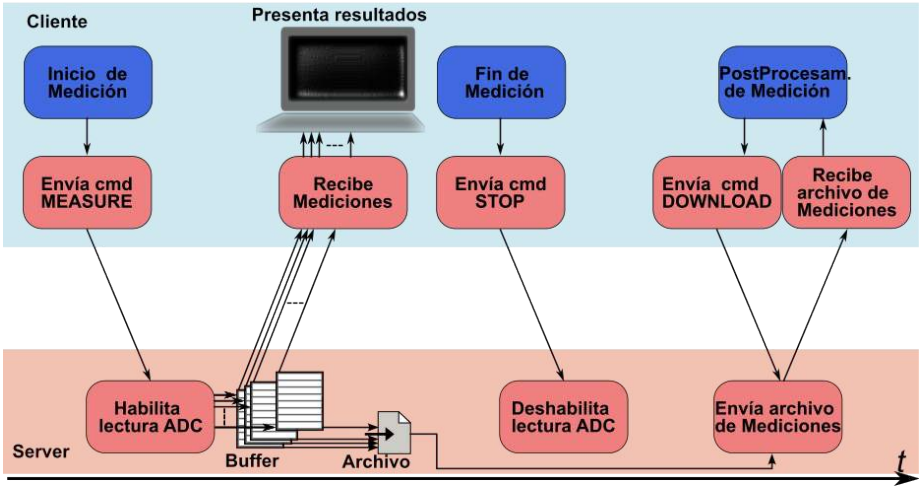


Figura 2. Intercambio de comandos entre el Cliente y el computador compacto ECTA server. El eje de tiempo da idea del tiempo de intercambio por la red.

Metodo de calibracion

Además del cálculo preciso del valor del resistor de Shunt, fue necesaria su calibración. Se lo implementó con alambre de cobre bobinado hasta la mitad y luego sobre su anterior bobinado, neutralizando así las inductancias creadas por la circulación de corriente. Fue calibrado por el método de tensión bien medida, mediante el setup de Figura 3.a. con el objetivo de garantizar una medición del valor de resistencia pequeño con el mínimo error posible.

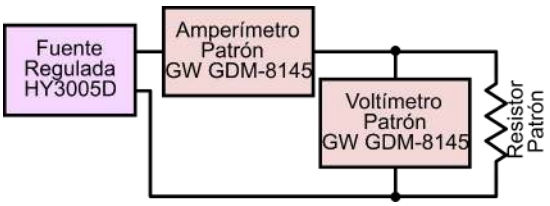


Figura 3.a.

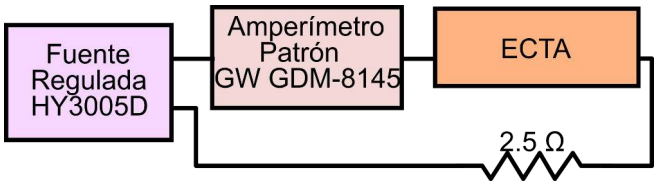


Figura 3.b.

Figura 3: Diagramas de Calibración Método por tensión bien medida (Figura 3.a.). Calibración de ECTA (Figura 3.b) utilizando una resistencia de carga calibrada de 2.5 ohms.

Se tomaron 5 mediciones haciendo circular una corriente continua por el Shunt durante 4 minutos, obteniéndose un valor de R = 0,062Ω ± 0,007Ω al 95%, el que se utilizó en el código para dividir valor de tensión detectado en el resistor Shunt por el valor calibrado del resistor. Para la calibración del instrumento, se realizaron 10 mediciones en 3 rangos, siendo estos 100 mA, 1 A y 10 A, siguiendo el circuito de la Figura 3.b.

Con los valores medidos corregidos, se realizó la combinación de incertidumbres del instrumento patrón y del instrumento a calibrar, para cada intervalo calculado previamente. Con las incertidumbres correlacionadas y los valores calculados, se determinó el error del instrumento con su incertidumbre expandida al 95%, para cada intervalo calculado, como se vé en la Tabla 1.

Tabla 1: Errores e incertidumbres correspondientes a cada rango.

Rango 100 mA	U(Δcal): 0,029 A	Δcal: 0,0030 A
Rango 1 A:	U(Δcal): 0,026 A	Δcal: 0,049 A
Rango 10 A:	U(Δcal): 0,026 A	Δcal: 0,017 A

Se observa un error prácticamente constante en todo su rango dinámico, lo que demuestra que a medida que se aumenta la corriente medida, este error baja considerablemente, logrando por encima de 10A, un error menor que el de los instrumentos convencionales.

Resultados

Comparando ECTA y un multímetro GW GDM-8145 con valores iguales de tensión y corriente con el mismo setup experimental de la figura 3.b. utilizado en calibración, pero incrementando progresivamente la corriente cada 0.25A en todo el rango, se obtuvieron los resultados de la Figura 4. A temperatura constante del Shunt, la medición mostró alta linealidad.

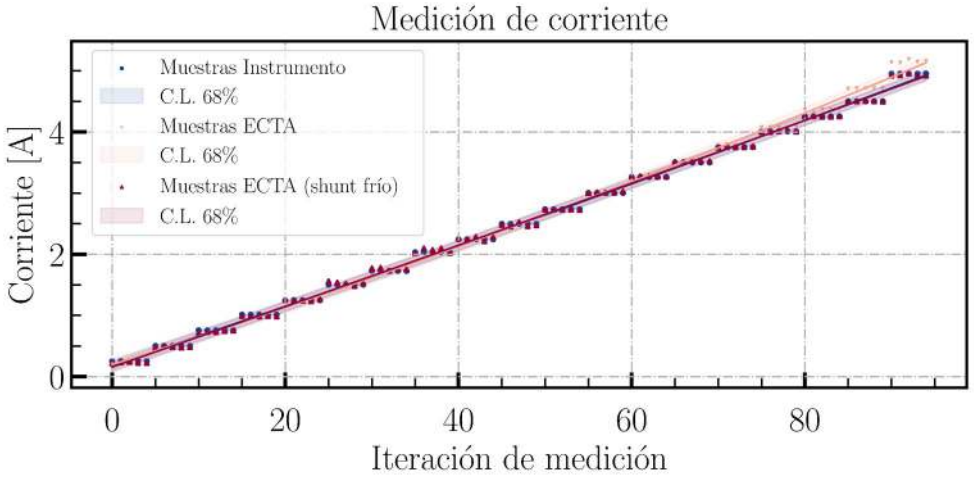


Figura 4: Comparación de resultados de una medición de corriente con ECTA y un multímetro GW GDM-8145 con iguales condiciones de tensión y carga,

Para probar el desempeño de ECTA en bajas corrientes, se realizó la medición de un resistor de 62Ω de valor esperado de dos maneras diferentes, utilizando el setup de la Figura 5.

En primer lugar se midió realizando un barrido incremental de tensión, midiendo corrientes incrementales en el resistor. Con estos valores, se determinó punto a punto el valor del resistor medido. En segundo lugar, se estableció un valor fijo de tensión, y se realizaron 500 mediciones a intervalos regulares,aprovechando la capacidad de almacenamiento de ECTA. Los datos se descargaron y procesaron externamente. calculando el valor de la resistencia esperada en los puntos medidos. No se determinó la incertidumbre de las resistencias, solo su módulo.

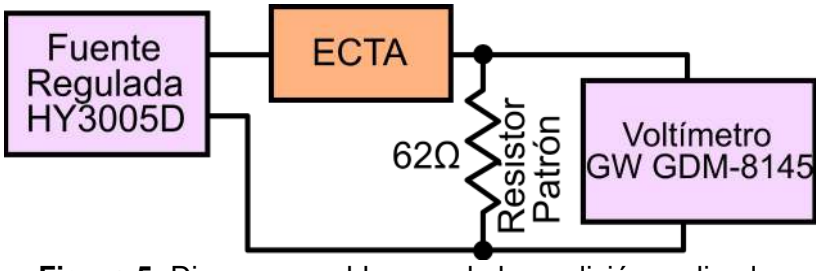


Figura 5: Diagrama en bloques de la medición realizada.

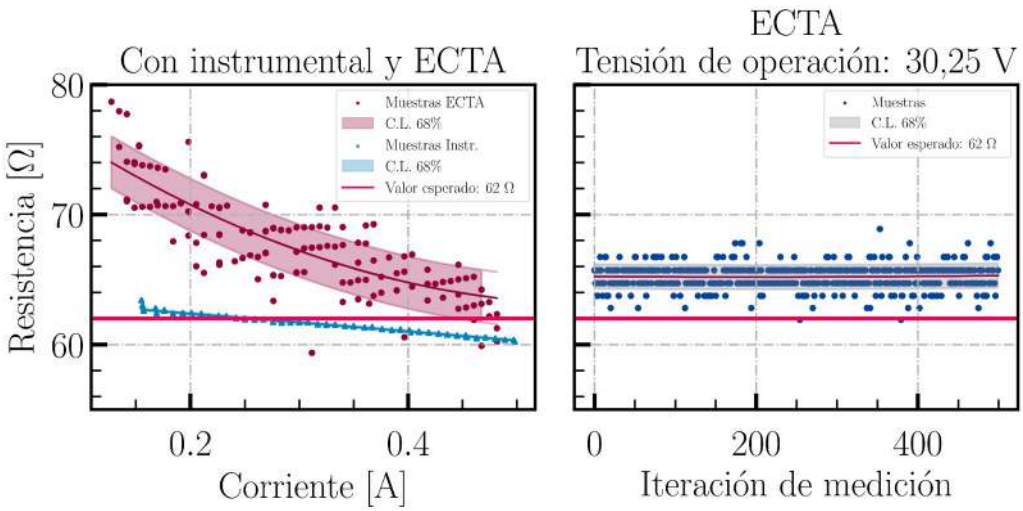


Figura 6: Caracterización de una resistencia de 62Ω con instrumental de laboratorio y ECTA (izquierda). Caracterización de la misma resistencia pero utilizando únicamente ECTA manteniendo tensión constante y usando multiple muestreo (derecha). Se observa que para un intervalo de confianza del 68% las mediciones son consistentes.

La Figura 6 muestra la medición de un resistor de 62Ω con instrumental de laboratorio y ECTA (izquierda), y solamente con ECTA a tensión constante (derecha). Como a 30V los instrumentos trabajan en la zona de fondo de escala, la incertidumbre en la medición es mínima.

Con ECTA ya caracterizado y calibrado, se hicieron ensayos con equipos reales.La Figura 7, muestra el resultado obtenido al conectar ECTA en serie con el cable de alimentación de una notebook que entrega una tensión fija de 19.25V.

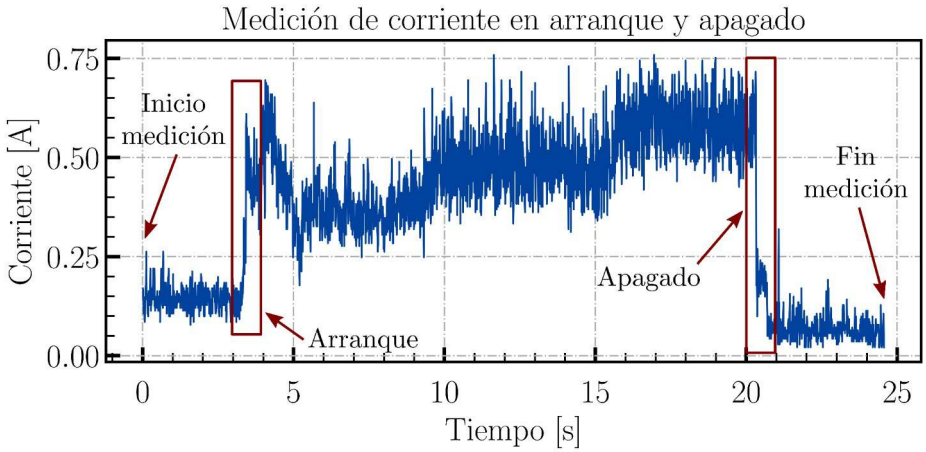


Figura 7: Medición de encendido y apagado de una notebook.

Se obtuvieron 2380 muestras durante 24.56 segundos. La medición de consumo arranca al iniciar y apagar el equipo. Los datos se almacenan localmente en ECTA y se descargan una vez finalizada la medición para post procesarlos. El reporte permite visualizar los puntos más importantes de la medición. Si se aplica un filtro de media y se integra en el intervalo de tiempo medido, se obtiene la energía en Joules.

Conclusiones

ECTA cumple con los objetivos planteados. El elemento pasivo (Shunt) en su entrada, garantiza linealidad en la medición, algo que no se había podido lograr usando sensores por efecto Hall, o similar. Esto se muestra en los resultados experimentales.

Se han obtenido mediciones de alta precisión, y baja incertidumbre en todo el rango dinámico, sin necesidad de cambiar de instrumento ni de rango. La resolución en la adquisición de mediciones y su capacidad para almacenarlas, y post procesarlas, es una fortaleza. En caso de requerirse la medición de un valor constante, al realizar un número exhaustivo de mediciones, el error de tipo A se considera prácticamente despreciable.

Nos proponemos utilizar un ADC de mayor resolución que mejore la linealidad en bajas corrientes. Además, la implementación de un mecanismo de disparo sincrónico con el dispositivo a medir mejoraría el sincronismo entre la medición y el inicio de un algoritmo de interés.

Referencias

[1] Abate F., et. al. 2019. "A low cost smart power meter for IoT." Measurement, Volume 136, Pages 59-66, doi 10.1016/j.measurement.2018.12.069. ISSN 0263-2241.

[2] Cristaldi L.,et. al. 2001. "A linearization method for commercial Hall-effect current transducers," in IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 50, no. 5, pp. 1149-1153, Oct. 2001, doi: 10.1109/19.963175.

[3] H. Iwai, "End of the scaling theory and Moore's law," 2016 16th International Workshop on Junction Technology (IWJT), Shanghai, China, 2016, pp. 1-4, doi: 10.1109/IWJT.2016.7486661.

[4] Robles-Algarín C, et. al. 2018. "A Low-Cost Maximum Power Point Tracking System Based on Neural Network Inverse Model Controller" Electronics 7, no. 1: 4. doi: 10.3390/electronics7010004

[5] Rodrigues N. et. al., 2020. "Low-Cost Embedded Measurement System for Power Quality Frequency Monitoring," 2020 IEEE CPE-POWERENG, Setubal, Portugal, pp. 236-239, doi: 10.1109/CPE-POWERENG48600.2020.9161673.

[6] Sánchez-Sutil F., et. al. 2019. “Development and Calibration of an Open Source, Low-Cost Power Smart Meter Prototype for PV Household-Prosumers”. Electronics. 8. 878. 10.3390/electronics8080878.

[7] Theis T. N., et. al. 2017. "The End of Moore's Law: A New Beginning for Information Technology," in Computing in Science & Engineering, vol. 19, no. 2, pp. 41-50, Mar.-Apr. 2017, doi: 10.1109/MCSE.2017.29

[8] Viciana Eduardo,et.al. 2018. "OpenZmeter: An Efficient Low-Cost Energy Smart Meter and Power Quality Analyzer" Sustainability 10, no. 11: 4038. doi: 10.3390/su10114038

[9] Zhang H., et al . 2016. “Maximizing Performance Under a Power Cap: A Comparison of Hardware, Software, and Hybrid Techniques”. ASPLOS 2016, Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 545–559. https://doi.org/10.1145/2872362.2872375.

PIRÓLISIS NO CATALÍTICA DE RESIDUOS PULPA DE PERA PARA LA OBTENCIÓN DE PRODUCTOS DE MAYOR VALOR AGREGADO

Julián Bustamante[1], Carlos E. Poncio[1], Orlando N. Guiñazú[1], Horacio Falcon[1]

[1]Centro de Investigación y Tecnología Química (CITeQ) Universidad Tecnológica Nacional-Facultad Regional Córdoba, Córdoba, Argentina, Ciudad Universitaria, 5016 Córdoba, Argentina.

Resumen

En esta investigación se estudió la pirólisis no catalítica de residuos de pulpa de pera provenientes de la fabricación de dulces y mermeladas para la obtención de productos de valor agregado. Se trabajó a 300°C, 350°C, 400°C y 450°C, la reacción de pirolisis se llevó a cabo en un reactor horizontal de cuarzo de lecho fijo a escala de laboratorio, ubicado dentro de un horno. Por medio del análisis de los productos de reacción del biolíquido llevados a cabo en un cromatógrafo de gases acoplado a un espectrómetro de masas (GC-MS) se determinó un rendimiento a Levoglucosano de 7,453% y selectividad de un 27,62%. La temperatura de trabajo afecta de manera significativa el rendimiento Este compuesto (Levoglucosan) es muy valioso por sus aplicaciones en la fabricación de plásticos, tensioactivos, productos farmacéuticos, propelentes y resinas, o como base química de Furfural, Levoglucosenona, Sorbitol, entre otros.

Palabras Clave: Biomasa; Residuos; Pirolisis, Levoglucosan

Introducción

La explotación indiscriminada de los combustibles fósiles y el desarrollo de una cultura de consumo basada en el aprovechamiento de estos recursos es responsable de la enorme cantidad de gases de efecto invernadero que se liberan a la atmósfera y de la creciente generación de residuos difícilmente biodegradables [Naushin et al, 2022]. La acumulación de residuos agroindustriales en las diferentes etapas de los procesos productivos es actualmente un problema a nivel mundial, ya que en la mayoría de los casos no son debidamente procesados o dispuestos, situación que contribuye al proceso de contaminación ambiental [Szyba et al, 2022; El-Ramady et al, 2022]. El uso de estos permite resolver problemas tanto de generación como de disposición, así como de otros factores derivados del desarrollo de los sectores productivos [Luqman et al, 2021]. Es por esta situación que se están abordando nuevas estrategias donde priman la reducción, la reutilización y el reciclaje, de modo que el residuo de una industria o servicio sea materia prima de otra [Davison et al, 2022; Zhou et al, 2020]. Los residuos tienen un alto potencial para ser utilizados en diferentes procesos que incluyen la elaboración de nuevos productos, aportando valor agregado y recuperando condiciones ambientales alteradas [Capanoglu et al, 2022; Singh et al, 2021].

Una tecnología muy prometedora que permite la conversión de residuos de biomasa en compuestos de valor agregado es la pirólisis [Yingquan et al, 2012]. La pirólisis es un proceso termoquímico mediante el cual la biomasa de residuos sólidos se convierte en tres productos: un líquido, coque y un gas de efecto invernadero neutro. El líquido o bioaceite es una mezcla altamente compleja de compuestos orgánicos obtenidos a partir de la degradación térmica de celulosa, hemicelulosa, lignina y otras biomoléculas originalmente presentes en la biomasa vegetal. El principal interés tecnológico se basa en la obtención de la fracción de gases condensables o bioaceite, que es una mezcla de más de 300 compuestos orgánicos oxigenados (con un contenido de ~35-40% de oxígeno global) representados por diferentes grupos funcionales en los compuestos [Do Carmo Rangel et al, 2023]. El rendimiento de bioaceite en el proceso de pirólisis varía en general entre ~30-75%, dependiendo de las condiciones de reacción, el origen de la materia prima, siendo, además, el bioaceite en forma líquida el estado físico más fácil de almacenar y transportar.

Materiales y métodos

Adecuación y caracterización de los residuos de pulpa de pera

La biomasa utilizada en este estudio fueron residuos de pulpa de pera (PP), provenientes de la fabricación de dulces, proporcionados por la empresa DULCOR S.A. de la Provincia de Córdoba. Previo a los experimentos, las muestras sólidas se molieron y se colocaron en un horno a 60ºC durante 24 h para eliminar la humedad y los volátiles.

Los análisis termogravimétricos se realizaron en una termobalanza modelo TGA /SDTA851e /SF/1100°C Mettler Toledo. Se estudió el comportamiento térmico de las distintas biomasas, en atmósfera inerte desde temperatura ambiente hasta 600 °C. La pérdida de peso y la velocidad de calentamiento fueron registradas continuamente a lo largo del experimento.

Sistema de reacción de pirólisis

Los experimentos de pirólisis rápida de los residuos de pulpa de pera (PP) se llevaron a cabo en un reactor horizontal de cuarzo y de lecho fijo, ubicado dentro de un horno (Figura 1). En una prueba típica, la muestra de biomasa sólida se coloca dentro del reactor, que a través de un reactor auxiliar que tiene una estrangulación, permite separar físicamente la biomasa del catalizador para las reacciones catalíticas.

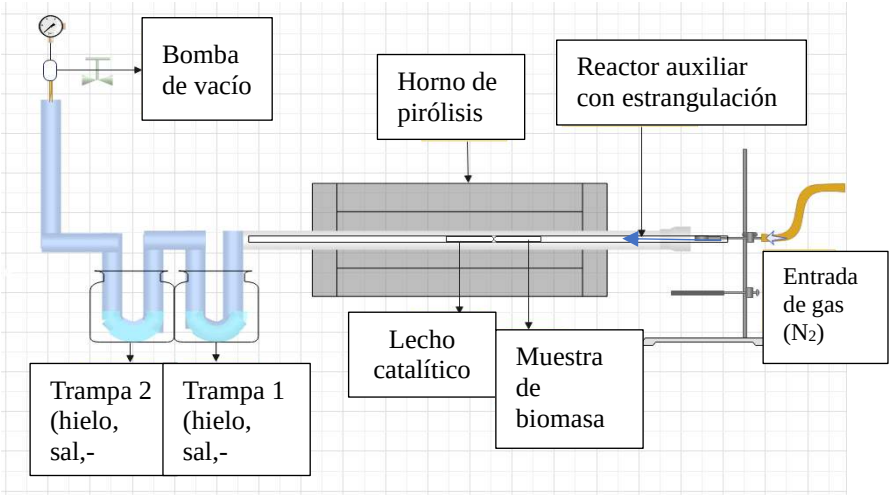


Figura 1. Imagen del equipo de pirólisis rápida

Un extremo del reactor, opuesto a la entrada de la muestra, está conectado a una bomba de vacío, lo que permite tiempos de residencia muy cortos de los productos formados (< 1 s). Una vez que los productos primarios emergen de la zona de pirólisis, quedan atrapados a temperaturas criogénicas (-20 °C) evitando reacciones secundarias. El flujo de gas de arrastre, nitrógeno ultra seco, ayuda a la transferencia de los productos formados a la zona de condensación. Los experimentos se realizaron con 3 g de biomasa seca a diferentes temperaturas: 300, 350, 400 y 450°C, a una presión de 360 mmHg y un flujo de N2 de 30 mL·min-1. En estas condiciones, se introduce el reactor auxiliar en la zona de calentamiento del reactor, fijándose en 15 min. los tiempos de reacción. La composición química del biolíquido se determinó mediante cromatografía de gases en un equipo Shimadzu QP2020 acoplado a un espectrómetro de masas con columna capilar HP-5 de 30 m × 0, 250 mm. La identificación de los productos se realizó por comparación con la librería NIST considerando una coincidencia superior al 80%. Para cada reacción se establecieron los rendimientos de la fracción líquida y sólida por peso directo y la fracción gaseosa se calculó por diferencia.

Resultados y discusión

Caracterización de residuo de pulpa de pera (PP)

La biomasa se compone de tres componentes principales: celulosa, hemicelulosa y lignina. Las diferencias en su estructura química conducen a diferentes reactividades químicas, lo que hace que la composición relativa de la biomasa sea un factor crucial para el diseño de un proceso.
Se realizó un análisis termogravimétrico (TGA), luego se graficó la derivada (DTGA) (igura 2) y se hizo la deconvolución para conocer la cantidad relativa de celulosa, hemicelulosa y lignina de la muestra.

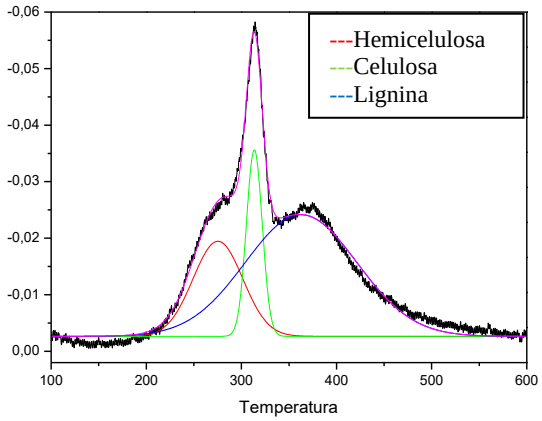


Figura 2. Curva DTGA de Pulpa de Pera

La curva presenta tres picos principales de la degradación de hemicelulosa en el rango de temperatura 200-300 ºC, un pico intenso entre 250-350 ºC y un hombro entre 350-500 ºC correspondiente a α-celulosa y lignina, respectivamente. Las intensidades relativas de los picos están relacionadas con las cantidades globales de las mismas presentes en los residuos.
En base a la deconvolución de las curvas de DTGA llevadas a cabo en ambas biomasas, podemos confirmar que el componente mayoritario es la hemicelulosa, y con una presencia de lignina, en un porcentaje inferior, lo cual no condicionaría los resultados de pirólisis.

Rendimiento de los productos de pirólisis

La distribución de productos de pirólisis rápida de la Pulpa de Pera se presenta en la figura 3. Se observó que el rendimiento a líquido aumenta al subir la temperatura hasta las 350°C (36.482%), disminuye ligeramente a 400°C (36.328%) y a temperaturas superiores comienza a imperar la producción de gas.

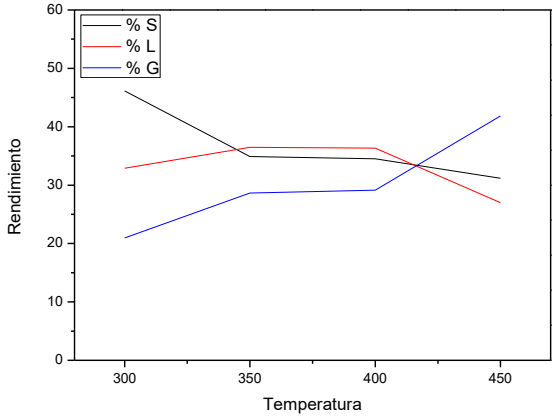


Figura 3. Rendimientos (%) de los productos de pirólisis no catalítica de Pulpa de Pera

Composición del bio-líquido

Las selectividades de los compuestos que formen el biolíquido obtenido trabajando a distintas temperaturas se resumen en las figuras 4. Se puede observar que la mayor selectividad en cualquier de las pirólisis realizadas corresponde al Levoglucosan (28.096%) obtenido a 450°C En la tabla 1 se detallan los rendimientos de cada compuesto que conforma el biolíquido.

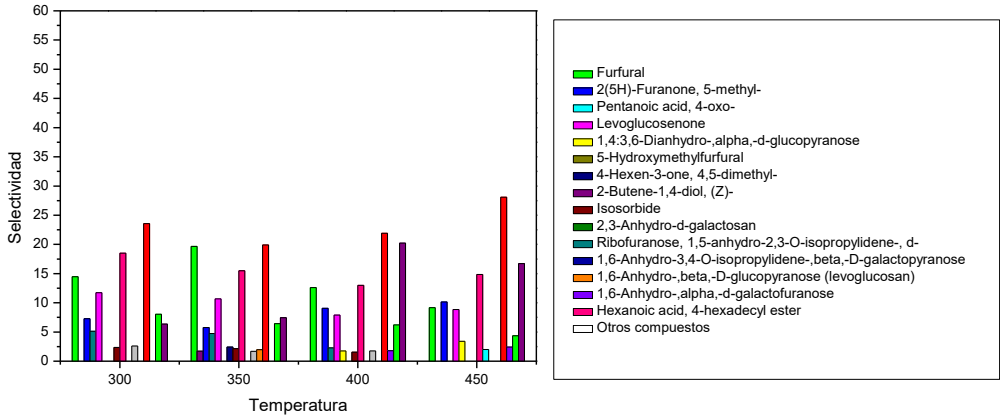


Figura 4. Selectividades de los compuestos que forman el biolíquido

Tabla 1. Rendimientos de los compuestos del biolíquido

Compuestos	300	350	400	450
2(5H)-Furanone, 5-methyl-	4,760	7,169	4,578	2,477
Pentanoic acid, 4-oxo-	-	0,621	-	-
Levoglucosenone	2,394	2,101	3,297	2,736
1,4:3,6-Dianhydro-,alpha,-d-glucopyranose	1,681	1,723	0,833	-
5-Hydroxymethylfurfural	3,861	3,893	2,867	2,392
4-Hexen-3-one, 4,5-dimethyl-	-	-	0,633	0,917
2-Butene-1,4-diol, (Z)-	-	0,882	-	-
Isosorbide	0,779	0,780	0,560	-
2,3-Anhydro-d-galactosan	6,093	5,654	4,716	4,006
Ribofuranose, 1,5-anhydro-2,3-O-isopropylidene-, d-	-	-	-	0,543
1,6-Anhydro-3,4-O-isopropylidene-,beta,-D-galactopyranose	0,853	0,613	0,635	-
1,6-Anhydro-,beta,-D-glucopyranose (levoglucosan)	-	0,722	-	-
1,6-Anhydro-,alpha,-d-galactofuranose	7,750	7,261	7,952	7,582
Hexanoic acid, 4-hexadecyl ester	-	-	0,655	0,650
Otros compuestos	2,647	2,347	2,254	1,174

Conclusiones

Se estudió la pirólisis rápida de residuos de Pulpa de Pera a distintas temperaturas. Si bien se logró la mayor selectividad a Levoglucosan trabajando a 450°C (28.096%), se considera que la temperatura más adecuada para futuras pirólisis catalíticas es 400°C, ya que se genera un buen rendimiento a líquido (36.328%) y el mayor rendimiento a Levoglucosan (7.952%).

Las tecnologías de pirólisis rápida permiten convertir los residuos agroindustriales en líquidos, pudiendo ser utilizados como combustibles alternativos o como materia prima de alto valor para las industrias química y farmacéutica.

Referencias

[1] Capanoglu, E.; Nemli, E.; Tomas-Barberan, F. (2022) Novel Approaches in the Valorization of Agricultural Wastes and Their Applications. Journal of Agricultural and Food Chemistry (70) 6787−6804. Doi:10.1021/acs.jafc.1c07104

[2] Capanoglu, E.; Nemli, E.; Tomas-Barberan, F. (2022) Novel Approaches in the Valorization of Agricultural Wastes and Their Applications. Journal of Agricultural and Food Chemistry (70) 6787−6804. Doi:10.1021/acs.jafc.1c07104

[3] Do Carmo Rangel, M.; Mayer, F.M.; Da Silva Carvalho, M; Saboia, G.; Motta de Andrade, A. (2023) Selecting Catalysts for Pyrolysis of Lignocellulosic Biomass. Biomass (3) 31–63. Doi: 10.3390/biomass3010003

[4] El-Ramady, H.; Brevik, E.C.; Bayoumi, Y.; Shalaby, T.A.; El-Mahrouk, M.E.; Taha, N.; Elbasiouny, H.; Elbehiry, F.; Amer, M.; Abdalla, N.(2022) An Overview of Agro-Waste Management in Light of theWater-Energy-Waste Nexus. Sustainability (14). Doi :10.3390/su142315717

[5] Luqman, J.; Mei Yin, O; Nomanbhay, S; Mofijur, M.; Mubashir, M; Pau Loke, S. (2021) Greenhouse gases utilization: A review. Fuel (301). Doi: 10.1016/j.fuel.2021.121017

[6] Naushin, Y.; Kundan, S.; Milleni, J.; Alok, P. (2022) Emission of greenhouse gases (GHGs) during composting and vermicomposting: Measurement, mitigation, and perspectives. Energy Nexus (7). Doi: 10.1016/j.nexus.2022.100092

[7] Singh, R.; Das, R.; Sangwan, S.; Rohatgi, B.; Khanam, R.; Mohiuddin, G.; Das, S.; Lyngdoh, Y.; Langyan, S.; Shukla, A.; Shrivastava, M.; Misra, S. (2021). Utilisation of agro-industrial waste for sustainable green production: a review. Environmental Sustainability. Environmental Sustainability (4). Doi: 10.1007/s42398-021-00200-x

[8] Szyba, M.; Mikulik, J. (2022). Energy production from biodegradable waste as an example of the circular economy. Energies, (15). Doi: 10.3390/en15041269

[9] Yingquan, C.; Yang, H.; Wang, X.; Zhang, S.; Chen, H. (2012). Biomass-based pyrolytic polygeneration system on cotton stalk pyrolysis: Influence of temperature. Bioresource Technology (107) 411–418. Doi: 10.1016/j.biortech.2011.10.074

[10] Zhou, C; Wang, Y. (2020) Recent progress in the conversion of biomass wastes into functional materials for value-added applications. Science and Technology of Advanced Materials (21), 787-804. DOI: 10.1080/14686996.2020.1848213

CONTROL DE NIVEL Y CAUDAL MEDIANTE PID EN CASCADA

Juan S. Galeano[1], Alejandra Bonetto[1], Agustín Cortece[1], José L. Catalano[1], Augusto S. Doffo[1]

[1]Dpto. de Electrónica, Facultad Regional Villa María, UTN, 5900.
jsgaleano@frvm.utn.edu.ar

Resumen

En el marco de propuesta para el IDETEC 2024, se deja constancia del conocimiento adquirido durante la cátedra de 'Sistemas de Control' a través del proyecto integrador cuyo nombre y objetivo es el control de nivel y caudal en un tanque de almacenamiento de líquido mediante el uso de controladores PID en cascada.
El control PID en cascada es una implementación que consiste en el uso de múltiples controladores conectados en serie para lograr mayor eficiencia y precisión. Esta técnica permite reducir la influencia de las perturbaciones cuando se requiere mantener la variable del proceso en un régimen acotado lo más constante posible.

Palabras clave: Control, caudal, nivel, PID, IDETEC.

Introducción

Es interesante señalar que más de la mitad de los controladores industriales constan de esquemas de control PID o PID modificado.
Como todos los controladores se ajustan en el sitio, se llevará a cabo una propuesta de un caso particular que permita llevar a cabo la sintonización del controlador de forma correcta.
En primera instancia se detallan nociones básicas y consideraciones del funcionamiento de un control de nivel y caudal típico con la finalidad de enmarcar hacia dónde va dirigido el proyecto.
Luego, se definen las funciones de transferencia, necesarias para llevar a cabo el diseño.
Una vez definido el sistema de control se lleva a cabo una simulación a través del entorno de Simulink inherente al software Matlab, sometiendo el modelo propuesto a un riguroso análisis que incluye el efecto de posibles perturbaciones previamente definidas y la mejora del sistema frente a una correcta sintonización de los controladores.

Marco teórico

Para manipular el nivel de líquido de un tanque de almacenamiento se actúa a través de la abertura o cierre de una válvula de entrada, modificando así el caudal del líquido entrante al tanque.
Sin embargo, si consideramos la existencia de diferentes perturbaciones tales como la presión en las tuberías, todo resulta en variaciones del caudal de entrada a la hora de llenar el tanque. Esto dificulta la precisión del nivel deseado de líquido.
Otra perturbación presente es el efecto producido por la válvula manual de salida, que también genera fluctuaciones en el nivel del tanque.

Por este motivo se encuentra necesario el modelado de un sistema de control en cascada que permita reducir, a la mínima expresión posible, el error asociado a dicha perturbación en el flujo, permitiendo finalmente prescindir de la misma.

Acotar la variable de proceso (PV) en un margen específico implica una notable mejora en la precisión del proceso, gracias a la continua corrección de los errores presentes por las perturbaciones antes definidas. Por otro lado, se optimizan los recursos disponibles, en materia de tiempos y gastos. A pesar de que el objetivo puntual de los controladores PID no es la seguridad, ya que existen otros medios de control que prevén estas situaciones, aporta indirectamente una pequeña medida de seguridad, gracias a la disminución del error existente.
El sistema en estudio tiene como planta el tanque de almacenamiento y a la válvula de entrada como actuador, que regula el flujo entrante de líquido.

A continuación, en la figura 1, se encuentra un esquemático del sistema de control propuesto para este trabajo.

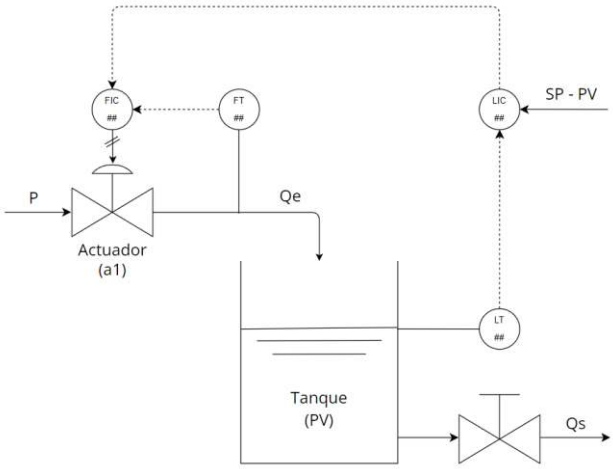


Fig. 1: Control de nivel y caudal propuesto.

Si se analiza detenidamente este proceso se puede notar que el control de caudal debe responder con una rapidez mayor que el control de nivel, ya que este último depende de la rápida corrección de las variaciones del flujo o caudal de entrada. Dicho en otras palabras, se trata de controladores anidados. En la figura 2 se muestra el esquemático en bloques del sistema de control propuesto.

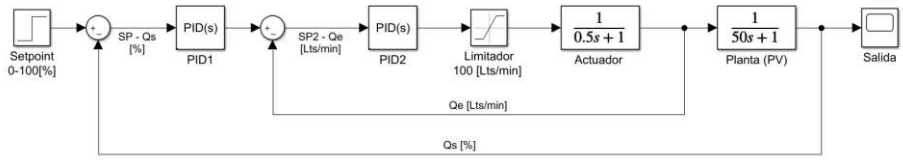


Fig. 2: Diagrama en bloques de la planta.

Sintonización PID secundario (PID único)

Para poder sintonizar los controladores del sistema, se procede con un único controlador PID.

En este caso, se toma en cuenta el controlador secundario, correspondiente al lazo interno para asegurar un caudal constante. En la figura 3 se aprecia el esquemático que resulta de despreciar el lazo externo.

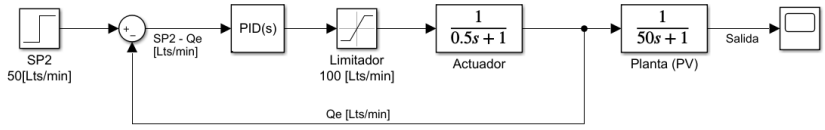


Fig. 3: Control PID único.

Al diagrama actual (Fig. 3) se le aplica un setpoint de 50 [Lts/min]. La planta se estabiliza en un tiempo de aproximadamente 427 segundos, pero jamás alcanza el setpoint deseado.

Utilizando la función Tune, se realizan ajustes sobre el controlador modificando los parámetros de respuesta temporal y de comportamiento transitorio.

Debido a la acción integral el sistema disminuye la velocidad de respuesta, por lo que se vuelve más lento, pero permite corregir el error en estado estacionario, llevando la salida del proceso al valor deseado, que no es más que el del setpoint antes dicho.

En la figura 4, se aprecia el comportamiento actual del sistema en la curva de trazo interlineado, mientras que la curva de trazo continuo corresponde a la respuesta con los parámetros modificados

del PID único. Dichos parámetros se encuentran en el extremo inferior derecho, allí se visualizan los valores de la acción proporcional e integral.

Por otro lado, las curvas vistas en el ploteo derecho titulado como '*Controller effort*' corresponden a la respuesta del controlador y permiten verificar que el mismo esté dentro de los rangos de operación válidos, y que la velocidad de la salida sea concordante con la capacidad de respuesta del actuador.

La respuesta temporal del sistema y el efecto de la acción integral sobre el mismo puede comprobarse en la figura 5, dónde se encuentra una gráfica en el tiempo comparando la señal de salida del sistema original y modificado a través del ajuste del controlador.

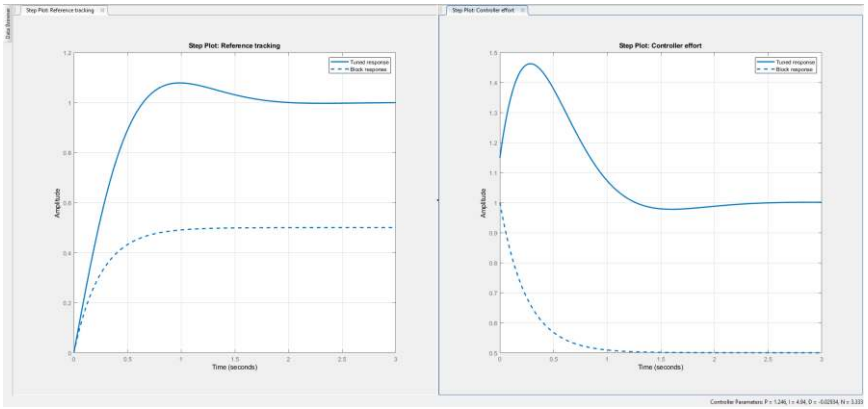


Fig. 4: Ajustes del controlador secundario (PID único).

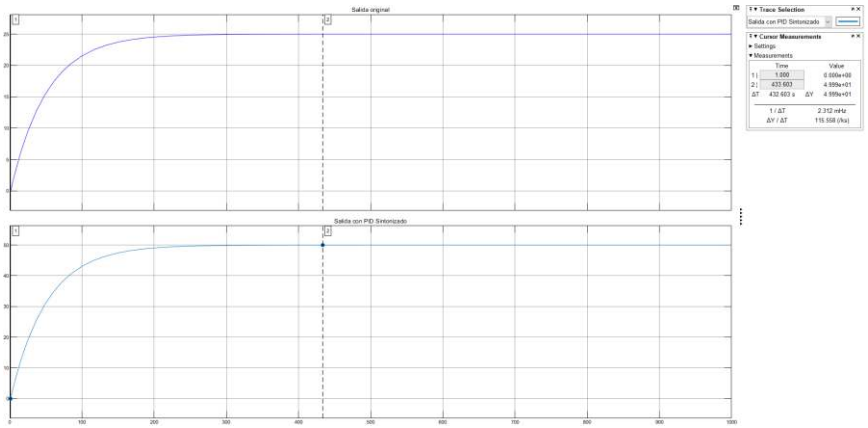


Fig. 5: Respuesta temporal del sistema sin sintonizar (arriba) y con PID sintonizado (abajo).

Perturbación en el control PID único

A continuación, se aplica una perturbación en el sistema para analizar el comportamiento frente a la misma. Dicha perturbación es de un valor igual al setpoint establecido. Véase la figura 6.

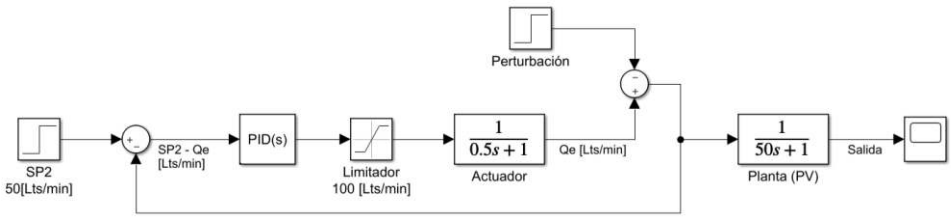


Fig. 6: Perturbación en el sistema con PID único.

En la siguiente figura se aprecia el efecto de la perturbación en la planta a través de su respuesta temporal. El error es corregido en un tiempo de 70 segundos aproximadamente, pero la variación permanece mínima, lo que indica un ajuste decente de los parámetros del controlador.

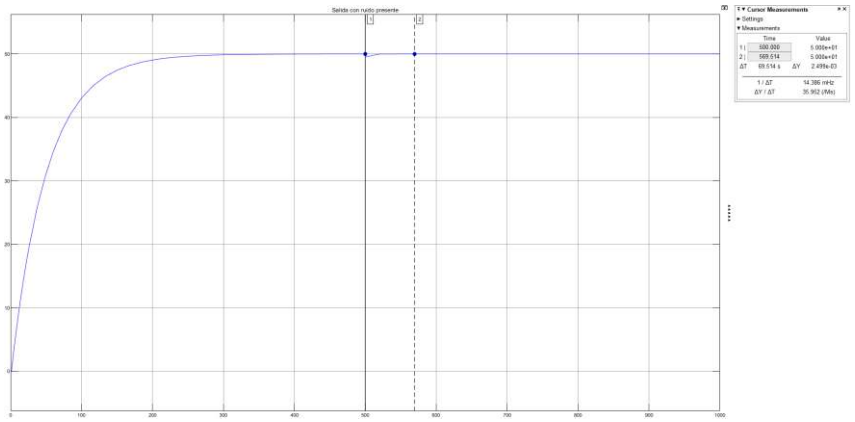


Fig. 7: Respuesta de la planta frente a una perturbación.

Sintonización PID primario (lazo externo)

Una vez sintonizado el controlador secundario y analizado el efecto de las perturbaciones, se procede al análisis del sistema de control completo, considerando el lazo externo correspondiente al control de nivel.

El esquemático que resulta de añadir el controlador primario es el de la figura 2. En la siguiente figura, se aprecia la salida del sistema con el controlador primario sin sintonizar.

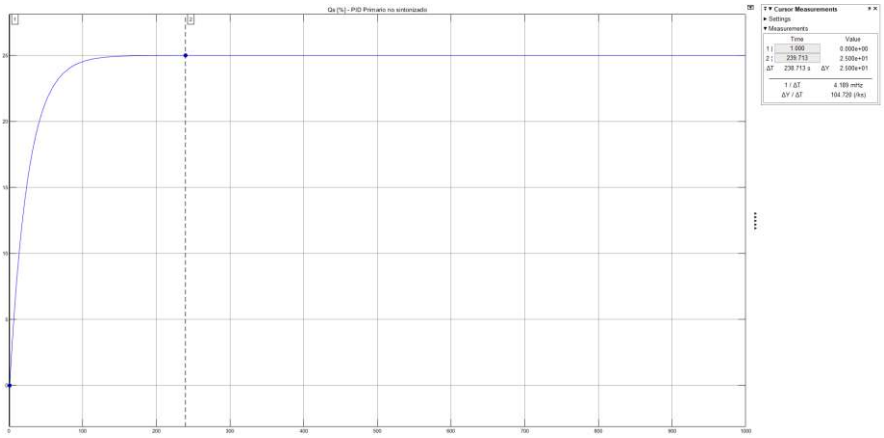


Fig. 8: Respuesta del sistema de control con el PID primario no sintonizado.

La situación es similar al primer caso con el controlador secundario único; el sistema no presenta sobrepicos y se estabiliza en un momento dado, pero no alcanza el setpoint deseado.

Por esta razón, es necesario aplicar ajustes en el controlador primario.

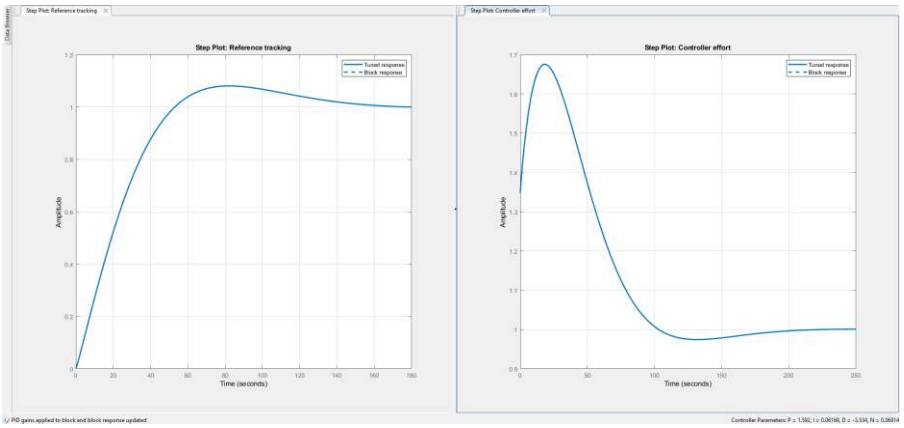


Fig. 9: Ajustes del controlador primario.

Con el controlador primario sintonizado, finalmente se obtiene la respuesta del sistema de control para nivel y caudal con ambos PID sintonizados.

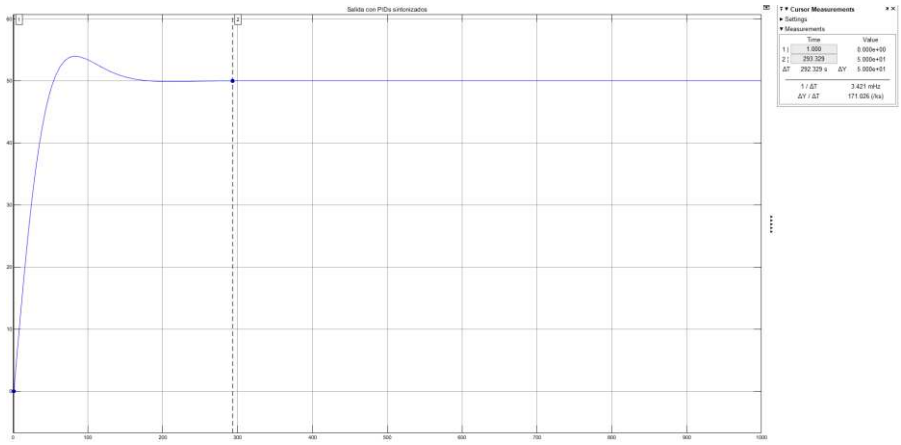


Fig. 10: Respuesta del sistema de control de nivel y caudal.

Perturbación PID primario

Se pretende analizar la respuesta del sistema frente a una perturbación dada.

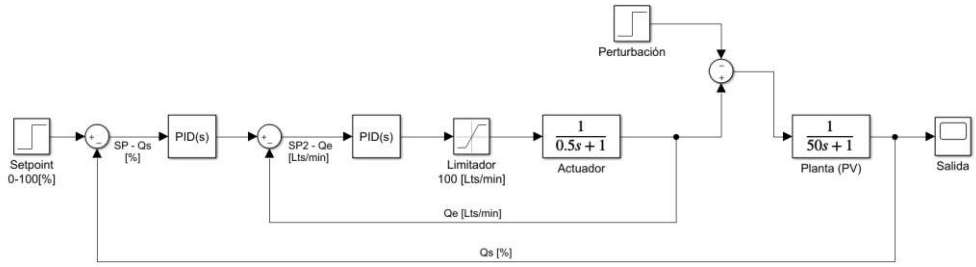


Fig. 11: Perturbación en el control de nivel y caudal.

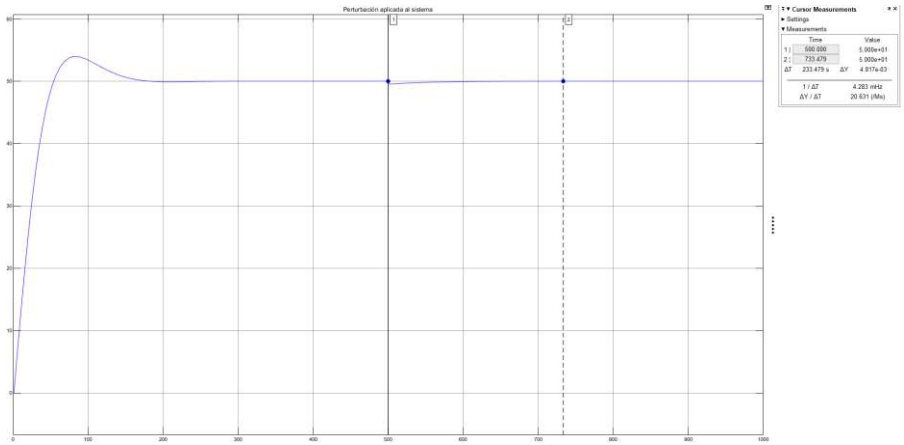


Fig. 12: Respuesta del sistema de control de nivel y caudal.

Frente a la perturbación, la planta vuelve a estabilizarse en aprox. 322 segundos.

Normalización

La normalización de un control PID es una técnica que consiste en escalar las variables de entrada y salida del controlador a un rango específico, en este caso, de 0 a 100%. Esto permite independizar el sistema de control propuesto de las unidades utilizadas.

En otras palabras, el control normalizado puede ser utilizado en otros sistemas con unidades ingenieriles distintas evitando diseñar un control para cada sistema.

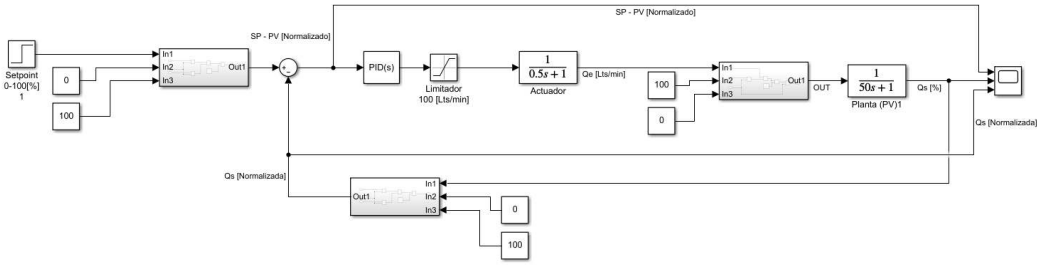


Fig. 13: Sistema de control normalizado.

Se pueden visualizar tres subsistemas en la figura 11; El primero se encarga de normalizar la señal de setpoint, el segundo se encarga de normalizar la señal de error (SP – PV). Por último, en el lazo de realimentación se encuentra el tercer subsistema que recibe como entrada, la señal de salida y los valores mínimo y máximo de la PV. Como resultado, finalmente se obtiene el sistema acotado en un margen de 0 a 100% para independizarlo de la unidad ingenieril que se utilice.

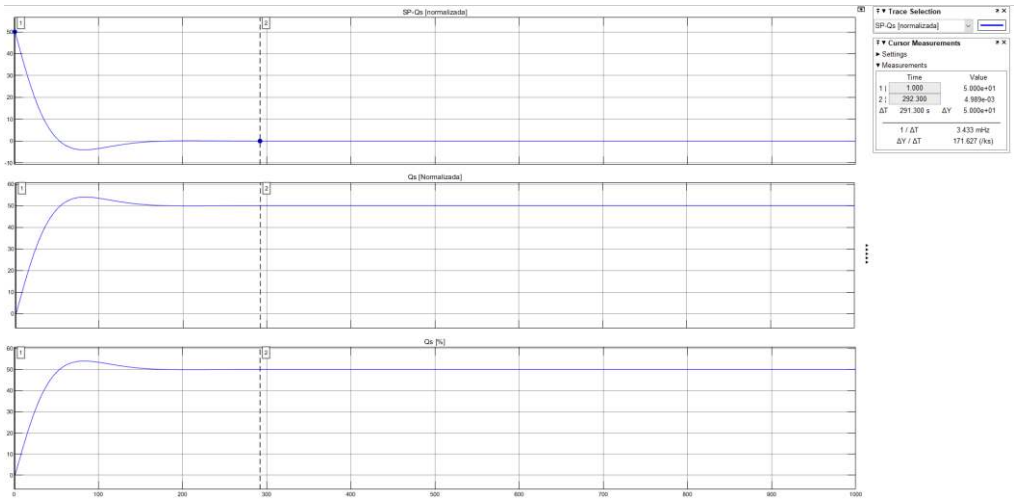


Fig. 14: Sistema de control normalizado.

En la figura 14 se muestra las respuestas en el tiempo de la señal de error normalizada, de la respuesta de la planta normalizada y sin normalizar, respectivamente.

Se puede ver que la normalización es correcta ya que el error es máximo en el instante en que se aplica el setpoint, y se va corrigiendo debido a la acción integral de los controladores hasta atenuarse, correspondiente al tiempo de establecimiento de la señal.

Cabe aclarar que la señal normalizada es igual a la señal con unidades ingenieriles ya que, en este caso, el setpoint, al ser de una medida de nivel, es adimensional y se mide en porcentaje. Es decir, un tanque al 50%, por ejemplo.

Conclusiones

El contenido teórico aprendido durante la cátedra de Sistemas de Control fue sumamente importante para comprender el desarrollo de este trabajo. Desde el concepto de los sistemas realimentados hasta la presencia de errores en estos sistemas. La implementación de un sistema de control en cascada PID para regular el nivel y el caudal en el proceso analizado ha demostrado ser una solución eficaz.

Referencias

Ingeniería de control moderna 5ª. Edición. Katsuhiko Ogata. Editorial: Pearson.

Control automático de procesos - Teoría y práctica 1ª Edición. Smith y Corripio. Editorial: Limusa.

UTN VILLA MARÍA | SECRETARÍA DE CIENCIA, TECNOLOGÍA Y POSGRADO

idetec)2024

11° Congreso de Investigaciones y Desarrollos en Tecnología y Ciencia

Comité Organizador

Presidente:
Ing. Gaspar Cena

Vicepresidente:
Ing. Franco Salvático

Secretario Ejecutivo:
Ing. Huber Fernández

Coordinación General:
Ing. Javier Gonella

Coordinadores:
Ing. José Luis Catalano
Sr. Gonzalo Giorgis
Ing. David Belamate
Ing. Sebastián Mussetta
Ing. Paola Simieli

Integrantes:
Dr. Eduardo Romero
Mg. Luis Toselli
Cr. Sergio Gilabert
Mg. Miguel A. Rosa
Dr. Eldo J. Lucioni
Ing. Paula Toselli
Mg. Carlos Tais
Mg. Mercedes Soria
Mg. Rubén Baccifava
Ing. Graciela Trombini
Dra. Gabriela Peretti
Dra. Andrea Gómez Sánchez

Secretario:
Ing. Fabian Sensini

edUTecNe

CiN REUN

Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Villa María
Av. Universidad 450 - Villa María, Córdoba
idetec@frvm.utn.edu.ar

Octubre de 2024

ISBN 978-987-8992-45-7