

Disco

Compartido 4.0

Publicación de Ciencia y Tecnología de la
Facultad Regional San Rafael
Año 4 Número 4



18 y 19 Noviembre 2020
VIIIº Foro Tecnológico

Disco Compartido

Autoridades

Universidad Tecnológica Nacional

Rector

Ing. Héctor Aiassa

Sec. Ciencia, Tec. y Posgrado

Dr. Horacio Leone

Facultad Regional San Rafael

Decano

Ing. Horacio Paulino Pessano

Vicedecano

Ing. Roberto Daniel Vilches

Sec. Ciencia y Tecnología

Mg. Ing. Felipe Vicente Genovese

Staff

Editor Responsable

Facultad Regional San Rafael

Compilación y Edición

Ing. María Luisina Biondi

Ing. Cecilia Judit Soengas

Esp. Lic. María Jimena Lloret

Diseño y diagramación

Esp. Lic. M. Jimena Lloret

Comité Organizador

Mg. Ing. Felipe Vicente Genovese

Ing. Cecilia Judit Soengas

Ing. María Luisina Biondi

Esp. Lic. María Jimena Lloret

Esp. Ing. Angel Ismaél Quiles

Ing. Roberto Alejandro Biondi

Mg. Ing. Javier Jesús Membrives

Mg. Ing. Rodolfo Iván Barón

Ing. Julian Gabriel Prados

Lic. Bernardo Gerbaudo

Est. Ariela Bueno



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.



Año 4 | N° 4 | Noviembre 2020

Publicación de Ciencia y Tecnología de la
Facultad Regional San Rafael, Universidad Tecnológica Nacional

ISBN 978-987-4998-63-7



Disco Compartido 4.0

Actas del VIII Foro Tecnológico / Ricardo Basso?... [et al.]; compilado por María Luisina Biondi; Cecilia Judit Soengas; coordinación general de Felipe Vicente Genovese. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires: edUTecNe, 2021.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-987-4998-63-7

1. Ingeniería Civil. 2. Electromecánica. 3. Ingeniería Industrial. I. Basso?, Ricardo. II. Biondi, María Luisina, comp. III. Soengas, Cecilia Judit, comp. IV. Genovese, Felipe Vicente, coord.

CDD 620.007



edUTecNe - Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional
Coordinador General a cargo: Fernando H. Cejas

Créditos

Disco Compartido

Información Editorial	2
Índice General	3
Comité Científico	4
Prefacio	5
Áreas Temáticas	6
Conferencias Magistrales	7
Área Ingeniería Civil y Materiales: Trabajos Completos y Comunicaciones	8
1. Diseño basado por desplazamientos para el refuerzo de estructuras con disipadores histeréticos	9
2. Propiedades mecánicas de madera aserrada de álamo Populus x canadensis Conti 12	16
3. Planilla electrónica para el diseño y determinación de capacidad resistente de uniones de madera tipo clavijas según el CIRSOC 601	25
4. Estudio de la viabilidad ambiental, técnica y económica del reciclado de pavimentos asfálticos en el departamento de San Rafael, provincia de Mendoza	35
5. Diagnóstico de los generadores de Neumáticos Fuera de Uso	43
Área Ingeniería Industrial y Enseñanza: Trabajos Completos y Comunicaciones	47
6. Relación entre estilos de aprendizaje de los estudiantes y permanencia en la universidad en las carreras de ingeniería en una Facultad de Ingeniería	48
7. Diseño de un objeto de aprendizaje para la enseñanza de derivada	55
8. Diseño de actividades de visualización de superficies cuádricas con el uso de realidad aumentada	59
9. Determinación del tamaño óptimo del lote de aprovisionamiento según el número de pedidos	63
10. Análisis comparativo entre modelo de dimensionamiento de lotes y algoritmo genético para la optimización de pedido en un sistema de Planificación de Requerimientos de Materiales	67
Área Ingeniería Electromecánica y Ciencias Básicas: Trabajos Completos y Comunicaciones	71
11. Interacción de α -lactoalbumina con cadenas de polielectrolitos de diversa naturaleza: un estudio mediante simulaciones computacionales	72
12. Estudio computacional de la adsorción de lisozima sobre un sustrato cargado	79
13. Desarrollo de cosechadora de semilla pilosa trichloris crinita	84
14. Dispositivo de ventilación pulmonar asistida	94
15. Modelado digital del ambiente de las cuencas hidrográficas de Llanquanelo y Atuel: definiendo un paleolago en el límite Pleistoceno/Holoceno	98
Área Ambiente: Trabajos Completos y Comunicaciones	102
16. Estudios arqueométricos aplicados a la tecnología prehispánica: primeros resultados de Arbolito (El Nihuil, San Rafael, Mendoza)	103
17. Reglamentación del arbolado público en el Departamento de San Rafael	114
18. Infraestructura verde urbana: metodología de relevamiento en la Ciudad de San Rafael	118
19. Determinación de la KH del sustrato suelo – cenizas en Biorreactores	122
20. Generación de biogás a partir de la vegetación acuática del embalse El Nihuil, Provincia de Mendoza. Manejo sustentable y aplicación tecnológica de nuevas energías renovables	126

Índice General

Disco Compartido

Coordinación General

Mg. Ing. Felipe Vicente Genovese
Ing. María Luisina Biondi
Ing. Cecilia Judit Soengas



Evaluadores

Armijo, Daniela Alicia
Atencio, Lorena Vanesa
Barón, Rodolfo Iván
Bassotti, Ricardo Daniel
Bay, Cristian Otto
Biondi, María Luisina
Biondi, Roberto Alejandro
Cerioni, Juan Jesús Miguel
Compagnoni, María Eugenia
Cortizo, Nicolás
Dauverné, Armando Nicolás
Díaz, Juan Guillermo
García, Guillermo Daniel
García, Hugo Alberto
Genovese, Felipe Vicente
Gonzalez, Alejandro Javier
Llorente, Carlos Ambrosio

Martínez, Carlos Alberto
Mieras, Margarita Miguelina
Narambuena, Claudio Fabián
Putignano, Nicolás Manuel
Reviglio, Hugo Alfredo
Romani, Ricardo Bruno
Sanchez Varretti, Fabricio O.
Saromé, Carlos Jorge
Scotti, Adalgisa del Carmen
Soengas, Cecilia Judit
Sugrañes, Nuria Andrea
Tobares, Tania Daiana
Tonidandel, Carolina
Torres, Paola Beatriz
Vilches, Roberto Daniel
Vizcaíno, Verónica Elisabeth

Comité Científico

Disco Compartido

Las actividades de investigación, desarrollo, innovación y transferencia constituyen una de las funciones sustantivas de la Universidad Argentina. En nuestra Facultad Regional San Rafael (FRSR), una de las 30 Facultades de la UTN, estas actividades se desarrollan bajo el paraguas de sus objetivos generales, manifestados en la Política de Investigación y Desarrollo indicada en el Plan Institucional de Facultad (PIF), que expresa el dirigir los esfuerzos institucionales de I+D+I hacia el desarrollo regional, conteniendo un aspecto característico de la idea constitutiva federal de la UTN, reproducido en los hechos por la distribución geográfica e inserción regional de la Universidad en nuestro país.

En estos puntos de vista se concibe a la Investigación íntimamente vinculada al desarrollo regional y se expresa como objetivo, en relación con lo científico y tecnológico, el “desarrollar la investigación, acordando las máximas facilidades para su realización, definiendo y priorizando modos de acción que sirvan a sus intereses y que promuevan el bienestar de la sociedad y el desarrollo productivo del país.” Dentro de este lineamiento, el PIF de la FRSR se propone:

- Consolidar las bases generadas de Investigación y Desarrollo en el ámbito de la Facultad Regional
- Propiciar la formación de grupos, formulación e implementación de proyectos de I+D+I vinculados al desarrollo regional
- Promover la carrera del docente investigador en la UTN San Rafael.

Este **VIII Foro Tecnológico** nos encuentra sumando tres Grupos de I+D reconocidos por la Universidad: el Grupo de Físico Química de Sistema Complejos – **SiCo**, el Grupo de Estudios de Estructuras Civiles – **GEDEC** y el Grupo de Estudios sobre Desarrollo Territorial – **GEDT**. Nos encuentra también, con una Unidad Ejecutora (UE) de doble dependencia entre CONICET y UTN, el Instituto de Evolución, Ecología Histórica y Ambiente – **IDEVEA**, de peso significativo para la comunidad, siendo la primera UE de CONICET en la región y de la cual el GEDT forma parte. Nos encuentra, en síntesis, con un espectro de actividades de I+D+I+T, incorporando la transferencia como componente necesario para poder volcar, en la medida de nuestras posibilidades, los resultados al desarrollo regional, colaborando con el mismo y acercando a la comunidad aplicaciones concretas.

El espacio de encuentro refleja los resultados de una interesante evolución de las actividades que nos ocupan, donde se compartieron diversos trabajos llevados a cabo por nuestros docentes, estudiantes y graduados investigadores, resaltando que representan solo una parte de sus funciones y obligaciones. Se debe destacar a aquellos investigadores docentes que, sin contar con dedicaciones rentadas para este fin, participan activamente, permitiendo sostener un sistema que vincula lo académico y la experiencia profesional tecnológica aplicada, siendo una particularidad inmersa en nuestra UTN.

El espacio de encuentro refleja los resultados de una interesante evolución de las actividades que nos ocupan, donde se compartieron diversos trabajos llevados a cabo por nuestros docentes, estudiantes y graduados investigadores, resaltando que representan solo una parte de sus funciones y obligaciones. Se debe destacar a aquellos investigadores docentes que, sin contar con dedicaciones rentadas para este fin, participan activamente, permitiendo sostener un sistema que vincula lo académico y la experiencia profesional tecnológica aplicada, siendo una particularidad inmersa en nuestra UTN.

Se presentaron y capitalizaron veinte trabajos en seis áreas: Ingeniería Civil y Materiales, Ingeniería Industrial, Ingeniería Electromecánica, Enseñanza, Ciencias Básicas y Ambiente. El evento contó con cuatro conferencias magistrales, tres seleccionadas por cada Departamento de Ingeniería y una relativa a la importancia de la Vigilancia Tecnológica. A su vez, el Foro brindó el marco para el desarrollo de un encuentro de debate entre los distintos actores del área, reflexionando acerca del camino que recorreremos, los objetivos reconocidos, los desafíos próximos y lejanos, afirmando los deseos de crecer en estas actividades que apasionan y nos empujan a seguir esas utopías, que nos comprometen con el bien común y el desarrollo territorial.

Tomando las palabras de Eduardo Galeano, tenemos el desafío de seguir caminando, creciendo cada día un poco más: **"La utopía está en el horizonte. Camino dos pasos, ella se aleja dos pasos y el horizonte se corre diez pasos más allá. ¿Entonces para qué sirve la utopía? Para eso, sirve para caminar".**

Felipe Vicente Genovese
Secretaría de Ciencia y Tecnología
UTN Facultad Regional San Rafael



Felipe Vicente Genovese
Secretaría de Ciencia y Tecnología
UTN Facultad Regional San Rafael

Prefacio

Disco Compartido

06	Conferencias Magistrales
08	Área Ingeniería Civil y Materiales Trabajos Completos y Comunicaciones
47	Área Ingeniería Industrial y Enseñanza Trabajos Completos y Comunicaciones
71	Área Ingeniería Electromecánica y Ciencias Básicas Trabajos Completos y Comunicacione
102	Área Ambiente Trabajos Completos y Comunicaciones



Áreas
Temáticas

Disco Compartido



"El futuro del ingeniero civil argentino".
Ing. Silvio Bressan



"El rol de la Generación Distribuida Renovable en la transición energética"
Ing. Maximiliano Morrone



"Estrategias de Desarrollo Económico local. Innovación y sostenibilidad"
Esp. Lic. Federico Morabito



"Proceso de Desarrollo de Ingeniería en Equipos Interdisciplinarios"
Ing. Juan Ramón De Miguel



"Vigilancia Tecnológica: herramienta para la toma de decisiones estratégicas en proyectos de investigación"
Esp. Marta Elena Plasencia

Conferencias Magistrales



*Área Ingeniería Civil y
Materiales*

Diseño basado por desplazamientos para el refuerzo de estructuras con disipadores histeréticos

Cristian Bay; Julián Prados; Carlos Martínez; Ricardo Bassotti
GEDEC - Facultad Regional San Rafael - UTN
cbay@frsr.utn.edu.ar

Resumen

En zonas de alta peligrosidad sísmica existen estructuras que pueden requerir un refuerzo estructural para mejorar su desempeño. Para estas construcciones son conveniente estrategias de refuerzo que demanden poco tiempo de materialización, para evitar que el edificio quede fuera de servicio por varios meses. Los sistemas de disipación pasiva de energía permiten cumplir con este requerimiento. Atento a la problemática planteada con los mismos, este trabajo tiene por objeto proponer una metodología de diseño basada en desplazamiento para la estructura existente reforzada con un sistema de disipación histerético, a los efectos de alcanzar un nivel de desempeño adecuado. La metodología se aplica a un edificio característico de la provincia de Mendoza de la década del 70. Además de describir el procedimiento de diseño, se implementa el mismo en la construcción mencionada. Posteriormente se valida el método propuesto mediante análisis dinámico no lineal según los requerimientos de la norma americana ASCE/SEI 7-16. Para la excitación sísmica se eligen dos grupos de siete registros representativos de la zona de emplazamiento, los cuales son escalados por ajuste de amplitudes y ajuste espectral. En base a la consideración de varios parámetros de respuesta se muestra la eficiencia del procedimiento de diseño propuesto.

Palabras Clave: Disipadores – Diseño por desplazamientos – Análisis dinámico no lineal.

1. Introducción

Un problema vigente en ingeniería sísmica es la vulnerabilidad de edificios existentes. Esta vulnerabilidad requiere de un refuerzo o rehabilitación estructural que permita a la estructura tener un desempeño adecuado, para lo cual existen diversos procedimientos. Tradicionalmente la incorporación de resistencia y rigidez se ha materializado mediante elementos de hormigón armado, acero, e incluso materiales compuestos [7]. Estas metodologías, en general, son de aplicación compleja y resultan invasivas en lo funcional. Además, implican la paralización de actividades durante largos periodos, que en el caso de edificios esenciales genera problemas de logística importantes [1]. Otros métodos están basados en nuevas tecnologías, como los sistemas de aislamiento sísmico y los sistemas de disipación pasiva de energía, los cuales permiten dar solución al refuerzo estructural en menos tiempo que los sistemas convencionales, y también, concentran el daño en estos elementos “fusibles” para luego ser reemplazados (en caso de ser necesario) con posterioridad a un evento sísmico [7].

Dentro de la práctica actual, se pueden emplear distintas metodologías para el diseño de estructuras con sistemas de disipación: (i) métodos de diseño basado en fuerzas (combinado con la verificación del objetivo de desplazamiento requerido, [2]); (ii) métodos basados en desplazamientos (donde el diseño comienza a partir de desplazamientos definidos [3-7]; y (iii) métodos basados en energía (poco difundidos en la práctica profesional).

Es importante destacar que, en las metodologías mencionadas existe una tendencia [8, 9] a aceptar preferentemente el análisis dinámico no lineal (ADNL) en el diseño con sistemas de disipación. Como esta clase de análisis requiere un tiempo de cálculo muy alto, resulta necesario contar con métodos de diseño simples y de bajo costo computacional, que permitan estimar las propiedades del sistema de disipación. Los métodos disponibles en la bibliografía presentan algoritmos complejos de aplicar [17, 18] expuestos en [1].

En base a la consideración anterior, el objeto de este trabajo es mostrar una aplicación del método propuesto [1, 7] en el refuerzo de un edificio de 6 niveles construido en la década del 70 en una zona de elevada peligrosidad sísmica.

En la sección siguiente se presenta un resumen del método de diseño. Luego, se aplica a un pórtico plano de hormigón armado (representativo de un edificio simétrico). Se muestran, además, los parámetros de respuesta (desplazamientos, distorsiones, y demandas de ductilidad) según un ADNL. Para realizar este análisis y establecer los criterios de aceptación se siguen las especificaciones de normas americanas [8, 9], considerando acelerogramas escalados al espectro de diseño y al espectro máximo considerado con el procedimiento de ajuste espectral. En la sección final de conclusiones se destacan las ventajas de diseñar el sistema de disipación con el método propuesto basado en desplazamientos para contrastar luego con un ADNL el desempeño requerido para la estructura reforzada.

2. Materiales y Métodos

El refuerzo estructural se plantea en un edificio en altura de seis niveles en hormigón armado, destinado a oficinas y departamentos, construcción característica de la década del 70 en la ciudad de Mendoza [1]. El edificio ha sido diseñado a cargas verticales dado que a la fecha de su concepción no se contaba con normativa sismorresistente vigente en la provincia. La regularidad del edificio en planta permitió realizar un análisis plano tal como se indica en la figura 1, donde también se indican las cargas y las secciones transversales de los elementos. Se utilizó un hormigón de resistencia 20 MPa y acero de refuerzo ADN420, típicos de Argentina.

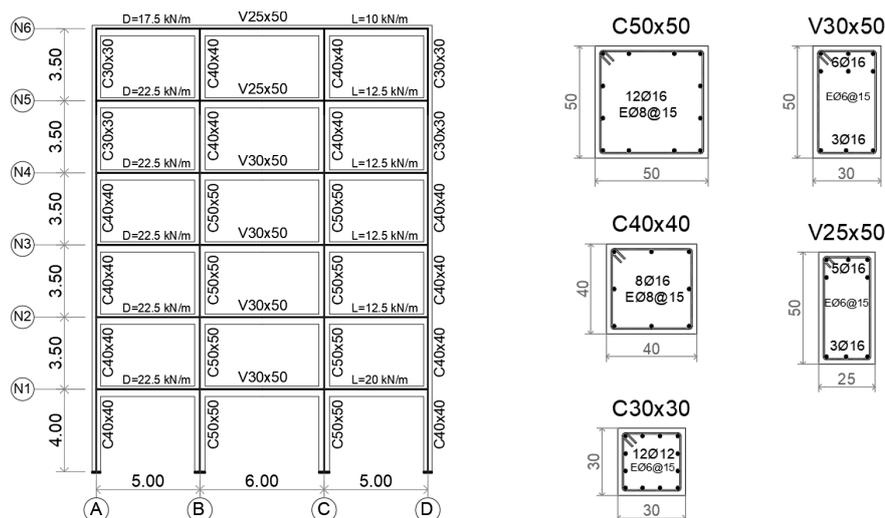


Fig.1. Elevación del pórtico analizado, cargas utilizadas y secciones de hormigón armado

Un análisis lineal elástico [10] determinó un periodo fundamental de vibración de 1,12 segundos. Resultando una estructura flexible para los requerimientos de normativa nacional [11]. Una estimación de la demanda sísmica actual [11], y un análisis estático no lineal (AENL) según normativa estadounidense [9] evidenció la falta de resistencia y rigidez de la estructura para responder ante las demandas sísmicas del sitio.

Para subsanar los problemas de resistencia y rigidez se podría plantear un incremento de secciones de hormigón armado, en columnas principalmente, el cual demandaría tiempos importantes de ejecución. Otra alternativa, es adicionar un sistema de disipación de energía que proporcione resistencia y rigidez a la estructura. Entonces, se propone un sistema histerético tipo barras de pandeo restringido (BPR) con el objeto de mejorar el desempeño (Fig. 2)

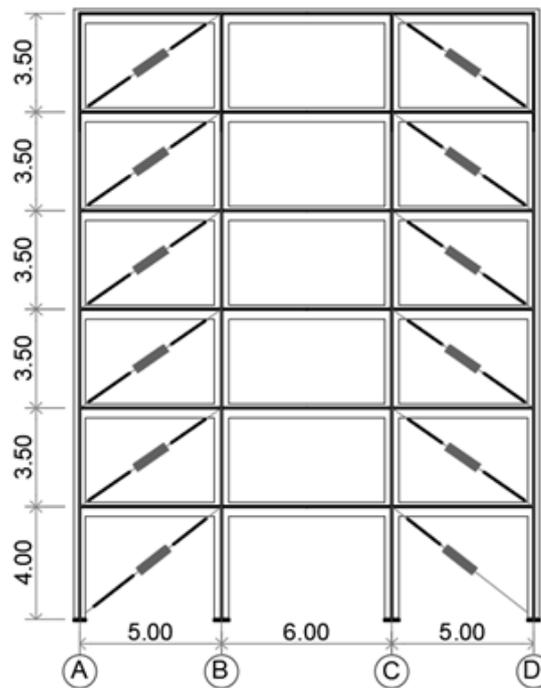


Fig.2. Disposición del sistema de disipación

El método de diseño propuesto [1], [7] sigue los lineamientos del diseño basado en desplazamientos propuesto originalmente por Priestley, *et al.* [12]. Como paso preliminar se caracteriza la estructura original mediante un AENL y se transforma en un sistema de un grado de libertad [13]. Luego se establece un desplazamiento objetivo máximo para el terremoto de diseño (TD) y terremoto máximo considerado (TMC) en función del desempeño esperado. En la figura 3 se muestra el diagrama de flujo del proceso completo del método de diseño [1].

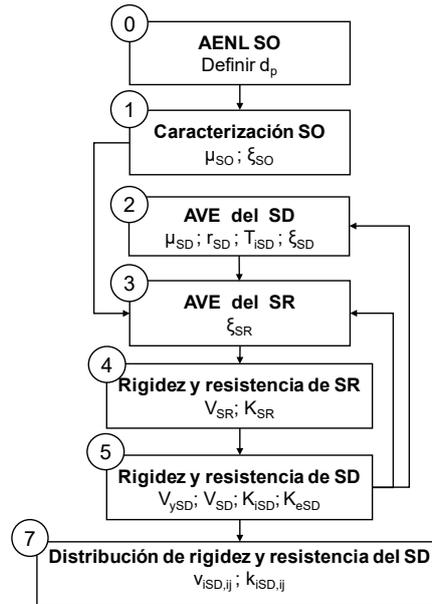


Fig.3. Diagrama de flujo del método propuesto

Para el edificio en estudio se adopta un desplazamiento de 11,20 cm para TD y 22,40 cm para TMC considerando un nivel de desempeño de ocupación inmediata para TD [14]. Esto permite determinar una relación de amortiguamiento viscoso equivalente (AVE), donde se recomienda utilizar las expresiones de Yan, *et al.* [15]. El sistema de disipación se caracteriza por la ductilidad de los disipadores, se consideran 10 para este ejemplo, y un factor de endurecimiento posterior a la fluencia, $r_{SD} = 0,05$. Para el AVE del SD se utiliza la expresión de Liu, *et al.* [16]. Caracterizados ambos sistemas, se determina el AVE del sistema en paralelo considerando el criterio de que las constantes de amortiguamiento se suman [1, 7]. Esto deriva en que el AVE del conjunto depende de los AVE y de los cortes basales de cada sistema. Dado el desconocimiento del corte basal del SD resulta en un método iterativo que con pocos pasos se logra la convergencia. Determinadas las propiedades del SD se distribuyen entre los distintos niveles en forma proporcional al primer modo de vibración (Tabla 1). Cabe destacar que en la literatura no se han encontrado métodos de diseño que apliquen este concepto [17, 5, 6].

Tabla 1. Propiedades y distribución de los disipadores

Propiedades de los Disipadores				
Nivel	Cantidad	Fuerza [kN]	Rigidez [kN/cm]	r_{SD}
6	2	71,6	819,34	0,05
5	2	155,0	1013,25	0,05
4	2	224,7	1469,19	0,05
3	2	281,1	1608,12	0,05
2	2	318,6	1715,93	0,05
1	2	354,0	2266,59	0,05

Para evaluar la eficiencia y confiabilidad del método de diseño propuesto se somete a la estructura reforzada a un ADNL. Para la simulación se utiliza un modelo de plasticidad concentrada mediante fibras. En el hormigón se utiliza un modelo de Mander (resistencia característica a compresión, $f'_c = 20$ MPa; y módulo de elasticidad, $E_c = 21090$ MPa) y en el acero de refuerzo un modelo bilineal simplificado ($F_y = 420$ MPa; $E_s = 200000$ MPa; $r = 0,05$), para las BPR se utiliza un modelo simplificado bilineal

sin degradación de rigidez con $r = 0,05$. En el rango elástico se considera un amortiguamiento de Rayleigh proporcional a la rigidez secante de 0,0035, que aporta un amortiguamiento del 1 %.

En el sitio donde se sitúa el edificio se pueden presentar terremotos corticales superficiales, con fallas diversas. Considerando que no se cuenta con mapas de fallas, ni con registros con aceleraciones mayores a 0,52 g, se seleccionaron registros de la base de datos del FEMA P695 [18] que cumplen con una magnitud superior a 6, PGA mayor a 0,30 g y PGV mayor a 30 cm/s [1]. Se presentan los dos grupos seleccionados, uno de falla lejana y otro de falla cercana no impulsivos, ambos grupos de registros son escalados por ajuste espectral [19], según los lineamientos del Capítulo 18 del ASCE-7 [8].

3. Resultados y Discusiones

La respuesta se obtiene aplicando integración directa, a través del método Hilber-Hughes-Taylor (con $\alpha = -0,1$, $\beta = 0,3025$, y $\gamma = 0,60$). El tiempo de solución para cada simulación fue de entre 10 minutos y 3 horas dependiendo de la no linealidad del modelo, principalmente. Es importante destacar que para todos los registros hubo convergencia.

En la figura 4 se presentan los resultados en máximos promedios de los 14 registros para desplazamientos, distorsiones de piso y demandas de ductilidades de las BPR. En términos de desplazamientos se observa que el SR para TD y TMC mantiene la forma del primer modo, en ambos casos se reducen los desplazamientos respecto del SO, y se obtiene un desplazamiento máximo promedio de 9,60 cm contra los 11,20 cm previstos en el diseño. En distorsiones máximas, principal parámetro para evaluar el daño en estructuras, se obtiene una distorsión máxima en el segundo nivel de 0,5 % y 1 % para TD y TMC, valores similares a los estimados en el diseño. Finalmente, en términos de demanda de ductilidad del SD se observa que para TD la demanda resulta de 8,37 y 16,61 para TD y TMC. Estos valores son inferiores a los supuestos en el diseño. No se presentan los resultados de cada uno de los 14 registros, pero el escalamiento por ajuste espectral presenta menores dispersiones en los resultados respecto del clásico ajuste por amplitudes, además requiere menor tiempo computacional para las simulaciones. Otro punto importante a destacar, es que no se ha considerado la excentricidad accidental de la masa, ASCE 7 (2016), en cuyo caso hubiese sido necesario agregar dos casos más de cargas, transformando las 14 simulaciones en 42. Finalmente, cabe mencionar que los resultados son similares a los encontrados en la bibliografía [20] con la ventaja de que el método es más fácil de aplicar para la práctica profesional.

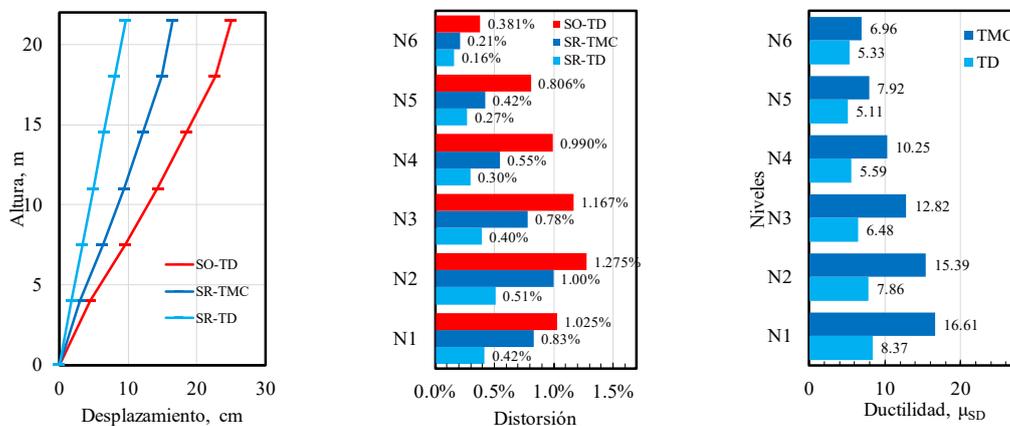


Fig.4. Demandas de ductilidad del SD promedios para registros TD y TMC

4. Conclusiones

En este trabajo se presentó la aplicación de un método de diseño propuesto para el refuerzo de estructuras existentes. El método se basa en los criterios del diseño por desplazamiento y permite considerar dos niveles de demanda sísmica. Parte de un análisis estático no lineal para caracterizar la estructura existente, y luego, mediante el concepto de amortiguamiento viscoso equivalente de sistemas en paralelo determina la cantidad de resistencia y rigidez a incorporar según el desplazamiento objetivo. Las propiedades del sistema de disipación se distribuyen entre los dispositivos de los distintos niveles, manteniendo la forma de vibrar del primer modo de la estructura original.

La confiabilidad del método aplicado se mostró mediante la aplicación del mismo al refuerzo de un edificio de hormigón armado de 6 niveles. El edificio se sometió a 4 grupos de 7 registros sísmicos. Encontrando que la diferencia entre el desplazamiento propuesto en el diseño y el obtenido del ADNL no superó el 10 %; mientras que las demandas de ductilidad del ADNL resultaron inferiores a las supuestas en el diseño. Por lo tanto, se ha conseguido un método de diseño del sistema de disipación para reforzar estructuras que cumple con los objetivos propuestos.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por el Proyecto de Investigación ECUTNSR0006616 y el Proyecto de Desarrollo y Tecnológico Orientado GERISI (Gestión del Riesgo Sísmico de edificios escolares).

Bibliografía

- [1] Bay, C., Palazzo, G. y Prados, J., (2019). Diseño basado en desplazamiento para disipadores de energía empleado en refuerzo de edificios escolares. *Mecánica Computacional XXXVII*, pp. 129-138.
- [2] Ponzio, F.C.; Dolce, M; Vigoriti, G.; Arleo, G.; Di Cesare, A.; (2009). *Progettazione di controventi dissipativi a comportamento dipendente dagli spostamenti*. Bologna, Italia, s.n.
- [3] Kim, J. y Choi, H., (2004). Behavior and design of structures with buckling-restrained braces. *Eng. Struct.*, pp. 26(6): 693-706.
- [4] Bergami, A. y Nutti, C., (2013). Design of dissipative braces for an existing strategic building with a pushover based procedure. *Earthquakes and Structures*, Vol. 4, No. 1 (2013) 85-108.
- [5] Mazza, F. y Vulcano, F., (2015). Displacement-based design procedure of damped braces for the seismic retrofitting of r.c. framed buildings. *Bulletin Earthquake Engineering*, p. (13):2121–2143.
- [6] Nuzzo, I., Losanno, D. y Caterino, N., (2019). Seismic design and retrofit of frame structures with hysteretic dampers: a simplified displacement based procedure. *Bulletin of Earthquake Engineering*, Volumen 17, p. 2787–2819.
- [7] Bay, C. y Palazzo, G., (2020). Displacement based design procedure for the retrofitting structure with hysteretic damped braces. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*. Vol. 25, Número 4 (285-305).

- [8] ASCE 7, (2016). "Minimum design loads for buildings and other structures", Reston, Virginia, EEUU: American Society of Civil Engineers.
- [9] ASCE 41, (2017). Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings, USA: American Society of Civil Engineers.
- [10] ETABS, (2015). Integrated Building Design Software Version 18. Computers and Structures CSI.
- [11] INPRES-CIRSOC 103-I, (2013). Reglamento argentino para construcciones sismorresistente. Construcciones en general. Instituto Nacional de Tecnología Industrial. Bs. As.: INTI.
- [12] Priestley, M., Kowalsky, M. y Calvi, M., (2007). Displacement based seismic design of structure. Pavia, Italia(Pavia): IUSS Press.
- [13] Fajfar, P., (2000). A nonlinear analysis method for performance based seismic design. Earthquake Spectra, p. 16(3):573–592.
- [14] FEMA-273. (1997). NEHRP guidelines for the seismic rehabilitation of buildings. Washington: Federal Emergency Management Agency Publication.
- [15] Yan, L., Gon, J. y Zhang, Q., (2018). Investigation of Global Equivalent Damping and Statistical Relationship of Displacement Between Nonlinear Static and Dynamic Analysis of Reinforced Concrete Frame Structures. Earthquake Spectra, pp. (34):1311-1338.
- [16] Liu, T., Zordan, T., Briseghella, B. y Zhang, Q., (2014). An improved equivalent linear model of seismic isolation system with bilinear behavior. Engineering Structures, pp. 61, 113-126.
- [17] Mazza, F. y Vulcano, A., (2008). Displacement-based seismic design procedure for framed buildings with dissipative braces. (a) Part I: Theoretical formulation; (b) Part II: Numerical results. USA, American Institute of Physics conference proceedings, p. Part Two.
- [18] FEMA-P695, (2009). Quantification of building seismic performance factors, Washington: Federal Emergency Management Agency Publication.
- [19] Abrahamson, N. (1992). Non- Non-stationary spectral matching. Seismological Research Letters, 63(1), p. 30.
- [20] Martínez, C., Curadelli, O. y Compagnoni, E. (2014). Optimal placement of nonlinear hysteretic dampers on planar structures under seismic excitation. Engineering Structures, 66, pp. 81-98.

Propiedades mecánicas de madera aserrada de álamo *Populus x canadensis* Conti 12

Ricardo Bassotti; Cristian Balastegui; Nicolás Cortizo; Cristian Bay
Grupo GEDEC, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Rafael
rbassotti@frsr.utn.edu.ar

Resumen

Uno de los géneros forestales de mayor relevancia implantados en la provincia de Mendoza es el *Populus* y en particular uno de sus clones el *Populus x canadensis* 'conti 12', por sus características de desarrollo y sanidad respecto del ataque de plagas. El uso como materia prima para la elaboración de sistemas estructurales (secciones aserradas o madera laminada encolada), despierta gran interés para la incorporación de valor agregado al producto obtenido de la tala. Se realiza un trabajo de investigación con el objetivo de determinar las propiedades mecánicas como el Módulo Resistente a Flexión (MOR) y el Módulo de Elasticidad Global (MOE) y la densidad de madera aserrada del clon indicado, siguiendo los requerimientos establecidos en las Normas IRAM 9663 y 9664. Se presentan los resultados obtenidos de MOR, MOE y densidad de ensayos a flexión realizados en tablas y alfajías, de material proveniente de plantaciones próximas a la ciudad de Tunuyán, todos ubicados en el oasis irrigado centro de la provincia de Mendoza.

Palabras Clave: conti 12 – madera aserrada – MOR – MOE – densidad

5. Introducción

El álamo es una de las especies forestales de mayor importancia en la provincia de Mendoza, que ocupa más del 90 % de los bosques cultivados y luego los eucaliptos que representan alrededor del 5 %, según la información técnica aportada por los profesionales de la Región Cuyo Forestal [1].

El uso que se da a las variedades forestales de álamo implantadas es variado y entre los industriales se destacan los de madera triturada para la realización de tableros aglomerados, madera debobinada para la elaboración de contrachapados, embalajes livianos, fósforos y palitos para helado y la madera aserrada utilizada para carpintería, cajonería, lápices, y en mucho menor medida para revestimientos machihembrados y secciones macizas y laminadas para uso estructural.

La aprobación del Reglamento CIRSOC 601 de estructuras de madera en el año 2013 y su posterior actualización del año 2016 [2], para el proyecto y la construcción de obras públicas de carácter nacional cualquiera sea su forma de contratación y de ejecución, por parte de la Secretaría de Obras Públicas dependiente del Ministerio del Interior, Obras Públicas y Viviendas de la Nación, exige el estudio de las propiedades físicas y mecánicas de las distintas especies forestales del territorio nacional, para ser utilizadas en la construcción de estructuras de madera, tanto con secciones aserradas como utilizando secciones realizadas con madera laminada encolada.

En la actualidad se ha logrado la caracterización física y mecánica de las especies forestales Pino paraná, Eucalipto grandis y Pino taeda y elliotii, *Populus deltoides* 'Australiano 129/60' y

'Stoneville 67' que han permitido la redacción de las Normas IRAM 9662-1/2/3/4 [3-6] y recientemente se ha publicado el Suplemento del reglamento CIRSOC 601-2016 – Edición 2020-1 [7], en el cual se incorporan los valores de diseño de referencia del *Pinus ponderosa* Douglas ex Lawson (pino ponderosa).

En los oasis norte, centro y sur de la provincia de Mendoza, se ha promovido la plantación de bosques de la variedad *Populus x canadensis* 'conti 12' [8], por sus características referidas a la velocidad de crecimiento y sanidad respecto del ataque de plagas. Existen muchos estudios realizados referidos a este clon [9-11], pero se hace necesario poder obtener las propiedades físicas y mecánicas de secciones aserradas de dimensiones reales de uso, para poder caracterizar la misma para su aplicación en estructuras.

Se desarrolla un trabajo de investigación en el grupo GEDEC del Departamento de Ingeniería Civil de la Facultad Regional San Rafael de la Universidad Tecnológica Nacional, orientado específicamente a la especie forestal 'conti 12', con el objetivo de determinar las propiedades mecánicas y la densidad, valores de interés desde el punto de vista estructural.

Se presentan resultados del Módulo Resistente a Flexión (MOR), el Módulo de Elasticidad Global (MOE) y la Densidad, y las relaciones existentes entre los mismos, como así también una serie de perfiles que muestran las variaciones en los valores de las variables detalladas anteriormente.

6. Materiales y Métodos

Las muestras por ensayar se han obtenido de la tala de cuatro árboles con la siguiente localización geográfica: dos árboles de una finca localizada en la zona denominada Capiz, en el departamento de San Carlos y los otros dos en otra finca de la zona denominada La Primavera, del departamento de Tunuyán. Los árboles presentaron presencia de poda hasta los 8 m de altura y un diámetro a la altura de pecho (DAP) promedio de 30 cm, con una edad entre 10 y 12 años. El peso promedio de cada árbol resultó de 700 kg.

Las trozas de 2,4 m de longitud fueron aserradas en tablas y alfajías de las siguientes dimensiones transversales, nominales y reales: 1" x 4" nominal (25 mm x 96 mm, promedio real), y 1" x 5" nominal (25 mm x 119 mm, promedio real), en forma de tablas y 2" x 4" nominal (50 mm x 87 mm, promedio real), en forma de alfajías. Se presentan en la Tabla 1, las cantidades obtenidas de cada una de las tipologías detalladas anteriormente.

Tabla 1. Cantidades de secciones aserradas

TIPOLOGÍA	CANTIDAD
SECCIÓN 1"X 4"	58
SECCIÓN 1"X 5"	68
SECCIÓN 2"X 4"	53
TOTAL	179

La madera aserrada se trasladó posteriormente al Laboratorio de Estructuras de la Facultad Regional San Rafael de la Universidad Tecnológica Nacional, ubicado en la ciudad de San Rafael y se estibó en dicho lugar a los efectos de terminar el proceso de secado natural hasta alcanzar la humedad de equilibrio y proceder a la realización de los ensayos.

Los ensayos se realizan siguiendo las directivas establecidas en las normas IRAM 9664 – Madera Estructural – Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad [12] e IRAM 9663 – Estructuras de Madera – Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural – Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas [13].

Previo a la realización de los ensayos a flexión de las probetas, que se realizan hasta alcanzar la rotura, se caracteriza cada una de ellas, realizando una serie de mediciones y determinaciones, siendo las más significativas las correspondientes a la medición de la sección transversal promedio, la observación de la presencia o no de médula y la medición de la ubicación y las dimensiones de los nudos, a fin de determinar la nudosidad.

En los nudos individuales, se calcula el valor que se define como nudosidad, como el cociente entre la medida del nudo mayor y el ancho de la superficie en la cual se manifiesta. La medida del nudo se expresa como la distancia entre las tangentes a él que sean paralelas al eje de la pieza. Si un mismo nudo se manifiesta en distintas superficies de la pieza, la nudosidad se calcula en forma independiente en cada una de ellas. En los nudos de arista, la nudosidad se expresa como el menor valor de los correspondientes a las dos superficies donde se manifiesta, según lo establecido en cualquiera de las series de la Norma IRAM 9662.

La determinación de la resistencia a flexión (MOR) se realiza para cada una de las probetas y posteriormente se realiza un ajuste para una altura de referencia de 150 mm, según se establece en la norma IRAM 9664. Los valores obtenidos no deben ser corregidos por el contenido de humedad.

La probeta se debe cargar en flexión sobre dos puntos simétricos separados una distancia igual a 6 veces la altura, en los tercios centrales, con una longitud total entre apoyos igual a 18 veces la altura. La probeta debe quedar simplemente apoyada y la carga se debe aplicar con una velocidad constante de avance del cabezal de carga. El tiempo total del ensayo debe estar comprendido entre 3 y 7 minutos. En el caso de las tablas, la longitud total de las mismas es de 500 mm y en las alfajías se usa la longitud total aserrada.

Para la determinación del módulo de elasticidad global (MOE), se realiza la medición de la deformación en el centro de la luz y en el centro del borde traccionado, durante la realización del ensayo de flexión. El equipo de medición se retira una vez que la carga alcance el valor de 0,4 de la carga máxima estimada.

Se corrigen los valores del módulo de elasticidad, según lo establecido en la norma IRAM 9664. Las probetas cuyo contenido de humedad esté comprendido entre el 8 % y el 18 % deben ajustarse al 12 %. Las probetas cuyo contenido de humedad sean mayor del 18 % deben corregirse desde un contenido de humedad del 18 % y no desde su contenido de humedad real. Para el módulo de elasticidad la corrección será del 1 % por cada variación del 1 % del contenido de humedad. Las correcciones deben realizarse de forma que las propiedades aumenten su valor si los datos se corrigen desde un contenido de humedad mayor y viceversa.

La determinación de la densidad se realiza para cada una de las probetas, utilizando un trozo que se extrae de la misma una vez ensayada y próximo al tramo central. Luego se realiza una corrección en función del contenido de humedad y según lo especificado en la norma IRAM 9664, que establece que cuando el contenido de humedad sea menor del 12 % la densidad debe aumentarse un 0,5 % por cada 1 % de variación del contenido de humedad y viceversa.

7. Resultados y Discusiones

Se presentan los resultados obtenidos de MOR, MOE y Densidad, de tablas y alfajías, disponiendo en el equipo de ensayo, en el caso de las tablas la dimensión mayor en forma horizontal y en el caso de las alfajías el canto menor en forma horizontal.

Se incluyen los valores mínimo, medio y máximo, corregidos, la desviación estándar, el coeficiente de variación (COV) y el valor del percentil 5 % (P5 %), de las distintas muestras. En la Tabla 2 se incluyen los resultados de las 179 probetas.

Tabla 2. Propiedades mecánicas y densidad de las muestras

	MOR	MOE	DENSIDAD
	N/mm ²	N/mm ²	kg/m ³
Mínimo	16.05	4700	339
Medio	38.41	8797	387
Máximo	60.98	15139	466
Desviación	9.46	1493	29
COV	0.25	0.17	0.07
Percentil 5%	22.95	6475	347

Se presentan en la Figura 1 la relación entre la resistencia a flexión y el módulo de elasticidad global en flexión y la resistencia a flexión y la densidad.

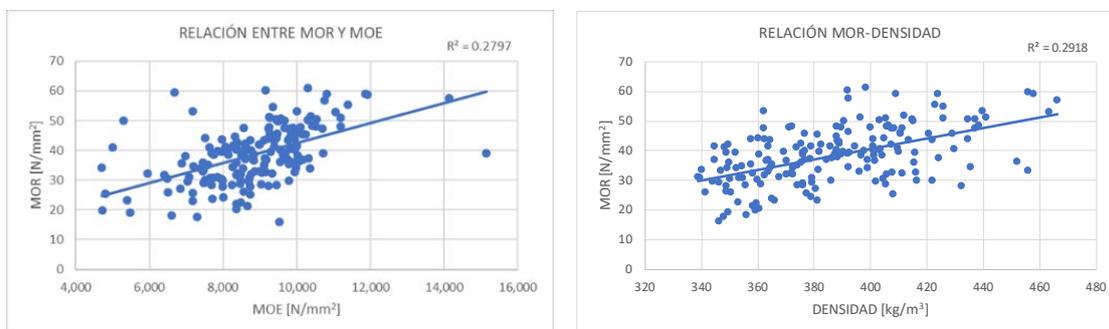


Fig. 1. Relación entre las variables MOR-MOE y MOR-Densidad

Se aprecia que el valor de la resistencia en flexión aumenta a medida que aumenta el módulo de elasticidad en flexión, situación común a los ensayos realizados con otros clones de madera de álamo, efectuados anteriormente y lo mismo sucede con los valores de la densidad.

Se presenta en la Figura 2 la relación entre el MOE y la densidad y el MOR y la nudosidad. Se aprecia que el valor del MOE aumenta a medida que aumenta la densidad, y el MOR disminuye al aumentar los valores de la nudosidad.

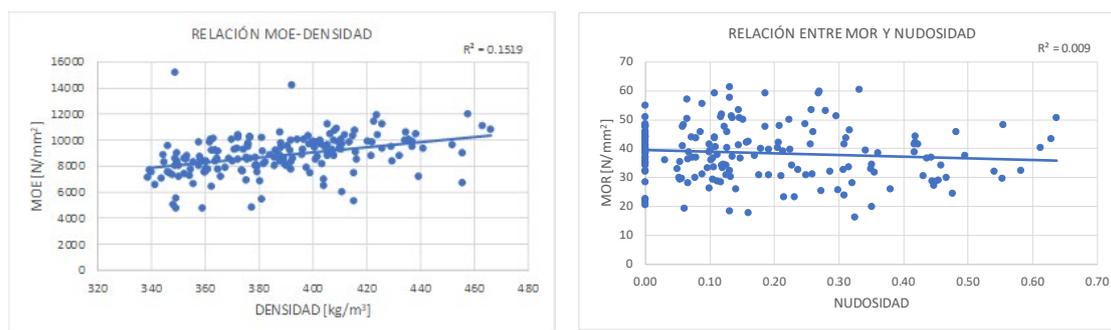


Fig. 2. Relación entre las variables MOE-Densidad y MOR- Nudosidad

Se determina el contenido de humedad de cada una de las muestras ensayadas según lo establecido en la Norma IRAM 9532 – Maderas – Método de determinación de la humedad [14]. El valor promedio del contenido de humedad resulta de 9,5 %, para todas las muestras.

En la Tabla 3 se presenta la nudosidad acumulada para todas las muestras divididas en seis segmentos. Se puede apreciar que el 83 % de las muestras presentan una nudosidad inferior a $K = 1/3$ y el 100 % presenta una nudosidad inferior a $K = 2/3$. Además, casi la totalidad de muestras presentan una nudosidad $K = 1/2$. La nudosidad promedio resulto de $K = 0,17$.

Tabla 3. Nudosidad acumulada

		Nudosidad K					
		1/6	1/3	1/2	2/3	5/6	1
Nudosidad n	108	148	172	179	179	179	
acumulada %	60%	83%	96%	100%	100%	100%	

Se analizan 7 perfiles de clasificación visual resistente. Se utilizan como límites de clasificación la presencia de médula y la nudosidad.

Tabla 4. Perfiles de resistencia, rigidez y densidad

Perfiles	f_m	$f_{m,05}$	$E_{m,g}$	ρ_m	ρ_{05}	Cantidad		
	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	kg/m ³	kg/m ³	n	%	
1 Todos	38.41	22.95	8797	387	347	179	100	
2 SM	38.55	23.01	8886	386	347	143	80	
	AM	37.88	23.12	8444	394	346	36	20
3 AM; K<1/3	39.08	22.70	8808	388	346	148	83	
	AM; K<2/3	35.23	24.99	8745	383	350	31	17
4 SM; K<1/3	38.75	22.66	8877	386	347	126	70	
	AM; K<2/3	37.61	24.99	8609	390	349	53	30
5 SM; K<1/4	38.71	22.86	8863	386	348	115	64	
	AM; K<1/2	37.69	22.88	8597	389	346	57	32
	Descarte	39.38	30.24	9352	393	363	7	4
6 AM; K<1/4	38.93	22.70	8827	387	347	128	72	
	AM; K<1/2	36.76	23.75	8622	389	347	44	25
7 Descarte	39.38	30.24	9352	393	363	7	4	
	SM; K<1/2	38.44	23.00	8866	386	347	141	79
AM; K<3/4	38.29	23.57	8541	394	347	38	21	

f_m : valor medio de la resistencia a flexión. $f_{m,05}$: percentil 5 % de la resistencia a flexión. $E_{m,g}$: valor medio del módulo de elasticidad global. ρ_m : valor medio de la densidad. ρ_{05} : percentil 5 % de la densidad. n: cantidad. SM: sin médula. AM: admite médula. K: nudosidad.

Para el MOR se presenta el valor medio y el percentil 5 %, para el MOE el valor medio y para la densidad el valor medio y el percentil 5 %. En la Tabla 4 se observan los valores de resistencia, rigidez y densidad, para los siete perfiles de clasificación estudiados.

Del análisis de los diferentes perfiles se puede apreciar que analizando en primer lugar el valor de la resistencia flexión, en el caso del perfil 1 se puede considerar con mucha razonabilidad que el valor medio es de 38,4 N/mm² y el valor del percentil 5 % es de 23 N/mm². La comparación con los valores del perfil 2, no permite inferir ninguna variación entre las probetas con médula y sin médula.

Del análisis de los perfiles 3 y 4 que tienen en cuenta los valores de nudosidad K y la presencia o no de médula, en el caso de los valores medios de la resistencia, son mayores en un 11 % para la nudosidad menor en el perfil 3 y un 3 % en el perfil 4. Pero al evaluar la misma condición para el percentil 5 % del valor de resistencia, la relación se invierte, siendo mayores los valores de resistencia de la nudosidad más grande, en ambos casos en un 10 %. Esta distorsión debe ser consecuencia de los valores de la nudosidad detallados anteriormente, que concentran prácticamente todas las probetas en valores de nudosidad menores a 1/2.

El análisis de esos dos perfiles muestra que los valores del percentil 5 % del módulo resistente es similar en las dos situaciones y por lo tanto tener en cuenta la presencia de médula o no para el valor de nudosidad $k < 1/3$ no produce ninguna modificación significativa en los resultados.

En el caso de los perfiles 5, 6 y 7, la variabilidad de resultados es tan escasa que no puede apreciarse una diferencia significativa al cambiar la nudosidad y la presencia o no de médula, siendo los valores prácticamente iguales a los obtenidos para todas las probetas.

Para el MOE medio, podemos considerar un valor de 8800 N/mm² para todas las probetas. Analizando los valores obtenidos para los diferentes perfiles y además para las distintas variaciones de nudosidad y presencia de médula, las diferencias más grandes alcanzan valores del 5 %, variación no significativa.

En referencia a los valores de densidad se puede apreciar que para todos los perfiles podrían adoptarse valores medios de 390 kg/m³ y de 350 kg/m³ del percentil 5 %, debido a la escasa variabilidad existente entre los mismos.

Los resultados obtenidos permiten obtener una caracterización de propiedades mecánicas y densidad de una muestra caracterizada por su procedencia y cantidad y además con un sesgo muy marcado de calidad que podríamos considerar Clase 1, haciendo una analogía con las propiedades incluidas en normas de las otras especies forestales mencionadas anteriormente.

Se presenta en la Tabla 5 una comparación de resultados con los obtenidos de ensayos realizados a *Populus deltoides* Australiano 129/60 y Stoneville 67, implantados en el noroeste de la provincia de Buenos Aires [15].

Tabla 5. Comparación de valores para Australiano 129/60-Stoneville 67 vs. Conti 12

CLON	MOR [N/mm ²]		MOE [N/mm ²]	DENSIDAD [kg/m ³]	
	MEDIO	PERC. 5%	MEDIO	MEDIA	PERC. 5%
Australiano 129/60 y Stoneville 67	39,8	26,2	10.912	461	406
Conti 12	38,4	23,0	8.800	387	347

8. Conclusiones

Se presentan los resultados de ensayo a flexión de una serie de 179 probetas de *Populus x canadensis* 'conti 12', de secciones transversales nominales 1" x 4", 1" x 5" y 2" x 4", obtenidas del aserrado de cuatro árboles implantados en el oasis centro de la provincia de Mendoza, en fincas cercanas a la ciudad de Tunuyán. La procedencia de las plantas que garantizan la tipología de la especie forestal ha sido realizada por profesionales de la Dirección Nacional de Desarrollo Foresto Industrial de la Secretaría de Agroindustria de la Nación.

Se determinan el valor medio y el correspondiente al percentil 5 de la resistencia a flexión, MOR, corregido a una altura de referencia de 150 mm, el valor medio del módulo de elasticidad en flexión, MOE, corregido en relación con el contenido de humedad y el valor medio y el del percentil 5 de la densidad, corregido también en relación con el contenido de humedad.

Los valores del MOR para todas las probetas resultan de 38,41 N/mm² para el valor medio y de 22,95 N/mm² para el valor del percentil 5 %.

El valor medio del MOE global corregido resulta de 8797 N/mm² para todas las probetas, y la variación del mismo entre los distintos perfiles y las diversas opciones consideradas en cada perfil, sin tener en cuenta los valores del descarte, es de un 5 %, que permite suponer un valor único para todos los casos, que podría adoptarse en 8800 N/mm².

Los valores de Densidad corregidos alcanzan un valor de 387 kg/m³ para el valor medio y 347 kg/m³ para el valor del percentil 5 %. Las diferencias de los valores obtenidos para cada una de las opciones de los diferentes perfiles, con un valor máximo de 2 %, permiten considerar valores únicos aceptables de densidad media de 390 kg/m³ y para el percentil 5 % un valor único aceptable de 350 kg/m³.

Se aprecia el aumento del valor del MOR al aumentar el valor del MOE, como así también el aumento del valor del MOR al aumentar el valor de la Densidad.

Respecto de la nudosidad, el aumento de esta presenta una tendencia a la disminución del valor del MOR.

El 96 % de las probetas corresponden a una clasificación visual con valor de nudosidad $K \leq 1/2$ y el 83 % un valor de nudosidad $K \leq 1/3$.

Se analizan una serie de perfiles de clasificación visual resistente y como resultado de estos no se puede obtener una clara diferenciación en los valores de las variables mecánicas y la densidad, que permitan definir una clase superior y una inferior, teniendo en cuenta la variación de la nudosidad y la presencia de médula.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por el Proyecto de Investigación ECUTISR0005225TC. Los autores agradecen a la Universidad Tecnológica Nacional por el soporte de financiamiento necesario para acceder al equipamiento y el apoyo para la realización del proyecto de investigación.

Al personal técnico y profesional de la Dirección Nacional de Desarrollo Foresto Industrial de la Secretaría de Agroindustria de la Nación, en particular a la Ing. Agr. Natalia Naves.

Los autores desean expresar su agradecimiento a los alumnos becarios de Ingeniería Civil, Florencia Prósperi, Adelina Serrano y Fernando Barrionuevo, por su colaboración en la faz experimental y el procesamiento de la información, que hicieron posible el desarrollo experimental del proyecto.

Bibliografía

[1] Región Cuyo Forestal – Recuperado de: <http://regioncuyoforestal.blogspot.com/p/informacion-tecnica.html>.

[2] Reglamento CIRSOC 601 – Reglamento Argentino de Estructuras de Madera. Instituto Nacional de Tecnología Industrial – INTI – Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles – CIRSOC. 2016.

[3] Norma IRAM 9662-1. Madera laminada encolada estructural. Clasificación visual de las tablas por resistencia. Parte 1: Tablas de pino Paraná (*Araucaria angustifolia*). Instituto Argentino de Normalización y Certificación. 2015.

[4] Norma IRAM 9662-2. Madera laminada encolada estructural. Clasificación visual de las tablas por resistencia. Parte 2: Tablas de eucalipto (*Eucalyptus grandis*). Instituto Argentino de Normalización y Certificación. 2015.

[5] Norma IRAM 9662-3. Madera laminada encolada estructural. Clasificación visual de las tablas por resistencia. Parte 3: Tablas de pino taeda y ellioti (*Pinus taeda* y *elliottii*). Instituto Argentino de Normalización y Certificación. 2015.

[6] Norma IRAM 9662-4. Madera laminada encolada estructural. Clasificación visual de las tablas por resistencia. Parte 4: Tablas de álamo (*Populus deltoides* 'Australiano 129/60' y 'Stoneville 67'). Instituto Argentino de Normalización y Certificación. 2015.

[7] Reglamento CIRSOC 601 – Suplementos del Reglamento Argentino de Estructuras de Madera CIRSOC 601 – 2016, Edición 2020-1. Instituto Nacional de Tecnología Industrial – INTI – Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles – CIRSOC. 2020.

[8] Calderón, Alberto Daniel – Forestación con álamos para la obtención de madera de calidad. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad nacional de Cuyo. Recuperado de: <https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=ZGVmYXVsdGRvbWFpbnpbmZvcmlhY2lvcmlhZGFsY3V5b3xneDo2MWJlNjc2MTkzYjZlOGIx>.

- [9] Barotto, J., Palazzini, A., Marquina, J., 'Modelos Altura Total – Diámetro a la Altura del Pecho en *Populus x canadensis* "conti 12" creciendo en 5 diferentes marcos de plantación, Jornadas de Salicáceas 2014, 18 al 21 de marzo de 2014, La Plata, República Argentina.
- [10] Davel, M., Arquero, D., 'Efecto de la intensidad de poda sobre el crecimiento y la formación de rebrotes en plantaciones de *Populus x canadensis* 'conti 12' e 'l-214' en el Valle del Río Negro', Jornadas de Salicáceas 2014, 18 al 21 de marzo de 2014, La Plata, República Argentina.
- [11] Marquina, J., Barotto, J., Palazzini, D., '*Populus x canadensis* 'conti 12' y *Populus deltoides* "Stoneville 66", creciendo en 5 diferentes marcos de plantación', Jornadas de Salicáceas 2014, 18 al 21 de marzo de 2014, La Plata, República Argentina.
- [12] Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (2013). Norma IRAM 9664. Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad.
- [13] Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (2013). Norma IRAM 9663. Estructuras de madera. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas.
- [14] Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (1963). Norma IRAM 9532. Maderas. Método de determinación de la humedad.
- [15] Filippetti, María C.; Guillaumet, Alfredo A.; Tortoriello, Miguel; Mossre, César A. (2017) Potencial uso estructural de la madera *Populus deltoides* cultivado en el noroeste de la provincia de Buenos Aires. CLEM+CIMAD 2017. Recuperado de <https://clem-cimad2017.unnoba.edu.ar/papers/T3-19.pdf>

Planilla electrónica para el diseño y determinación de capacidad resistente de uniones de madera tipo clavijas según el CIRSOC 601

Augusto Jofré; Esteban Hernández; Fernando Quiroga; Gonzalo Ramos; Ricardo Bassotti
Grupo GEDEC, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Rafael
rbassotti@frsr.utn.edu.ar

Resumen

El uso de la madera para la construcción de diferentes tipos de estructuras se debe a diversos factores entre los cuales se puede mencionar la estética, la facilidad y rapidez de ejecución, el menor peso de las estructuras, buen desempeño térmico y acústico, uso de poca energía para la producción, transporte e instalación, y retiene CO₂ durante todo su ciclo de vida. Para el diseño y cálculo es imprescindible contar con los datos de las propiedades físicas y mecánicas de las distintas especies de madera, y seguir las prescripciones establecidas en los reglamentos redactados para tal fin. Se presentan los resultados preliminares del desarrollo de una planilla electrónica para el diseño de uniones mecánicas de madera, basada en el Reglamento Argentino de Estructuras de Maderas, CIRSOC 601, Capítulo 8, en el cual se especifican los aspectos principales para el diseño y cálculo de uniones mecánicas de madera con distintos elementos de fijación. La finalidad de la misma es que pueda ser utilizada para la verificación de la resistencia de las uniones, en principio con fines didácticos, con el propósito de agilizar los cálculos que en general resultan engorrosos debido a las propias características del proceso de diseño.

Palabras Clave: cálculo de uniones – CIRSOC 601 – planilla electrónica – resistencia

1. Introducción

Uno de los problemas que se plantean al momento de diseñar una unión de madera cualquiera sea su tipo, es el elevado número de parámetros, características y consideraciones que se deben tener en cuenta para poder llegar a estimar con determinado nivel de seguridad, la resistencia que presentará esta unión en estado de servicio.

En el siguiente trabajo de investigación se presentan las actividades desarrolladas y resultados obtenidos al desarrollar una planilla electrónica a partir de la cual se puedan diseñar de manera rápida y efectiva, uniones *en miembros estructurales de madera*, basadas en el Reglamento Argentino de Estructuras de Maderas, CIRSOC 601, Capítulo 8 [1]. Este Reglamento define los métodos y disposiciones generales a emplear en el diseño y construcción de estructuras para edificaciones y obras civiles con madera aserrada, madera laminada encolada y productos derivados de la madera; particularmente en el Capítulo 8 se describen los aspectos de diseño y cálculo de resistencia lateral de uniones para distintos elementos de fijación.

Dado que el proceso, interpretación y cálculo de parámetros que hay que tener en cuenta es bastante extenso, los objetivos que pretenden abordarse con esta herramienta son:

- Determinar de forma rápida y confiable la resistencia lateral de una unión preestablecida
- Evaluar la conveniencia de distintas alternativas analizadas

- Conocer cómo podría materializarse la ubicación de los elementos de unión (diseño geométrico)

2. Materiales y Métodos

Para poder alcanzar los objetivos preestablecidos, se procedió a la elaboración de una planilla electrónica, la cual ya tiene incorporados todos los aspectos que el reglamento establece, así como también todas las limitaciones y variantes que intervienen en el problema analizado.

Primeramente, debe tenerse en cuenta que, para poder definir la resistencia lateral de una unión cualquiera, el reglamento establece que se generaran determinados modos de falla los cuales tienen asociados niveles distintos de resistencia. Cada uno de estos niveles de resistencia o modos pueden determinarse a partir de expresiones las cuales incluyen aspectos relacionados con la madera a utilizar, sus dimensiones y los elementos de unión a utilizar. Con estas expresiones podemos determinar la resistencia lateral de referencia para cada modo y por último aplicar coeficientes de reducción de resistencia para definir la resistencia lateral ajustada de la unión que quiere diseñarse. Por último, cabe aclarar que este reglamento provee requerimientos para el diseño estructural empleando el formato de tensiones admisibles.

A continuación, se detalla la secuencia que se debe realizar para definir las características de la unión, las consideraciones que deben tenerse en cuenta y por último cómo analizar los resultados obtenidos.

Las características y parámetros más importantes para definir en el diseño de la unión fueron separados en 3 grandes grupos, los cuales son:

- Características mecánicas de elementos a unir
- Características geométricas de elementos a unir y cantidad de elementos de unión (clavijas, bulones)
- Condiciones de trabajo (dirección y duración de la carga, humedad y temperatura)

Estos tres grupos pueden observarse en la Figura 1.

DISEÑO DE UNIONES									
MATERIAL		GEOMETRIA DE LA SECCION				CONDICIONES DE TRABAJO			
CARACTERÍSTICAS		ELEMENTO PRINCIPAL		ELEMENTO SECUNDARIO		ELEMENTO DE UNIÓN		CONDICIONES DE TRABAJO	
Origen elemento principal	Pino Paraná (Araucaria angustifolia)	Ancho [mm]	100	Ancho [mm]	100	D [mm]	5	DIRECCION DE LA CARGA RESPECTO A LAS FIBRAS DEL ELEMENTO PRINCIPAL	Paralela
Origen elemento secundario	Pino Paraná (Araucaria angustifolia)	Espesor [mm]	50,8	Espesor [mm]	38,1	L [mm]	137,5	DIRECCION DE LA CARGA RESPECTO A LAS FIBRAS DEL ELEMENTO LATERAL	Paralela
Clase elemento principal	1	lm [mm]	50,8	ls [mm]	38,1	S [mm]	15	DURACION DE CARGA	Permanente 0,9 Cd
Clase elemento secundario	1					N°	6	HUMEDAD AL CONSTRUIR	>19% 0,70 Cu
Gravedad especifica principal [G]	0,43					Preperforado	No	HUMEDAD DURANTE VIDA ÚTIL	>19% 1,00 Ct
Gravedad especifica lateral [G]	0,43							TEMPERATURA	30 1,00 Cg
								FACTOR DE GRUPO	1,00 Cg

Fig. 1. Grupos de características y condiciones que definen la resistencia de la unión

Se detalla a continuación cada uno de ellos.

2.1. Material - Características mecánicas de elementos a unir

Uno de los factores que definen la resistencia de la unión es el tipo de madera a utilizar, y las características que esta posea.

Para esto se tiene en cuenta las propiedades de las especies disponibles en la planilla, las cuales son:

- Pino Paraná (Araucaria angustifolia)
- Eucalipto (Eucalyptus Grandis)

- Pino Taeda y Elliotti (Pinus Taeda y Elliottii)

Se presenta en la Figura 2 las opciones de elección del tipo de madera empleada en la unión, según la propuesta de la planilla electrónica.

MATERIAL	
CARACTERÍSTICAS	
Origen elemento principal	Pino Paraná (Araucaria angustifolia)
Origen elemento secundario	Pino Paraná (Araucaria angustifolia)
Clase elemento principal	1
Clase elemento secundario	1

Fig. 2. Definición de madera a utilizar en la planilla y características generales

En este apartado el encargado del diseño deberá tener en cuenta la calidad tanto del elemento principal, así como también el secundario o lateral, es decir si es de clase tipo 1 o clase tipo 2, siendo la madera de mayor calidad y resistencia la de la clase 1.

Para establecer a qué clase corresponde la madera se debe realizar una clasificación visual e identificar las características/defectos que presente, siguiendo las especificaciones de las normas: IRAM 9662-1 - Madera laminada encolada estructural. Clasificación visual por resistencia de tablas, Parte 1 Tablas de Pino Paraná (Araucaria Angustifolia) [2], IRAM 9662-2 - Madera laminada encolada estructural. Clasificación visual por resistencia de tablas, Parte 2: Tablas de Eucalipto (Eucalyptus Grandis) [3] e IRAM 9662-3 - Madera laminada encolada estructural. Clasificación visual por resistencia de tablas, Parte 3: Tablas de pino Taeda y Elliotti (Pinus taeda y Elliottii) [4].

Definida la especie a utilizar y la clase o tipo de resistencia de cada elemento, automáticamente se define un parámetro muy importante para realizar los cálculos, el valor característico (5 %) de la gravedad específica anhidra definida en la Tabla S.4.1.1-2 y o bien por la Ec. S.4.1.1-2 en el código de referencia y mostrados en la Tabla 1.

Tabla 1. Gravedad específica anhidra, G, de la madera clasificada por resistencia conforme a norma IRAM 9662

Especie	Clase de resistencia	Gs
Pino Paraná (Araucaria angustifolia)	1	0,43
IRAM 9662-1 (2006)	2	0,37
Eucalipto grandis (Eucalyptus grandis)	1	0,4
IRAM 9662-2 (2006)	2	0,4
Pino taeda y Elliotti (Pinus taeda y Elliottii)	1	0,39
IRAM 9662-3 (2006)	2	0,36

2.2. Geometría de la sección

El siguiente paso es definir las dimensiones de los elementos a unir (Figura 3), así como también el tipo de elemento de unión, sus dimensiones, cantidad y procedimiento de colocación. Todos estos parámetros tienen incidencia en el valor final resistente de la unión ya que son parámetros utilizados en las fórmulas que definen la resistencia lateral de referencia.

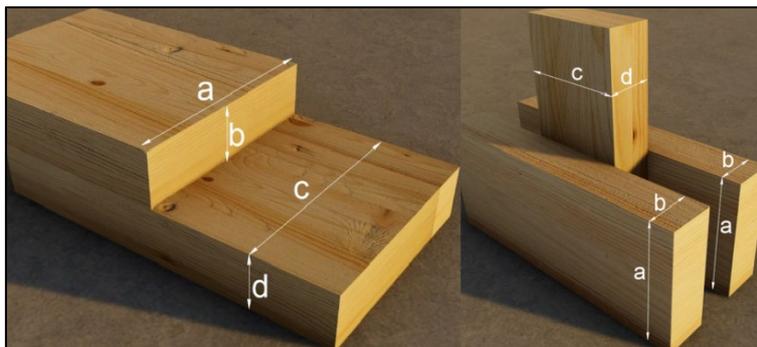


Fig. 3. Propiedades geométricas de los elementos

Siendo:

- a: ancho del elemento secundario
- b: espesor del elemento secundario
- c: ancho del elemento principal
- d: espesor del elemento principal
- Aclaración: se considera como elemento principal al de mayor espesor

Estos datos deberán definirse y se ingresan en la planilla como se indica en la Figura 4.

GEOMETRIA DE LA SECCION					
ELEMENTO PRINCIPAL		ELEMENTO SECUNDARIO		ELEMENTO DE UNIÓN	
				Tipo	Pasador
Ancho[mm]	100	Ancho[mm]	100	D [mm]	✓ 12
Espesor [mm]	50,8	Espesor [mm]	38,1	L [mm]	✓ 90
Im [mm]	50,8	Is [mm]	38,1	S [mm]	1
				N°	1
				Preperforado	No

Fig. 4. Definición de las características geométricas en la planilla

A la hora de definir los elementos de fijación que se utilizarán, deberá tenerse en cuenta las siguientes limitaciones establecidas por el Código de referencia (CIRSOC 601, CAP. 8).

- **Elementos de fijación con diámetro nominal, D, igual o menor a 25,4 mm**
- **La penetración mínima de un tornillo, en el miembro principal (Im) para uniones con una sección de corte o en el miembro lateral (Is) para uniones con dos secciones de corte, debe ser igual a 6 veces su diámetro nominal D**

En caso de exceder cualquier límite de trabajo, la planilla dará un aviso, especificando cuál es el límite que se ha excedido, tal y como se detalla en la Figura 5.

GEOMETRIA DE LA SECCION					
ELEMENTO PRINCIPAL		ELEMENTO SECUNDARIO		ELEMENTO DE UNIÓN	
Ancho [mm]	100	Ancho [mm]	100	Tipo	Pasador
Espesor [mm]	50,8	Espesor [mm]	38,1	D [mm]	30
lm [mm]	50,8	ls [mm]	38,1	L [mm]	90
				S [mm]	1
				N°	1
				Preperforado	Si

VERIFICACIÓN DE DATOS	
Temperatura	Cargado correctamente
Elemento Principal	Cargado correctamente
Elemento Secundario	Cargado correctamente
Diámetro de Clavija	El diámetro debe ser menor a 25,4mm
Largo de la clavija	Pasador adecuado

Fig. 5. Aviso de la planilla al sobrepasar un límite establecido

2.3. Condiciones de trabajo (dirección y duración de la carga, humedad y temperatura)

Por último, lo que se debe establecer, de la manera más representativa posible son las condiciones de servicio a las que estará expuesta la estructura. Esto es importante ya que el comportamiento que la misma presente será afectado en gran medida por estas condiciones las cuales son:

- Dirección de la carga (respecto a las fibras de la madera)
 - Paralela a miembro principal y lateral (Figura 6)

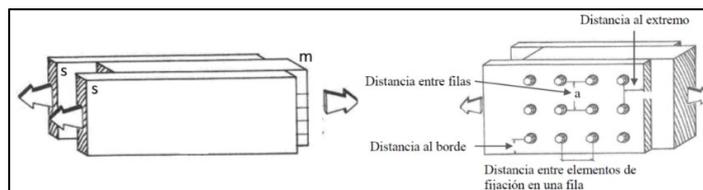


Fig. 6. Representación esquemática de carga paralela a las fibras

- Perpendicular a alguno de los miembros, ya sea el principal o el/los laterales (Figura 7)

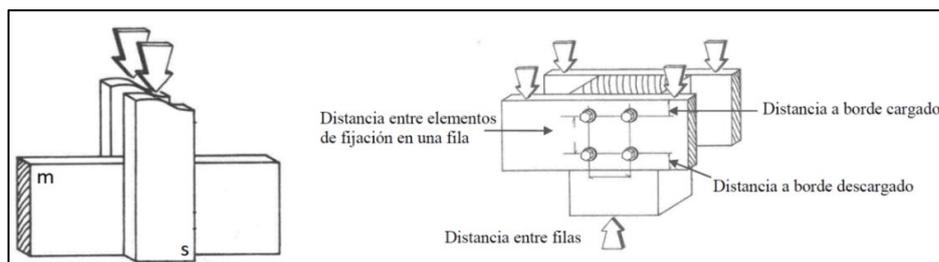


Fig. 7. Representación de carga perpendicular a las fibras

- Duración de la carga, humedad y temperatura

Para obtener la resistencia lateral de diseño ajustada de la unión Z' , la resistencia lateral de diseño de referencia especificada Z debe ser multiplicada por los factores de ajuste que se especifican en la Tabla 8.2.1.2-1 del reglamento. Estos factores son los mostrados en la Tabla 2.

Tabla 2. Factores de ajuste aplicables a la resistencia lateral de referencia provista por el código

Factores de ajuste aplicables a elementos sometidos a carga lateral	
Resistencia lateral ajustada	Factores de ajuste aplicables
$Z' = Z$	$x C_d x C_m x C_t x C_g x C_{tn}$

En donde:

- C_d : factor de duración de cargas (Tabla 4.3-2 del reglamento)
 Los valores indicados para la resistencia lateral de diseño de referencia se refieren al material cuando es sometido a una carga de duración normal.
- C_m : Factor de condición de servicio (Tabla 8.2.1.2-2 del reglamento)
- Los valores de diseño de referencia de tensiones y módulo de elasticidad especificados en el reglamento están referidos a un contenido de humedad máximo del 19 %. Esta condición de servicio corresponde a miembros ubicados en locales cerrados o espacios
- C_t : factor de temperatura (Tabla 8.2.1.2.-3 del reglamento)
- Cuando las uniones están expuestas a temperaturas comprendidas entre 40 °C y 65 °C por un tiempo prolongado, los valores de la resistencia lateral de diseño de referencia deben ser multiplicados por los valores de C_t indicados en la tabla mencionada.
- C_g : Factor de grupo (Ec. 8.2.1.2.-1, Tabla 8.2.1.2-4, Tabla 8.2.1.2-5 del reglamento)
 Este factor lo que tiene en cuenta es la disminución de resistencia que se provoca en el elemento estructural como consecuencia de colocarle los elementos de unión, y cuanto mayor sea el diámetro de los elementos y mayor la cantidad que se utilicen, menor será el factor, por lo tanto, mayor será la reducción de resistencia.
- C_{tn} : Factor de clavado oblicuo
 Cuando se utilizan uniones con clavado oblicuo los valores de resistencia lateral de referencia Z deben multiplicarse por el factor de clavado oblicuo C_{tn} , de no efectuarse un análisis detallado puede considerarse un $C_{tn} = 0,83$. Cuando el elemento de unión se coloca de forma perpendicular a la dirección de la carga, no se tiene en cuenta el factor de clavado oblicuo ($C_{tn} = 1$).

Una vez detalladas las condiciones de servicio de manera teórica, la planilla define de manera automática el valor que cada uno de los factores de ajuste, como se observa en la Figura 8.

CONDICIONES DE TRABAJO			
DIRECCION DE LA CARGA RESPECTO A LAS FIBRAS DEL ELEMENTO PRINCIPAL	Paralela		
DIRECCION DE LA CARGA RESPECTO A LAS FIBRAS DEL ELEMENTO LATERAL	Paralela		
DURACION DE CARGA	Permanente	0,9	C_d
HUMEDAD AL CONSTRUIR	>19%	0,70	C_m
HUMEDAD DURANTE VIDA ÚTIL	>19%		
TEMPERATURA	25	1,00	C_t
FACTOR DE GRUPO		1,00	C_g

Fig. 8. Definición de los factores de ajuste en la planilla

Al igual que en el apartado anterior, en caso de seleccionar condiciones que no estén consideradas dentro de los límites del código, la planilla dará aviso al respecto e indicará cuál es el límite que no se está respetando.

Establecidos todos los parámetros descriptos en los apartados anteriores, como lo son:

- Especie de miembros a utilizar
- Clases de resistencia
- Características geométricas de los miembros principal (m) y lateral o secundarios (s)
- Tipo, características geométricas y cantidad de elementos de unión
- Condiciones de trabajo en general

El reglamento establece que pueden presentarse seis (6) modos distintos de falla y provee las expresiones necesarias para poder determinar cada uno de estos valores. La resistencia lateral de la unión de referencia (Z) debe tomarse como el mínimo valor que presente la misma frente a los distintos modos de falla mencionados, los cuales se muestran en la Figura 9.

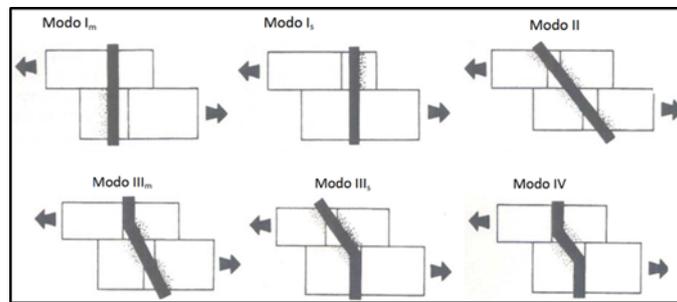


Fig. 9. Modos de falla posibles en elementos solicitados a carga lateral

La determinación de la resistencia lateral de referencia de cada modo (Z), sin aplicar los coeficientes de ajustes mencionados, se realiza mediante las expresiones de la Tabla 3.

Tabla 3. Ecuaciones para el cálculo de resistencia para cada uno de los modos de falla

Ecuaciones de modos de rotura en uniones sometidas a carga lateral		
Modo de rotura	Una sección de corte	Dos secciones de corte
I _m	$Z = \frac{D * l_m * F_{em}}{R_d}$	$Z = \frac{D * l_m * F_{em}}{R_d}$
I _s	$Z = \frac{D * l_s * F_{es}}{R_d}$	$Z = \frac{2 * D * l_s * F_{es}}{R_d}$
II	$Z = \frac{k_1 * D * l_s * F_{es}}{R_d}$	
III _m	$Z = \frac{k_2 * D * l_m * F_{em}}{(1 + 2Re) * R_d}$	
III _s	$Z = \frac{k_3 * D * l_s * F_{es}}{(2 + Re) * R_d}$	$Z = \frac{2 * k_3 * D * l_s * F_{es}}{(2 + Re) * R_d}$
IV	$Z = \frac{D^2}{R_d} * \sqrt{\frac{2 * F_{em} * F_{yb}}{3(1 + Re)}}$	$Z = \frac{2 * D^2}{R_d} * \sqrt{\frac{2 * F_{em} * F_{yb}}{3(1 + Re)}}$

Siendo:

- D: diámetro nominal del elemento de fijación
- F_{em}: resistencia al aplastamiento de referencia del miembro principal (ver Suplemento 4 CIRSOC 601 Tabla S.4.1.1-1)

- F_{es} : resistencia al aplastamiento de referencia del miembro lateral (ver Suplemento 4 CIRSOC 601 Tabla S.4.1.1-1)
- F_{yb} : tensión de fluencia en flexión del elemento de fijación (ver Suplemento 4 CIRSOC 601 Tabla S.4.1.1-3)
- l_m : longitud del elemento de fijación dentro del miembro principal
- l_s : longitud del elemento de fijación dentro del miembro lateral
- R_d : coeficiente de reducción (Ver Tabla 8.2.1.1-2 del reglamento)
- R_e : F_{em} / F_{es}
- R_t : l_m / l_s
- K_1 , k_2 y k_3 : factores que dependen de todos los valores mencionados anteriormente (Ver Tabla 8.2.1.1-1 del reglamento)

Como puede observarse, los modos de falla II y III_m no se pueden desarrollar en presencia de dos secciones de corte.

Cada una de estas resistencias laterales de referencia están mostradas en la planilla según se indique, si la unión es con una sección de corte o bien dos secciones de corte, como puede verse en la Figura 10.

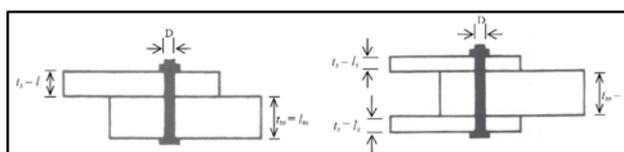


Fig. 10. Representación de una (1) y dos (2) secciones de corte en una unión

Definida la cantidad de secciones de corte, el programa determina a partir de las condiciones especificadas por el usuario, la resistencia lateral de referencia Z para cada modo de falla a partir de las expresiones de la Tabla 3. Los resultados pueden verse en la Figura 11.

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA LATERAL		
Modo de falla	R_d	Z [N]
I _m	4	5044
I _s	4	3783
II	3,6	2067
III _m	3,2	2603
III _s	3,2	2219
IV	3,2	2589
Resistencia Lateral de la unión		2067

1 Sección de corte

2 Secciones de corte

Fig. 11. Determinación de la resistencia lateral de referencia (Z)

Por último, se le aplicará a la menor de cada una de las resistencias de la Figura 11, los factores de ajuste según las condiciones de trabajo definidas en el apartado “Condiciones de trabajo”. De esta manera queda definida cuál es la resistencia lateral ajustada Z' de la unión diseñada (Figura 12).

DISEÑO DE UNIONES						
MATERIAL		GEOMETRIA DE LA SECCION			CONDICIONES DE TRABAJO	
CARACTERÍSTICAS						
Origen elemento principal	Pino Paraná (Araucaria angustifolia)	ELEMENTO PRINCIPAL	ELEMENTO SECUNDARIO	ELEMENTO DE UNIÓN	CONDICIONES DE TRABAJO	
Origen elemento secundario	Pino Paraná (Araucaria angustifolia)	Ancho [mm]	100	Ancho [mm]	100	D [mm]
Clase elemento principal	1	Esesor [mm]	50,8	Esesor [mm]	38,1	L [mm]
Clase elemento secundario	1	Im [mm]	50,8	Is [mm]	38,1	S [mm]
Gravedad especifica principal [G]	0,43			Proporcionado	No	N°
Gravedad especifica lateral [G]	0,43					1
MODO DE FALLA		II		RESISTENCIA LATERAL AJUSTADA DE LA UNION Z' [N]		1302
						N
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA LATERAL						
Modo de falla		Rd	Z [N]	Esquema de la unión		
Ia	4	5044		1 sección de corte		
Ib	4	1793		2 secciones de corte		
II	3,6	2067				
IIIa	3,2	2403				
IIIb	3,2	2716				
IV	3,2	3258				
Resistencia Lateral de la unión		2067				
VERIFICACIÓN DE DATOS						
Temperatura	Cargado correctamente					
Elemento Principal	Cargado correctamente					
Elemento Secundario	Cargado correctamente					
Diámetro de Clavija	Cargado correctamente					
Largo de la clavija	Pasador adecuado					
Separación entre clavijas						
N° de clavijas						

Fig. 12. Determinación de la resistencia lateral ajustada de la unión

Como puede observarse en una única planilla se realiza todo el diseño de la unión y el usuario tiene la posibilidad de determinar la resistencia lateral de referencia para cada modo de falla y luego la resistencia lateral ajustada al aplicar los factores de ajuste mencionados.

9. Resultados y discusiones

Para la verificación del correcto funcionamiento de la planilla se presentan los resultados obtenidos de la resolución de un ejemplo en forma manual, contrastando los resultados con los de la planilla. La unión por resolver se presenta en la Figura 14.

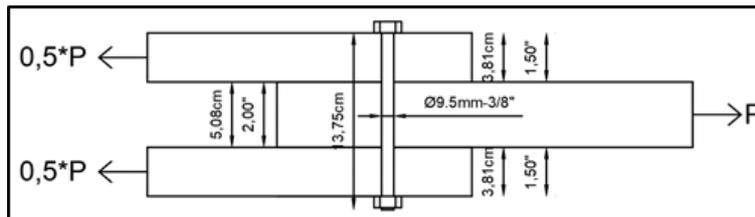


Fig. 14. Ejemplo de cálculo de resistencia de una unión

Los datos ingresados a la planilla y los resultados del procesamiento automático se muestran en la Figura 15 y la comparación entre resultados obtenidos en forma manual y automática se muestran en la Figura 16.

MATERIAL		GEOMETRIA DE LA SECCION			CONDICIONES DE TRABAJO	
CARACTERÍSTICAS						
Origen elemento principal	Pino Paraná (Araucaria angustifolia)	ELEMENTO PRINCIPAL	ELEMENTO SECUNDARIO	CLAVIJA	CONDICIONES DE TRABAJO	
Origen elemento secundario	Pino Paraná (Araucaria angustifolia)	Ancho [mm]	100	Ancho [mm]	100	D [mm]
Clase elemento principal	1	Esesor [mm]	50,8	Esesor [mm]	38,1	L [mm]
Clase elemento secundario	1	Im [mm]	50,8	Is [mm]	38,1	S [mm]
Gravedad especifica principal [G]	0,43			Proporcionado	No	N°
Gravedad especifica lateral [G]	0,43					1
MODO DE FALLA		IIIIs		RESISTENCIA LATERAL AJUSTADA DE LA UNION Z' [N]		1988
						N
DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA LATERAL						
Modo de falla		Rd	Z [N]	Esquema de la unión		
Ia	4	5994		1 sección de corte		
Ib	4	5990		2 secciones de corte		
II	3,6	2067				
IIIa	3,2	3156				
IV	3,2	3245				
Resistencia Lateral de la unión		2067				
VERIFICACIÓN DE DATOS						
Temperatura	Cargado correctamente					
Elemento Principal	Cargado correctamente					
Elemento Secundario	Cargado correctamente					
Diámetro de Clavija	Cargado correctamente					
Largo de la clavija	Pasador adecuado					
Separación entre clavijas						
N° de clavijas						

Fig. 15. Datos ingresados en el programa para la verificación

Modo de falla	Resistencia Z de la unión [N]	DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA LATERAL		
		Modo de falla	Rd	Z [N]
Ia	3993,52	Ia	4	3994
Ib	5990,27	Ib	4	5990
IIIa	3155,59	IIIa	3,2	3156
IV	3245,20	IV	3,2	3245

Fig. 16. Comparación de resultados manuales (a) Vs resultados obtenidos de la planilla (b)

10. Conclusiones

Se presenta una planilla electrónica para la resolución de uniones de miembros estructurales de madera, basadas en el Reglamento Argentino de Estructuras de Maderas, CIRSOC 601, Capítulo 8. Se describe en forma detallada las condiciones de uso y las justificaciones técnicas en relación con el procedimiento de cálculo descrito en el reglamento.

Se presenta un ejemplo de unión el cual es resuelto en forma manual y por medio de la planilla electrónica y se comparan los resultados obtenidos con ambos procedimientos.

Se puede apreciar que los resultados obtenidos en ambos procedimientos son similares, lo cual valida el funcionamiento apropiado de la planilla electrónica.

Como actividades a futuro hay que mencionar que se está trabajando en incluir en la planilla la posibilidad de definir ángulos de fuerza respecto a las fibras del material y que no necesariamente sean solamente direcciones de carga paralelas o perpendiculares a las fibras, esto con el objetivo de poder determinar la resistencia de uniones abarcando todo el espectro de posibilidades que se pueden presentar en la práctica cotidiana.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por el Proyecto de Investigación ECUTISR0005225TC. Los autores agradecen a la Universidad Tecnológica Nacional por el soporte de financiamiento necesario para acceder al equipamiento y el apoyo para la realización del proyecto de investigación.

Los autores desean expresar su agradecimiento al Ingeniero Nicolás Cortizo por su participación y predisposición constante en el trabajo realizado.

Bibliografía

- [1] Reglamento Argentino de estructuras de madera CIRSOC 601.
- [2] IRAM 9662-1 - Madera laminada encolada estructural. Clasificación visual por resistencia de tablas. Parte 1: Tablas de pino Paraná (*Araucaria angustifolia*).
- [3] IRAM 9662-2 - Madera laminada encolada estructural. Clasificación visual por resistencia de tablas. Parte 2: Tablas de eucalipto (*Eucalyptus Grandis*).
- [4] IRAM 9662-3 - Madera laminada encolada estructural. Clasificación visual por resistencia de tablas. Parte 3: Tablas de pino taeda y Ellioti (*Pinus taeda* y *Elliottii*).

Estudio de la viabilidad ambiental, técnica y económica del reciclado de pavimentos asfálticos en el departamento de San Rafael, provincia de Mendoza

Llorente, Carlos; Romani, Bruno; Labanca, María; Nuñez, Pedro; Ferro, Carlos; Gallardo, Dardo; Barros, Marcelo; Montes, Cristian; Yañez, Fabián

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Rafael

Urquiza 314, San Rafael, Mendoza, 5600

carlosllorentearg@hotmail.com

Resumen

Los requerimientos de infraestructura en general, y de infraestructura vial en particular son cada vez mayores. Esto se debe a que estos elementos son claves para el desarrollo económico y la mejora de las condiciones de vida de la población. Si específicamente se enfoca el problema de la infraestructura vial, la red de caminos es un elemento central a la hora de disminuir los costos de logística lo que conlleva a una mejora de la competitividad, lo que contribuye de manera fundamental a la hora de lograr desarrollo de inversiones. Los costos de inversión en la infraestructura vial son muy elevados, que deben ser completados necesariamente con programas de mantenimiento que garanticen índices de serviciabilidad aceptables y aumenten la vida útil. Las condiciones mencionadas y la escasez de recursos recomiendan el establecimiento de estrategias que permitan la optimización de las inversiones en caminos, incluyendo la recuperación de la infraestructura existente. Atendiendo estas circunstancias, a nivel internacional se han desarrollado técnicas para la recuperación de caminos que permitan evitar las reconstrucciones, entre lo que se incluye el reciclado de pavimentos asfálticos existentes con bajos niveles de serviciabilidad, evitando de esta manera la necesidad de la remoción de los mismos en un eventual programa de recuperación. El presente proyecto investiga la viabilidad ambiental, técnica y económica de la recuperación vía reciclado de pavimentos asfálticos. Para tal fin, se aprovecha la experiencia y resultados obtenidos en el departamento de San Rafael, provincia de Mendoza durante los años 2017 y 2018.

Palabras Clave: infraestructura vial – reciclado – viabilidad – ambiental – técnica

1. Introducción

El presente estudio abarca el análisis de la viabilidad técnica, ambiental y económica del reciclado de los pavimentos urbanos del departamento de San Rafael. La infraestructura vial presenta elevados costos de inversión y es clave para el desarrollo económico. El departamento de San Rafael, tanto en distritos como en ciudad presentaba y presenta un número importante de calles y avenidas con pavimentos asfálticos deteriorados de manera prácticamente irreversible con bases granulares de espesor acotado. La alternativa convencional de solución exigía la remoción

de la carpeta asfáltica existente y la reconstrucción de las bases granulares existentes lo que implicaba la incorporación de material para su mejoramiento y engrosamiento.

Por otra parte, la tecnología actual ofrece como alternativa el uso de equipos recicladores de pavimentos, se trata de máquinas autopropulsadas dotadas de cilindros con puntas de acero al tungsteno que permiten triturar los caminos existentes en espesores considerables. El paso de este tipo de equipos permite lograr en el espesor de trabajo una mezcla homogénea con granulometrías finales sensiblemente similares a las de los materiales que componían las capas originales [1], [2]. Estos equipos fueron propuestos y utilizados para obras de la Municipalidad de San Rafael para el reciclado, también se utiliza la expresión reclamado, de pavimentos constituidos por capas de bases granulares y carpetas de rodamiento de concreto asfáltico en frío y caliente.

El equipo vial utilizado para la ejecución de las obras abarca:

- 1) Recicladora (reclamadora) autopropulsada
- 2) Tanque de agua arrastrado por tractor conectado a equipo de reciclado
- 3) Equipos de compactación, vibratorios y neumáticos
- 4) Motoniveladora

2. Materiales y Métodos

El presente estudio abarcó el análisis de distintos sectores de los distritos Ciudad y Rama Caída (Tabla 1) donde se indica las superficies abarcadas y los tiempos en servicio. A la fecha el comportamiento de las obras ha sido compatible con lo esperado.

Tabla 1. Localización y superficie abarcada por el estudio

Localización de la obra	Superficie Reciclado (m ²)	Fecha Obra	Tiempo en servicio (meses)
Av. Los Sauces	8.470	feb-18	26
Av. El Libertador	15.680	jul-18	22
Calles Diez Martín y Cabildo	13.050	nov-17	34
Barrio Belgrano	83.334	jul-17	38
Av. Florida - Daudet	19.800	may-19	15
Barrio Inalicán - Rama Caída	17.203	ago-17	37
Barrio Musso	47.078	nov-17	34
Barrio Constitución	55.023	nov-18	22
	259.638		

Fuente: elaboración propia a partir de relevamientos de obras

Para el establecimiento de la viabilidad técnica se desarrollaron los estudios de laboratorio y de ingeniería correspondientes, estableciendo precisiones respecto de las especificaciones técnicas a cumplimentar para lograr un paquete estructural comparable al de las obras que solicita la Municipalidad de San Rafael [3].

El estudio se realizó abarcando prácticamente la totalidad de las arterias donde se aplicó el reciclado.

Las actividades técnicas de investigación desarrolladas fueron las siguientes:

- 1) Relevamiento preliminar y cateos de determinación de paquetes estructurales, con determinación de anchos de calzada.
- 2) Muestreo de materiales de calzada y base existentes para desarrollo de ensayos de laboratorio.

- 3) Ensayos de laboratorio de muestras: granulometrías (Gráfico 1), clasificación de materiales, densidades, capacidad portante (Tabla 2) según pliego y normas de Vialidad Nacional [4].
- 4) Análisis de los resultados obtenidos y determinación de la viabilidad de propuesta de reciclado.
- 5) Control de los resultados en relación a las especificaciones.
- 6) Determinación de la incorporación de materiales correctores.
- 7) Establecimiento de la viabilidad técnica de la solución.

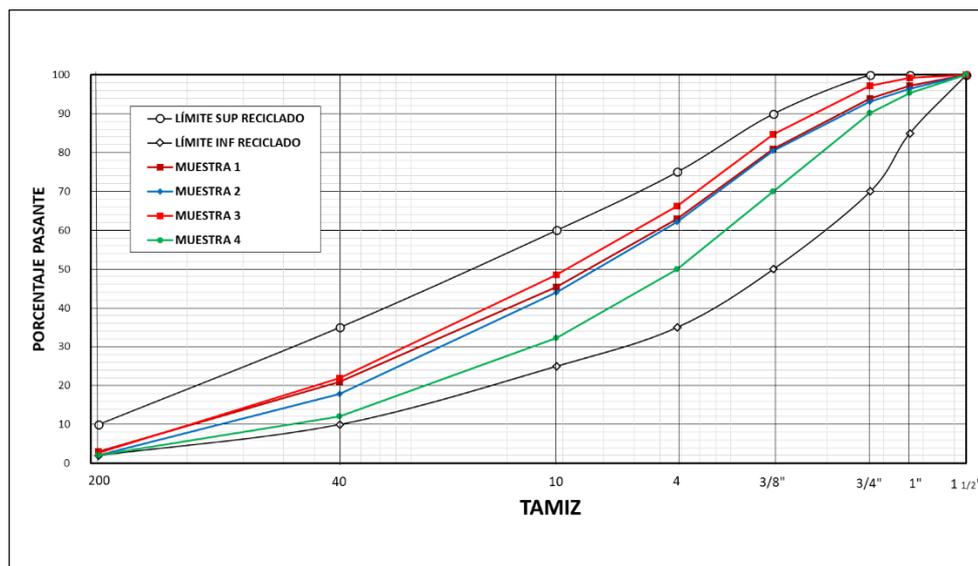


Gráfico 1: Curvas granulométricas de especificaciones de base granular, reciclado y resultados de ensayos

Fuente: elaboración propia a partir de datos MSR y ensayos de laboratorio

Tabla 2. Resumen de resultados mínimos de VSR para material reciclado

Localización de la obra	Superficie Reciclado (m2)	Fecha Obra	Valor Soporte (%)
Av. Los Sauces	8.470	feb-18	68,6
Av. El Libertador	15.680	jul-18	77,8
Calles Diez Martín y Cabildo	13.050	nov-17	64,0
Barrio Belgrano	83.334	jul-17	63,6
Av. Florida - Daudet	19.800	may-19	81,0
Barrio Inalicán - Rama Caída	17.203	ago-17	63,0
Barrio Musso	42.000	nov-17	77,0
Barrio Constitución	35.890	nov-18	76,8

Fuente: elaboración propia a partir de datos MSR y ensayos de laboratorio

La viabilidad ambiental se analiza a partir de la comparación de los impactos ambientales más relevantes para las dos situaciones, construcción convencional o reciclado. Se analizaron los siguientes aspectos:

- 1) Consumo de materiales granulares.
- 2) Destino final de materiales, productos de la excavación.
- 3) Consumo de combustibles líquidos y emisión de gases de combustión.
- 4) Afectación sobre la infraestructura.
- 5) Consumo de agua dulce.
- 6) Afectación al tránsito y a los vecinos.

El estudio se realizó mediante el relevamiento de las operaciones completas en ambos casos, realizando los cálculos y estimaciones pertinentes. Cabe acotar que de acuerdo a la localización de las obras los resultados obtenidos en la comparación son diferentes, dependiendo de las distancias relativas a las canteras, densidad poblacional de las zonas afectadas, tránsito, etc.

La exigencia del Valor Soporte Relativo (VSR) propuesta para el caso de bases obtenidas por reciclado de pavimentos asfálticos existentes, es menor que para las bases granulares convencionales. Esto se traduce indefectiblemente en una disminución del número estructural del pavimento. La condición de VSR 60 % mínimo para el 98 % Próctor para las bases obtenidas por reciclado se encuentra en una condición intermedia entre sub base y base, dado que para la primera la exigencia es 40 % y para la segunda 80 %. Considerando que se trata de las mismas subrasantes, que la capacidad de drenaje de los materiales y los valores antes mencionados, se puede calcular la diferencia de calidad entre las bases granulares convencionales y las obtenidas por reciclado (Tabla 3) para los materiales a través del coeficiente a2 número estructural AASHTO 93, [5]:

Tabla 3. Comparación número estructural base granular y reciclada

Elemento estructural	Valor Soporte 98% Próctor	Coficiente a2 AASHTO 93	Diferencia Aporte	Espesor requerido (cm)
Base granular convencional	80	0,12	1	15
Base granular por reciclado	60	0,09	0,75	20

Fuente: elaboración propia a partir de tablas método AASHTO 93

Por lo tanto, con los valores expresados, debería ejecutarse una base granular por reciclado de 20 cm de espesor con VSR 60 % mínimo para equipar el número estructural logrado con una base convencional de VSR 80 %. O bien, atendiendo que se trata de la misma subrasante y de la misma carpeta asfáltica, el número estructural se reduciría en un 25 % para el mismo espesor. Por lo tanto, para iguales condiciones de tránsito y clima el costo debería ser 25 % menos. Estas situaciones se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Equivalencia económica de acuerdo al número estructural de las alternativas

ALTERATIVA: RECONSTRUCCIÓN DE BASE GRANULAR

N°	DENOMINACIÓN	UNIDAD	P.U.
1	Excavación y preparación de la subrasante	m2	49,50
2	Reconstrucción de base estabilizada en 15 cm de espesor	m2	81,90
		m2	131,40

ALTERATIVA: CONSTRUCCIÓN DE BASE GRANULAR

N°	DENOMINACIÓN	UNIDAD	P.U.
1	Excavación y preparación de la subrasante	m2	49,50
2	Reconstrucción de base estabilizada en 15 cm de espesor	m2	81,90
		m2	131,40

Disminución de costo mínima esperable 25,00% 32,85

ALTERATIVA: CONSTRUCCIÓN DE BASE GRANULAR POR RECICLADO

N°	DENOMINACIÓN	UNIDAD	P.U.
1	Construcción de base por reciclado en 20 cm de espesor	m2	131,40
	Precio máximo para reciclado	m2	131,40

ALTERATIVA: CONSTRUCCIÓN DE BASE GRANULAR POR RECICLADO

N°	DENOMINACIÓN	UNIDAD	P.U.
1	Construcción de base por reciclado en 15 cm de espesor	m2	98,55
	Precio máximo para reciclado	m2	98,55

Fuente: elaboración propia a partir de datos MSR

Observación: los precios corresponden a Julio de 2017

En los cálculos de la izquierda se establece el precio máximo a pagar por una base granular obtenida por reciclado en un espesor de 20 cm, comparada con un paquete convencional. De esta manera se compatibilizaría la diferencia de número estructural. A la derecha se presentan los valores del precio máximo a pagar de reciclado bajo la hipótesis de aceptar un espesor de 15 cm, lo cual implicaría aceptar una disminución del número estructural del pavimento del 25 %.

3. Resultados y Discusiones

Los relevamientos y ensayos técnicos permitieron establecer los siguientes resultados:

- 1) Los estudios indicaron que en todos los casos se trató de pavimentos asfálticos constituidos por carpetas asfálticas tipo en frío y en algunos casos en caliente, combinados con bases granulares de materiales provenientes de canteras de la zona de Valle Grande o similares. Los espesores de materiales reciclables superaron los 15 cm en todos los casos.
- 2) Los ensayos de laboratorio permitieron inferir que los materiales obtenidos en los distintos puntos son similares, tanto desde el punto de vista granulométrico como petrográfico. La mezcla de carpeta y base triturada en todos los casos presentó un aspecto homogéneo.
- 3) Las granulometrías de todas las muestras prácticamente se encontraron dentro de los límites establecidos. En los casos que no se verificó esta condición se incorporaron materiales granulares correctores. Se establecieron granulometrías promedio. Las

muestras no presentaron plasticidad ni hinchamiento. Tampoco sales. La Densidad Próctor y el Valor Soporte Relativo (VSR) alcanzaron valores acordes con el tipo de materiales involucrados en la mezcla de reciclado.

- 4) Los resultados de los ensayos se contrastan con la especificación técnica particular desarrollada a partir de referencias nacionales y del extranjero.
- 5) La evaluación técnica de las soluciones planteadas en todos los casos fue positiva, indicando la viabilidad del reciclado para la conformación de bases granulares de calidad. Cabe agregar que los resultados de los ensayos y las características de la mezcla de reciclado, totalmente homogénea, confiere a la metodología un sensible valor operativo. Se suma a esto la posibilidad de agregar materiales de base adicionales para corregir el perfil transversal, o bien la capacidad portante como correctores, cal o cemento portland. También es posible la incorporación de agua en forma dosificada para alcanzar las humedades deseadas para la compactación. Todas estas condiciones otorgan a la metodología propuesta gran flexibilidad. Es importante señalar que la velocidad de ejecución es mucho mayor que las tradicionales para reconstruir un paquete estructural convencional.
- 6) El comportamiento a la fecha de todas las obras ha sido excelente, lo que estaría demostrando que las conclusiones extraídas de los estudios técnicos son aplicables en su totalidad y pertinentes.

La alternativa de reciclado presentó en general notables beneficios ambientales. La comparación de esta tecnología con la alternativa de construcción de bases convencionales disminuye los impactos ambientales en un caso y en otro son sensiblemente menores. Se presenta a continuación un listado de los principales beneficios ambientales de aplicación de reciclado:

- 1) Consumo de materiales granulares: se logra ahorrar la explotación de los áridos necesarios para la construcción de la base, donde si bien en nuestra región se trata de un recurso relativamente abundante no se trataría de un recurso renovable en todas las canteras.
- 2) Destino final de materiales y productos de la excavación: estos materiales en algunos casos pueden ser usados para rellenos, sin embargo, normalmente las carpetas asfálticas al ser retiradas conforman escombros que exigen su depósito en lugares a tal fin, con los consiguientes impactos negativos.
- 3) Consumo de combustible y emisión de gases de combustión: se evita la excavación de los materiales existentes en las distintas calles, su carga y transporte a destino final; desaparece el requerimiento de emisiones para la preparación de subrasantes (trabajos de perfilado y compactación); extracción de áridos, carga, transporte, mezclado en obra. Las emisiones producidas por los equipos necesarios para la realización de las operaciones mencionadas son sensiblemente mayores que las producidas por el equipo de reciclado.
- 4) Afectación sobre la infraestructura: el reciclado permite evitar el transporte de cargas pesadas en zonas suburbanas y urbanas, no es necesario realizar excavaciones ni preparación de subrasantes, y por lo tanto el riesgo de rotura de cañerías existentes se reduce sensiblemente al no realizarse trabajos de movimiento de suelos generalizados con la probabilidad de afectar cordones, puentes, cartelería, etc., disminuye sensiblemente.

- 5) Consumo de agua dulce: los trabajos de preparación de subrasante y de construcción de base de forma convencional requieren un consumo de agua sensiblemente mayor que la opción de reciclado.
- 6) Afectación al tránsito y a los vecinos: la reducción de los tiempos de operación para la ejecución de los trabajos se traduce en una disminución de la afectación al tránsito, por ende, en menores riesgos de accidentes; de la misma manera baja el nivel de afectación en la calidad de vida de los vecinos.

Las razones expuestas ponen de manifiesto que los impactos ambientales en la alternativa de reciclado son sensiblemente menores que en el caso de la construcción de bases granulares previa excavación. Por lo tanto, presenta mejores condiciones de viabilidad ambiental.

La viabilidad económica de la alternativa de reciclado se funda en el precio que se pague por m² de base granular obtenida a través de esta alternativa tecnológica. Si el reciclado representase un costo total final menor que el 25 % del costo de la base granular convencional sería una propuesta conveniente a los intereses de los vecinos del departamento de San Rafael. Esto también puede lograrse con el mismo precio, pero con un espesor de base reciclada un 25 % mayor.

4. Conclusiones

En el presente trabajo se ha analizado la viabilidad técnica, ambiental y económica del reciclado de pavimentos asfálticos existentes en el departamento de San Rafael. En todos los casos los resultados de los relevamientos de las obras ya ejecutadas han sido altamente positivos, por lo que la alternativa propuesta es perfectamente viable. Si a su vez se realiza una comparación entre las posibles formas de construir la base de los pavimentos asfálticos, esto es de manera convencional con materiales granulares previa excavación y preparación de la subrasante, versus el reciclado de las carpetas y bases existentes resulta:

- 1) El aporte estructural de las bases obtenidas por reciclado sería del orden del 25 % menor que las bases convencionales a igualdad de espesores, y lógicamente para la misma subrasante.
- 2) La alternativa de reciclado es ambientalmente mucho menos impactante, con sensibles ventajas en lo referido a la afectación del tránsito por la disminución de los tiempos de obra.
- 3) Considerando estas circunstancias, un costo de base reciclada 25 % menor que la convencional se considera una propuesta favorable a los intereses de los vecinos y de la comunidad toda siempre y cuando el costo para un espesor de 15 cm de base granular reciclada con un VSR del 60 % mínimo para el 98 % de la densidad Próctor no supere un precio referencial máximo de \$ 98,55 por m², valores a Julio de 2017.
- 4) A los fines de garantizar la eficacia en la aplicación de la alternativa de reciclado con los precios expuestos, se puede exigir que el espesor de base final reciclada sea como mínimo 16 cm, de esta manera se mejoraría la condición estructural propuesta.

Bibliografía

[1] Design and construction guidelines for full depth reclamation of asphalt pavement, State of New York, Department of transportation, Geotechnical engineering bureau (2015)

[2] Full-depth reclamation: new test procedures and recommended updates to specifications; Texas Transportation Institute (2012)

[3] Especificación técnica particular: Reciclado de carpeta asfáltica y base granular existente en 16 cm de espesor, Pliegos de especificaciones técnicas Municipalidad de San Rafael (2017)

[4] Normas de ensayo de la Dirección Nacional de Vialidad.

[5] American Association of State Highway Transportation Officials – AASHTO 93; Guide for design of pavements structures. Washington D.C.

[https://www.cement.org/cement-concrete-applications/paving/full-depth-reclamation-\(fdr\)/full-depth-reclamation-\(fdr\)-case-histories](https://www.cement.org/cement-concrete-applications/paving/full-depth-reclamation-(fdr)/full-depth-reclamation-(fdr)-case-histories)

Diagnóstico de los generadores de Neumáticos Fuera de Uso

Cecilia J. Soengas; Mariana Nunes; Martín Carbó

Facultad Regional San Rafael, Universidad Tecnológica Nacional

c.soengas@hotmail.com

Resumen

Uno de los residuos que más caracteriza a las sociedades modernas, son los Neumáticos Fuera de Uso, NFU. Se sabe que solo en Mendoza se generan 8 mil toneladas de caucho al año. Se trata de un residuo no peligroso, aunque presenta una alta capacidad calorífica que dificulta su extinción en caso de incendio, no es degradable y en general su deposición se realiza en vertederos, generando inconvenientes por el volumen que ocupa. Estas y otras características constituyen factores que aconsejan la adopción de una norma que los regule. Los NFU, adecuadamente triturados, pueden ser utilizados en diferentes elementos constructivos o pueden ser la materia prima esencial a la hora de fabricarlos. En Argentina se cuenta con tres compañías fabricantes que producen unos 20 millones de neumáticos al año y 5 plantas que reciclan los NFU. Una de estas últimas está en la provincia de Mendoza. Actualmente se cuenta con el Plan Nacional de NFU, que prevé la adopción de procedimientos de reciclado y valorización ecológicos. Según este plan, los productores, los fabricantes y los importadores de neumáticos tienen la obligación de gestionar los NFU de manera que se garantice un tratamiento medioambiental correcto. La presente comunicación versa sobre la posibilidad de realizar un diagnóstico de los generadores de NFU en el Departamento de San Rafael a través de la localización de las gomerías, con el fin de obtener información sobre la deposición de los NFU. Con esta información se podrá estimar de qué forma se está tratando este residuo.

Palabras Clave: Neumáticos Fuera de Uso – vertederos de NFU – asfalto caucho – marcas viales

1. Introducción

Los neumáticos de caucho en general se colocan en las ruedas de los vehículos y maquinarias. Su función es permitir un contacto adecuado por adherencia y fricción con el pavimento. La parte del neumático diseñada para mantener el contacto con la vía, se denomina banda de rodadura. Algunos neumáticos contienen una cámara de caucho blando que se infla y llena de aire, muchos vehículos modernos utilizan neumáticos sin cámara, en los cuales el aire a presión queda contenido por el neumático y la llanta [1].

Las materias primas que se utilizan para fabricar un neumático son el caucho, el negro de humo, acero, textil, óxido de zinc, azufre y aditivos. Más de 100 compuestos químicos entran a formar parte de un neumático [2].

Los cauchos más utilizados en la fabricación de los neumáticos son una mezcla de caucho natural y cauchos sintéticos, principalmente los polímeros SBR (Estireno, Butadieno, Caucho) y BR (Butadieno, Caucho) [2]. Dependiendo si el neumático es usado para auto, camión, vehículo comercial, etc. es la cantidad de estos componentes. La mayor parte de un neumático, casi la mitad de su peso, está constituida por cauchos elastoméricos (anteriormente nombrados).

En la mayoría de las grandes urbes, uno de los principales inconvenientes es el depósito de los residuos. En particular los Neumáticos Fuera de Uso, conocidos también por su abreviatura NFU, tienen un tratamiento especial a la hora de su descarte. En la actualidad en la mayoría de los países los NFU tienen como depósito final la reutilización de la mayoría de sus componentes. Es necesario para ello legislar cómo recolectarlos, dónde permanecerán hasta el momento de su tratamiento final y para qué se pueden reutilizar.

En la actualidad se producen alrededor de 1 300 millones de neumáticos en el mundo. En Argentina, se fabrican unos 20 millones por año mediante las tres compañías que producen localmente. Estas son, Fate (única empresa de capital nacional), Pirelli y el grupo Firestone – Bridgestone. Al año 2018, según datos de las principales cámaras empresariales y sistemas de gestión de NFU, se generan en Estados Unidos unos 300 millones de unidades de NFU, en España 300 000 t/año, en Brasil 270 000 t/año y en Argentina 150 000 t/año [2]. Solo en la provincia de Mendoza se generan 8 mil t/año por esta razón la provincia tiene en vigencia desde el año 2019 la regulación de los NFU [1].

Los neumáticos usados no generan ningún peligro inmediato, pero su eliminación de manera inapropiada o su producción en grandes cantidades, puede contaminar gravemente el medioambiente u ocasionar problemas a la hora de eliminarlos. No en vano, los neumáticos han sido diseñados para resistir condiciones mecánicas y meteorológicas duras (son resistentes al ozono, la luz y las bacterias, lo que los hace prácticamente indestructibles por el paso del tiempo). Su almacenamiento en basureros no permite recuperar ni energía ni materia, además son refugio ideal de insectos, roedores, y acumulan gases y lixiviados. En el Departamento de San Rafael, entra en vigor la Ley 9 143 en la cual no está permitido el vertido de los neumáticos ni su incineración, por lo cual, es necesario localizar un vertedero para tal fin [3].

Los NFU, adecuadamente triturada, pueden ser incorporados en diferentes elementos constructivos mejorando el desempeño de éstos o bien se pueden transformar en la materia prima esencial a la hora de fabricarlos. Es así como se comercializan los NFU de diversas formas como caucho molido (con el color natural), caucho con pigmentos, baldosas, pisos, pisos drenantes, cordones, reductores de velocidad, entre otras opciones [4], [5] y [6].

En el caso particular de la actividad vial, uno de los usos más difundidos a nivel mundial es la modificación del asfalto o la mezcla asfáltica con NFU. En los asfaltos, su uso promueve la disminución de la susceptibilidad térmica, provocando que se registren menores cambios de consistencia con los cambios de temperatura. Se está estudiando la posibilidad de diseñar y fabricar piezas de demarcación vial como tachas, reductores de velocidad, entre otros elementos [7].

Las plantas que formalmente reciclan NFU en Argentina son las que se muestran en la tabla 1. Cabe aclarar que los tres componentes principales que se obtienen de los NFU son, el polvo de caucho con distintas granulometrías (se obtiene de la banda de rodadura del neumático); el acero que en general se comercializa para fundición y la fibra textil que se utiliza como combustible de alto poder calórico para hornos cementantes.

Esto último es lo que hace la empresa Holcim Argentina, a través de Geocycle (compañía de Holcim especializada en la gestión sustentable de residuos) por medio de convenios con distintos organismos provinciales o municipales en el país. En Mendoza se llevó a cabo en diciembre de 2019, la recolección de los NFU por parte de los vecinos, la fundación Badaloni, el Grupo América y la Asociación de Empresarios de Rodríguez Peña (ADERPE). Lo recolectado fue acopiando en el Parque Rodríguez Peña de Godoy Cruz. Se recaudaron 30 t de neumáticos que se trasladaron a la planta de cemento de Holcim en Capdeville (ubicado sobre la Ruta Provincial N° 52 en Las Heras, Mendoza) para su posterior coprocesamiento. En total la provincia de

Mendoza en 2019 logró recuperar más de 135 t de NFU a partir de un convenio firmado entre Geocycle y la Secretaría de Ambiente provincial [8].

Tabla 1. Empresas que reciclan NFU en Argentina

Empresas que reciclan NFU	Algunas características de las empresas
Regomax	Modelo público privado entre el CEAMSE, la empresa Regomax y el INTI. Opera en el Complejo Norte II de la CEAMSE, San Martín, Buenos Aires [4]
Molicaucho SH	Ubicada en La Tabalada, Buenos Aires. Produce polvo de neumáticos
Tricaucho SRL	Ubicada en Avellaneda. Realiza la molienda del caucho
Kumen - Co	Empresa ubicada en Arroyo Seco, Santa Fe. Produce y comercializa polvo de neumáticos, acero y fibra textil [5]
Eco Cuyum	Ubicada en Godoy Cruz, Mendoza. Comercializa las materias primas y subproductos elaborados por la planta [6]

En conversación con el área Ambiental de la Municipalidad de San Rafael, se expresó que existe en carpeta un proyecto para cumplir con la Ley provincial. Hasta el momento se llevaron a cabo reuniones entre distintas áreas del municipio con el fin de considerar un lugar de destino para los NFU recolectados como playa de transferencia. Cuando el volumen sea considerado se podrán trasladar los residuos al operador autorizado por el gobierno.

Se destaca que la Municipalidad de San Rafael ha colocado en distintas zonas de la ciudad, lo denominado Estaciones Ecológicas con el fin de llevar a cabo la separación de residuos. Por el momento la recolección diferenciada está siendo destinada a: artículos de electrónica en desuso, plásticos, cartones, papeles, pilas, vidrios y metales.

Argentina cuenta con el Plan Nacional de Neumáticos Fuera de Uso, que prevé la adopción de procedimientos de reciclado y valorización ecológicos. Según este plan, los productores, los fabricantes y los importadores de neumáticos tienen la obligación de gestionar los NFU de manera que se garantice un tratamiento medioambiental correcto [2].

En Mendoza la Ley 9 143 crea el Plan de Manejo Sustentable de los NFU [9] la cual establece como autoridad a la Secretaría de Ambiente y Ordenamiento Territorial. El artículo 4 expresa: *“Se encuentra sujeta al cumplimiento y aplicación de las disposiciones de esta Ley toda persona física o jurídica, pública o privada, que dentro del territorio provincial participe en la fabricación, comercialización, importación, distribución y disposición final de neumáticos, conforme a los principios de Responsabilidad Extendida del Productor”*.

De lo expresado se plantea como objetivo a corto plazo el diagnóstico de uno de los mayores generadores de NFU como son las gomerías. Esta información interesa para localizar los posibles vertederos *legales* con el fin de determinar si el destino final es la comercialización del NFU triturado o bien es llevado el neumático para que sea tratado por un operador.

2. Desarrollo

Teniendo en cuenta la problemática planteada se relevaron las principales gomerías del Distrito Ciudad de San Rafael. Actualmente hay 19 de estos comercios que son los principales productores de NFU.

Nos pusimos en contacto con uno de ellos con el fin de recabar información sobre los posibles usos de los NFU. Esta gomería pule la banda de rodadura de los NFU, obteniendo distintas granulometrías. Con las primeras pasadas de la pulidora se obtienen granos más gruesos y luego va siendo más fino el producto final. Se comercializa el producto así obtenido de la pulidora a empresas de Buenos Aires, Santa Fe, entre otras localizaciones. Algunas veces el material es tamizado a requerimiento del comprador.

También realizaron pruebas preliminares para la fabricación de baldosas. El adhesivo para aglomerar las partículas de caucho no es fácil de adquirir por lo cual primero consiguieron muestras de una empresa de Buenos Aires, pero no lograron armar la baldosa como tal. En estos momentos continúan gestionando con otras empresas de adhesivos con la intención de lograr comercializar las baldosas.

3. Resultados Parciales o Avances

Hasta el momento el equipo de trabajo ha consultado sobre la legislación nacional, provincial y municipal. También realizó un relevamiento sobre los principales generadores de NFU como son las gomerías.

Los pasos a seguir es tomar contacto con la mayoría de los comercios (gomerías) con el fin de determinar si ellos comercializan los NFU como tal, es decir directamente el neumático como lo utiliza la empresa Holcim directamente para incinerar en sus hornos o bien, como lo acota otro comerciante, lo pulen, trituran y venden para poder ser reutilizado en otros elementos o nuevos productos comerciales.

Bibliografía

- [1] Wikipedia. 28 de agosto de 2020. Neumáticos. Recuperado de <https://es.wikipedia.org/wiki/Neum%C3%A1tico>
- [2] Botasso, G. (2018). Tesis doctoral: Dispersiones de caucho reciclado de neumáticos fuera de uso. Su empleo en mezclas asfálticas densas y antiderrapantes. Editorial edUtecNE, ISBN 978-897-1896-87-5. Impreso en Polycromo S.A. La Plata. 268 páginas.
- [3] Municipalidad de San Rafael. 7 de septiembre de 2020. Recuperado de <http://sanrafael.gov.ar/separación-de-residuos/>
- [4] Regomax. 2 de septiembre de 2020. Recuperado de <http://regomax.com/>
- [5] Kumenco SA. 2 de septiembre de 2020. Recuperado de <https://www.kumenco.com.ar/>
- [6] Eco Cuyum. 7 de septiembre de 2020. Recuperado de <http://ecocuyum.com/quienes-somos.php>
- [7] Borgogno, D.; Huespe Mercado, A.; Orellana, A.; Ortega N.; Botasso, G. Tesis de becarios de investigación (2018). La Plata, Argentina. ISSN 2250-7221, N° 13, mayo de 2018.
- [8] Holcim Argentina. 7 de septiembre de 2020. Recuperado de <http://www.holcim.com.ar/sala-de-prensa/se-recolectaron-30-toneladas-de-neumaticos-fuera-de-uso-en-el-reumatón>
- [9] Ley 9 143 "Creación del Plan de Manejo Sustentable de Neumáticos Fuera de Uso. 23 de agosto de 2020. Recuperado de <http://argentinambiental.com/legislacion/mendoza/ley-9143-creacion-del-plan-manejo-sustentable-neumaticos-uso/>



*Área Ingeniería Industrial y
Enseñanza*

Relación entre estilos de aprendizaje de los estudiantes y permanencia en la universidad en las carreras de ingeniería en una Facultad de Ingeniería

Sandra Buttini, Hugo García, Carolina Tonidandel, Valeria Cordero, Carlos Samudio, Dante Berdugo, Verónica Vizcaíno, Daniela Armijo, Lucas González Solanas
UTN Facultad Regional San Rafael

limagolf2495@gmail.com

Resumen

La deserción es una de las problemáticas que enfrentan muchas instituciones universitarias a la que aún no se le ha hallado una solución, aunque ha sido ampliamente investigada, y se han aplicado propuestas de mejora. En este proyecto, se analizó la posible relación entre el estilo de aprendizaje (EA) de los estudiantes de primer año de ingeniería con su permanencia en la Universidad. El EA se relevó en tres cohortes sucesivas mediante el Test de Felder, obteniéndose la misma tipología que la de estudiantes de ingeniería a nivel internacional. Para el análisis de los datos, el EA se midió mediante la variable cualitativa "EA preferido por los estudiantes de ingeniería" que toma los valores dicotómicos Si - No; y la permanencia mediante el "Progreso académico", una variable politómica ordinal cuyos valores pueden ser: Óptimo, Moderado, Regular, Insuficiente. Ambas variables se analizaron mediante tablas de contingencia, contrastando la hipótesis nula que presupone la independencia entre ellas, mediante el estadístico χ^2 de Pearson, utilizando un software para tal fin. La conclusión es que no hay una relación entre el EA del estudiante y su permanencia en la Universidad. Sin embargo, conocer este EA y el progreso académico puede ser útil para mejorar las prácticas pedagógicas. Como ejemplo, abordemos cuál debería ser el estilo de aprendizaje conveniente para los graduados de ingeniería. En la dimensión secuencial/global, los estudiantes prefieren el estilo secuencial. En la práctica, un ingeniero se enfrentará con problemas que podrían resolverse de varias maneras; potenciar el pensamiento global los fortalecerá para el mercado laboral.

Palabras Clave: deserción – estilos de aprendizaje – test de Felder – permanencia

1. Introducción

Aunque existen muchos modelos para caracterizar el estilo de aprendizaje, el cuestionario de Felder fue seleccionado por haber sido examinada la confiabilidad y validez del modelo [1], especialmente con estudiantes de ingeniería [2]. Cabe destacar, además, que la selección de la metodología para caracterizar el EA no afecta a la medición que se propone hacer. Se analizó el EA del alumnado dado por cuatro constructos bipolares, correspondientes cada una a: qué tipo de información perciben los estudiantes (sensitivo - a través de sensaciones físicas/ intuitivo – a través de la información interna); qué tipo de información reciben (visual - la reciben en formatos visuales/ verbal - la reciben en formatos verbales); la forma en que se procesa la información (activo - mediante tareas activas, actividades físicas o discusiones/ reflexivo - a través de la reflexión o introspección); y la forma en que progresa el estudiante en su aprendizaje (secuencial - necesita progresión lógica de pasos incrementales pequeños/ global - requiere de una visión integral) [3]. Para el análisis de los datos, el EA se midió mediante la

variable cualitativa “EA preferido por los estudiantes de ingeniería” que toma los valores dicotómicos Si - No (se excluyeron aquellos que no podían considerarse en ninguna de las dos categorías, considerándolos como “moderados”). Por otra parte, para cuantificar la permanencia se plantearon dos modelos, que toman al “Progreso académico” como variable politómica ordinal cuyos valores pueden ser: Óptimo (PAO), Moderado (PAM), Regular (PAR), Insuficiente (PAI). Estos modelos fueron verificados para la cohorte 2017 con datos académicos del año en curso 2020. Por ejemplo, si un alumno había sido catalogado según el modelo como PAO, debería estar cursando durante 2020 el cuarto nivel de su carrera y tener aprobadas al menos un 80 % de las materias cursadas. Tomando juntas las dos categorías superiores (PAO y PAM) y las dos categorías inferiores (PAR y PAI) el modelo 1 predijo correctamente el 80 % de los casos analizados, con la particularidad de que en el 20 % restante en general subieron de categoría. Ambas variables se analizaron mediante tablas de contingencia, contrastando la hipótesis nula que presupone la independencia entre ellas, mediante el estadístico χ^2 de Pearson. La conclusión es que no hay una relación entre el EA del estudiante y su permanencia en la Universidad.

2. Materiales y Métodos

2.1 Determinación de los Estilos de Aprendizaje

A partir del interés en determinar cuáles son los Estilos de Aprendizaje (EA) de los estudiantes de primer año de Ingeniería, se seleccionó el índice de estilos de aprendizaje de Felder como instrumento cuantitativo. Éste clasifica las tendencias de aprendizaje en cuatro dimensiones: activo-reflexivo, sensorial-intuitivo, visual-verbal y secuencial-global. El instrumento fue desarrollado por Felder y Soloman [4] de la Universidad Estatal de Carolina del Norte. Utilizando la herramienta Formularios de Google, se recabó información de 190 alumnos de primer año de Ingeniería durante el año 2017. Luego de filtrados los datos, se descartan alumnos recurrentes para la correlación con la variable permanencia. El cuestionario se aplicó además a las cohortes ingresantes 2018 y 2019 para poder comprobar si los estilos de aprendizaje en primer año varían de un año a otro. Luego de analizar los resultados obtenidos, vemos que las diferencias, para cada dimensión, entre cohortes son poco apreciables [5].

Los resultados obtenidos para los Estilos de Aprendizaje fueron: en cuanto a la dimensión activo-reflexivo, se observó que el 74 % de los estudiantes procesa la información mediante tareas activas y el resto a través de la reflexión o introspección. Con respecto a la dimensión sensorial-intuitiva, el 81 % de los estudiantes es sensitivo. Esto refleja que prefieren información externa, sensitiva a la vista, al oído o a las sensaciones físicas. El 19 % se clasificó como intuitivo, percibiendo la información interna o intuitiva a través de memorias, ideas, lecturas, etc. En materia de la información externa, el 81 % de los estudiantes se calificaron como visuales. Prefieren recibir la información dada en forma de cuadros, diagramas, gráficos, demostraciones, etc. El resto prefiere formatos verbales mediante sonidos, expresión oral y escrita, fórmulas, símbolos, etc. Sobre la dimensión secuencial-global, el 71 % desarrolla un procedimiento secuencial que necesita una progresión lógica de pasos incrementales pequeños y el resto realiza un entendimiento global que requiere de una visión integral. Cabe destacar que se nota en algunos casos una tendencia a equilibrar ambos polos de una o más dimensiones. Según Felder, este balance resulta positivo, ya que de esta manera el estudiante está abierto a recibir estímulos de uno u otro polo de la dimensión equilibrada. Los resultados obtenidos son muy

similares a los recabados por Felder en sus propias investigaciones, aplicando el índice a más de 2000 individuos estudiantes de Ingeniería [6]

2.2 Categorías de Permanencia

Las tablas que aparecen a continuación fueron publicadas en [7]. La Tabla 1 muestra las 4 categorías en que se clasificaron los estudiantes del ciclo básico:

Tabla 1. Categorías de permanencia

Progreso Académico Óptimo (PAO)
Progreso Académico Moderado (PAM)
Progreso Académico Regular (PAR)
Progreso Académico Insuficiente (PAI)

La hipótesis es que la posibilidad de que un estudiante culmine la carrera en el tiempo estipulado disminuye a medida que bajamos en las categorías mencionadas, y el desgranamiento y la posibilidad de abandono aumenta en el mismo sentido.

Se plantearon dos modelos diferentes para realizar la clasificación, siendo ambos modelos aplicables, se utiliza en el análisis de la relación entre las variables el más sencillo. Describimos someramente el modelo, publicado en [7].

“En el primer modelo considerado, se clasifican las asignaturas de primer año, otorgándoles a algunas un peso mayor que a otras. ... (Las asignaturas) fueron divididas ... en: básicas, contando dentro de estas las ciencias básicas (Análisis Matemático 1, Álgebra y Geometría Analítica, Física 1, Química), otorgándoles un mayor grado de dificultad, e integradoras; el resto, aquellas que tienen mayor probabilidad de ser regularizadas o aprobadas en forma directa, de acuerdo con nuestras observaciones, apoyadas por otras referencias. Teniendo en cuenta esto” surge la clasificación que se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Definición categorías de permanencia. Modelo 1

PAO	4 materias básicas aprobadas
PAM	Al menos 2 materias básicas aprobadas
PAR	Regularizadas o aprobadas más de 2 materias integradoras o una básica
PAI	Ninguna materia básica y menos de 2 integradoras aprobadas o regularizadas

Se realizó un relevamiento de datos del Sistema Académico para obtener el número de alumnos en cada categoría. Se analizan los datos de 170 alumnos que contestaron el ILS (Índice de Estilos de Aprendizaje, por sus siglas en inglés), en forma voluntaria en el año 2017 (cabe aclarar que fueron 190 los alumnos que contestaron inicialmente el ILS, pero para esta categorización no se tuvieron en cuenta los estudiantes que no estaban cursando asignaturas por primera vez).

Los resultados obtenidos pueden observarse en la Tabla 3

Tabla 3. Número de alumnos por categoría

Estudiantes por categoría		
Categoría	Número de estudiantes	Porcentaje
PAO	13	7,65%
PAM	73	42,95%
PAR	46	27,05%
PAI	38	22,35%
Total	170	100,00%

Resultados y Discusiones

A partir de estas dos variables Estilos de Aprendizaje y Permanencia, medida mediante el Progreso Académico, se realizó un análisis mediante tablas de contingencia bidimensionales (Tablas 4 a 6), contrastando la hipótesis nula (que presupone la independencia entre ellas), mediante el estadístico χ^2 de Pearson, utilizando para el análisis estadístico el programa SPSS [8]. El hecho de que dos variables sean independiente significa que los valores de una de ellas no están influidos por la modalidad o nivel que adopte la otra. Los valores obtenidos de Chi-cuadrado de Pearson (χ^2) son concluyentes respecto a la independencia entre ambas variables: no hay una relación entre el EA del estudiante y su permanencia en la Universidad.

Tabla 4. Resumen de procesamiento de casos

	Casos					
	Válidos		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
EEAA * Permanencia	104	100,0%	0	0,0%	104	100,0%

Tabla 5. Tabla de contingencia EEAA vs Permanencia: Frecuencias observadas

		Permanencia				Total
		1	2	3	4	
EEAA	1	4	29	17	12	62
	2	3	21	9	9	42
Total		7	50	26	21	104

Tabla 6. Pruebas de chi-cuadrado

	Valor	gl	Significación asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	0,485	3	0,922
Razón de verosimilitud	0,491	3	0,921

Asociación lineal por lineal	0,020	1	0,886
N de casos válidos	104		

El estadístico de contraste χ^2 de Pearson (observado) es 0,485, el cual tiene asociada una probabilidad (significación asintótica) de 0,922. Puesto que esta probabilidad es mayor que 0,05, se decide aceptar la hipótesis nula, concluyendo que no existe una relación de dependencia entre el Estilo de Aprendizaje de los estudiantes del primer nivel de la carrera de Ingeniería y su Progreso Académico.

En otra correlación se incluyó a los estudiantes “moderados” obteniéndose también independencia entre Estilos de Aprendizaje y Permanencia (Tablas 7 a 9).

Tabla 7. Resumen de procesamiento de casos

	Casos					
	Válidos		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
Estilo * Permanencia	169	100,0%	0	0,0%	169	100,0%

Tabla 8. Tabla de contingencia EEAA vs Permanencia: Frecuencias observadas

		Permanencia				Total
		PAO	PAM	PAR	PAI	
Estilo	Si	4	29	17	12	62
	No	3	21	9	9	42
	Moderado	5	23	21	16	65
Total		12	73	47	37	169

Tabla 9. Pruebas de chi-cuadrado

	Valor	gl	Significación asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	3,119	6	0,794
Razón de verosimilitud	3,182	6	0,786
Asociación lineal por lineal	0,796	1	0,372
N de casos válidos	169		

En este caso, el estadístico de contraste χ^2 de Pearson (observado) es 3,119, el cual tiene asociada una probabilidad de 0,794. Cuando realizamos la prueba estadística utilizando SPSS (o cualquier otro software de cálculo estadístico) la respuesta se expresa en términos de probabilidad; nos indica cuál es la probabilidad de obtener un valor mayor o igual que el chi-cuadrado observado: $Pr(\chi^2 \geq 3,119) = 0,794$, es decir, cuál es la probabilidad de que se dé la hipótesis nula. Como esta probabilidad es elevada y mayor a 0,05, que es el límite para aceptar la hipótesis nula, se decide aceptar la misma, concluyendo que no existe una relación de dependencia entre el Estilo de Aprendizaje de los estudiantes del primer nivel de Ingeniería y su Progreso Académico.

Es importante destacar que la hipótesis de Felder es que los profesores que adaptan su estilo de enseñanza para incluir los dos polos de cada dimensión de su modelo se aproximan a crear un ambiente de aprendizaje óptimo para la mayoría de sus alumnos [3]. Los datos respecto al EA

de los estudiantes, muestra que un elevado porcentaje presentan un equilibrio en las cuatro dimensiones. Sin embargo, si analizamos si existe relación entre este equilibrio y el progreso académico, los datos demuestran que estas dos variables son independientes.

3. Conclusiones

Los resultados obtenidos, nos permiten conocer los EA de los alumnos de nuestra Regional, siendo una herramienta útil para mejorar las prácticas pedagógicas. Los resultados de este estudio indican que quienes están cursando primer año probablemente tengan preferencia de estilo de aprendizaje visual, a través de la actividad y preferencia por el aprendizaje secuencial. Los esfuerzos para abordar estas preferencias presentan la mejor oportunidad para incorporar un cambio en la forma de enseñanza efectivo, ya que el conocimiento de los Estilos de Aprendizaje de los estudiantes abre la puerta para adaptar los métodos de enseñanza a las preferencias de los estudiantes y podrían ensayarse métodos apropiados para mejorar la permanencia, con la incorporación de acciones, por parte de los docentes que permitan la formación integral del estudiante.

Otra cuestión interesante para abordar es cuál debería ser el estilo de aprendizaje conveniente para los graduados de ingeniería. Por ejemplo, en la dimensión secuencial/global, vemos que los estudiantes prefieren el estilo secuencial, es decir se centran en el orden y la cronología y prefieren soluciones algorítmicas o universales. La presentación no lineal de conceptos o problemas de final abierto son un desafío para los estudiantes secuenciales. Llevado a la práctica, esto es un poco preocupante en un ingeniero, ya que a menudo se enfrentarán con problemas que podrían resolverse de varias maneras. Es decir que, para satisfacer las necesidades del mercado laboral, los estudiantes de Ingeniería deberían sentirse más cómodos con el pensamiento global. Una propuesta podría ser, potenciar las herramientas para el aprendizaje secuencial en los primeros años, de manera que los estudiantes se sientan más cómodos, e ir incorporando estrategias globales a medida que avanzan en la carrera para desarrollar el aprendizaje global.

Por otro lado, tenemos un panorama un poco más claro acerca de la permanencia de los estudiantes en la Facultad Regional. El modelo planteado nos permitirá al final del primer ciclo, conocer en qué estado de progreso se encuentra cada alumno y buscar las herramientas necesarias para tratar de retener a quienes estén en peligro, o que tengan un progreso regular, para minimizar el desgranamiento primero y en última instancia, la deserción.

Bibliografía

- [1] Brito-Orta, D. (2015). Evaluación de la fiabilidad del cuestionario sobre estilos de aprendizaje de Felder y Soloman en estudiantes de medicina. *Investigación en Educación Médica*, volumen (4), páginas 28-35. doi: 10.1016/S2007-5057(15)72166-6
- [2] Felder, Richard & JE, Spurlin. (2005). Applications, reliability and validity of the Index of Learning Styles. *International Journal of Engineering Education*. 21. 103-112.
- [3] Felder, Richard. (1988). Learning and Teaching Styles in Engineering Education. *Journal of Engineering Education -Washington-*. 78. 674-681.

- [4] Soloman, Barbara & Felder, Richard. (1999). Index of Learning Styles Questionnaire. Learning.
- [5] Buttini, S., García, H., Armijo, D., Tonidandel, C., Cordero, V., Juri, R., . . . Vizcaíno, V. (2019). Análisis estadístico de los resultados del Test de Felder en las cohortes 2017 a 2019 en primer año de la FRSR. Libro de Actas X EnIDI, (pág. 239). Mendoza.
- [6] Buttini, S., García, H., Armijo, D., Tonidandel, C., Cordero, V., Juri, R., . . . Vizcaíno, V. (2017) Estilos de Aprendizaje de los Estudiantes de Primer Año de Ingeniería de la FRSR de la UTN. Libro de Actas IX EnIDI, (pág. 186). Mendoza.
- [7] Armijo, D., Vizcaíno, V., González Solana, L., Santos, J. Buttini, S., Tonidandel, C., Juri, R., García, H., Cordero, M. (2020). Caracterización de la permanencia en la FRSR de los estudiantes del ciclo básico. Disco Compartido 2.0. CABA: EdUTecNe.
- [8] Aguilera del Pino, A. (2001). Tablas de contingencia bidimensionales. Madrid, España: La Muralla S. A.

Diseño de un objeto de aprendizaje para la enseñanza de derivada

Carolina Tonidandel
Universidad Nacional del Comahue
carotonidandel@gmail.com

Resumen

Se busca diseñar un Objeto de Aprendizaje (OA) para la enseñanza de Derivada. Un OA es un conjunto de recursos unidos con un propósito educativo, diseñado y creado en pequeñas unidades digitales para ser reutilizado y que cuenta con una estructura de información externa (metadatos) para facilitar su almacenamiento, identificación y recuperación.

Derivada de funciones de una variable es un tema de Cálculo I, fundamental en la formación de futuros ingenieros. Se trabajó con el software GeoGebra para la elaboración de contenido interactivo.

Los metadatos son atributos que describen un OA otorgando información semántica y pedagógica para facilitar su hallazgo en la web. Permite clasificar el contenido en todos sus aspectos. De los estándares para describir los OA se seleccionó el IEEE-LOM (Learning Object Metadata). En cuanto al formato del OA, se eligió el formato SCORM (Sharable Content Object Reference Model), el cual brinda un marco de trabajo y una referencia de implementación detallada. Un paquete SCORM es un archivo en formato ZIP que contiene los recursos (imágenes, videos, documentos, páginas web, etc.), el manifiesto (archivo XML) y las hojas de estilo que permiten interpretarlo.

Se validará el uso del OA con alumnos de una comisión de primer año de Ingeniería Civil, Industrial y Electromecánica de la FRSR de la UTN. Se espera que los alumnos conozcan el concepto derivada de una función de una variable y su interpretación geométrica. Finalmente se publicará el OA en un Repositorio de OA (ROA) para facilitar la reutilización y permanencia del contenido.

Palabras Clave: Objeto de Aprendizaje – metadatos - formato SCORM – derivada - educación superior

1. Introducción

El concepto de derivada es uno de los conceptos más importantes del Cálculo, parte de la formación de base de futuros ingenieros. Su importancia radica en la necesidad para un ingeniero de formar adecuadamente el pensamiento analítico, el rigor demostrativo, el sentido de la exactitud, la objetividad numérica y el apego a la medición [1].

Un OA es un conjunto de recursos reunidos con un propósito educativo, autocontenido, diseñado y creado en pequeñas unidades digitales para maximizar el número de situaciones en que puede ser reutilizado, y que cuenta con una estructura de información externa (metadatos) para facilitar su almacenamiento, identificación y recuperación [2]. Este concepto surge para reducir el inconveniente que se tiene al buscar información en la red, el usuario se enfrenta a una cantidad de sitios de información, que no siempre cumplen con la expectativa de búsqueda.

Las propiedades más importantes de los OA son la reusabilidad y la granularidad. El concepto de granularidad hace referencia a resaltar una concepción de objetos como pequeñas unidades,

que pueden ser acopladas y/o adicionadas de diversas maneras. La reusabilidad del OA va a depender en gran medida del grado de granularidad del recurso [2]. Existen diferentes estándares para su descripción y su formato, y una serie de metodologías para su diseño.

Experiencias en la que se ha validado el uso de los OA para contenidos matemáticos, se ha concluido que ayudan a la comprensión y a relacionar temas teóricos y prácticos, que las características que los estudiantes destacan son la interactividad, la posibilidad de la visualización de los gráficos y la interpretación geométrica [3] y [4].

2. Desarrollo

En el marco del Trabajo Final de la Maestría Enseñanza en Entornos Virtuales se lleva a cabo una propuesta didáctica que plantea el uso de OA en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

La descripción de los OA debe seguir un estándar, se seleccionó el LOM, es uno de los más difundidos y es específico para OA, abierto, publicado por IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers). El propósito de este es facilitar la búsqueda, evaluación, adquisición y uso de los OA.

El formato para el OA elegido es el SCORM, este permite la creación de contenido que puede importarse dentro de distintas plataformas educativas.

Finalmente, la metodología seleccionada para el diseño del OA es CrOA (Creación de Objetos de Aprendizaje). Esta consta de cinco etapas, que orientan al autor tanto en su diseño instruccional como tecnológico, consta de un documento guía y una serie de anexos que profundizan la información de cada etapa [5]. Las etapas son Análisis, Diseño, Desarrollo, Publicación y Evaluación.

Para la etapa de desarrollo del OA se hizo uso del software GeoGebra [6]. La elección de este se debe a que es un software libre, que permite trabajar con las distintas representaciones de un concepto matemático: gráfica, numérica y simbólica. Posibilita la interactividad, y la elaboración es sencilla.

3. Resultados Parciales o Avances

El objetivo que se busca alcanzar con el OA elaborado es que el alumno pueda comprender el concepto de la derivada de una función de una variable y su interpretación geométrica. Para esto se desarrollaron dos elementos interactivos. El primero de ellos muestra el gráfico de una función polinómica y dos puntos de la gráfica, con un deslizador, el usuario puede trasladar uno de los puntos sobre la gráfica. Se muestra también la recta secante, el cálculo del cambio en x , el cambio en y y la pendiente de la recta secante (Fig. 1).

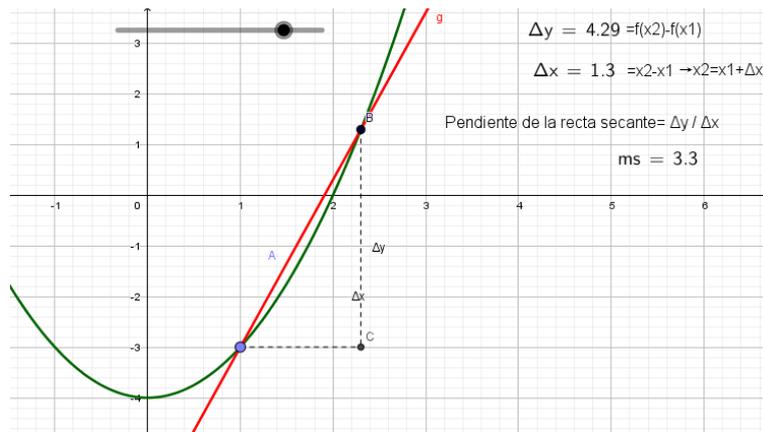


Fig. 1. Gráfica de la función, de la recta secante, el valor de la pendiente de la recta secante.

Una vez que el punto móvil alcanza al punto fijo, se traza la recta tangente, cambia su color, se muestra que el cociente de incrementos no se puede calcular y la definición de la pendiente de la recta tangente en el punto, con su valor correspondiente (Fig. 2).

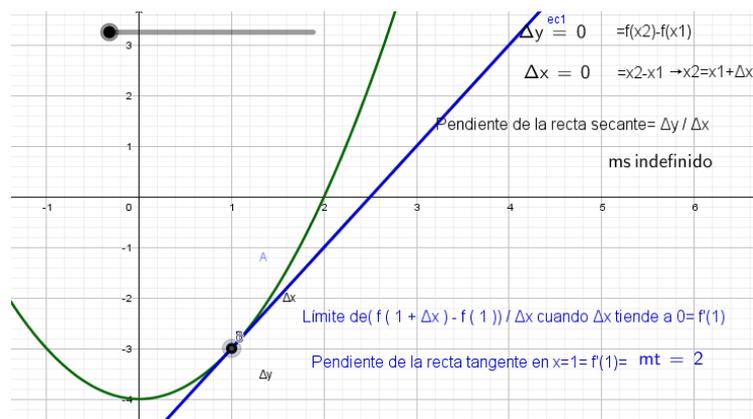


Fig. 2. Gráfica de la función, de la recta tangente, valor de la pendiente y la derivada en el punto.

El segundo elemento interactivo muestra la gráfica de otra función polinómica, de grado tres, un punto sobre la gráfica, que se mueve al mover el deslizador. Se puede observar la recta tangente en el punto y el valor de la pendiente. Al cambiar el signo de la pendiente, cambia el color de la recta. También hay un botón, que, al tocarlo, muestra la gráfica de la función derivada (Fig. 3).

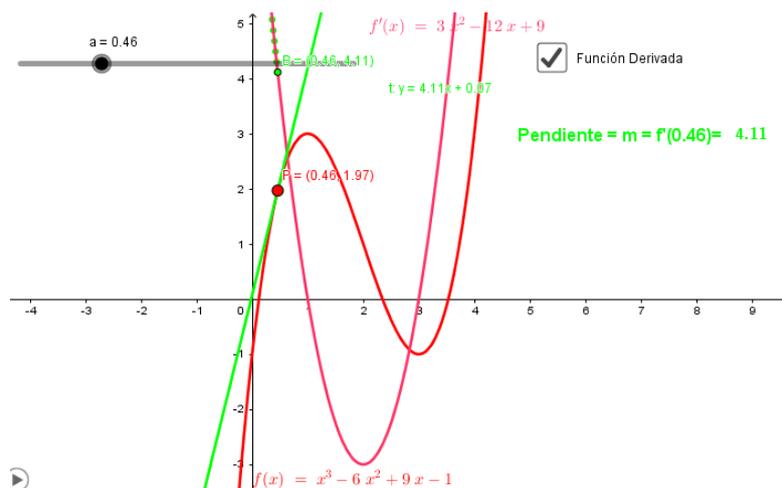


Fig. 3. Gráfica de la función, de la recta tangente, el valor de la pendiente de la recta tangente.

El OA diseñado se incorporará en el aula virtual de la comisión 2, integrada por alumnos de primer año de Ingeniería Civil, Industrial y Electromecánica. La matrícula es entre 50 a 70 alumnos cada año. Se validará el uso del OA para luego publicarlo en un repositorio.

Agradecimientos

El autor desea expresar su agradecimiento a la Lic. María Claudia Allan por su contribución y al Dr. Andrés Flores por su dirección en el trabajo final.

Bibliografía

- [1] Iglesias Domuecq N., Alonso Berenguer I. y Sánchez Gorina, A. (2017) (PDF) El Cálculo Diferencial e Integral en las carreras de ciencias técnicas. Especificidades de su enseñanza. pp. 660-670. Revista Maestro y Sociedad. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/321754079_El_Calculo_Diferencial_e_Integral_en_las_carreras_de_ciencias_tecnicas_Especificidades_de_su_ensenanza
- [2] Allan, C. (2018) Diseño e implementación de Objetos de Aprendizaje para la enseñanza de Cálculo Multivariable. (Tesis de Fin de Grado. Universidad Nacional del Comahue, Argentina).
- [3] Caraveo, E., Ling, C. Heredia, B. (2009). Objetos de aprendizaje como recursos didácticos para la enseñanza de matemáticas. Apertura, Vol. (1), Núm. 1. Recuperado de <http://www.udgvirtual.udg.mx/apertura/index.php/apertura/article/view/123/122>
- [4] Allan, C., Parra, S., Martins, A. (2019). Objetos de aprendizaje para la enseñanza de derivadas direccionales: diseño, implementación y evaluación. En Congreso Nacional de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología (pp. 125-134). Argentina: Red de Universidades con Carreras en Informática. Disponible en <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/90736>
- [5] C. Sanz, F. Barranquero, y L. Moralejo. (2014) Metodología para la creación de objetos de aprendizaje CrOA. Recuperado de <http://croa.info.unlp.edu.ar/>. Último acceso: 12/05/2020
- [6] GeoGebra www.geogebra.org

Diseño de actividades de visualización de superficies cuádricas con el uso de realidad aumentada

Carolina Tonidandel; Eugenia Compagnoni; Hugo García; Sandra Buttini; Ricardo Juri;
Verónica Vizcaíno; Daniela Armijo; Valeria Cordero; Carlos Samudio; Tomás Anaya; Lucas
González
Facultad Regional San Rafael, Universidad Tecnológica Nacional
carotonidandel@gmail.com

Resumen

Se conoce, según los resultados de un proyecto anterior sobre los estilos de enseñanza y aprendizaje, que los estudiantes de primer año de ingeniería perciben preferentemente información externa a través de la modalidad sensorial visual. Se anhela indagar sobre estos temas. Con la realidad aumentada (RA) es posible añadir información visual al entorno, y crear prácticas interactivas enriqueciendo la experiencia visual y mejorando la calidad de la comunicación. Se seleccionó el uso de un software libre, con la idea de motivar a los alumnos el deseo de crear y transformar. Con el uso de Aumentaty Creator se diseñó, lo que se denomina en el software, un proyecto. Se trata de una imagen 3D que describe una plaza con distintos elementos haciendo uso de superficies cuádricas. Se publica en el repositorio de la aplicación. Y los alumnos con su Smartphone pueden observar la RA desde cualquier lugar y en cualquier momento. Se les pide que identifiquen las superficies cuádricas e investiguen sus nombres y ecuaciones, para esto se sugiere bibliografía. Finalmente, se insta a los alumnos a seleccionar una de las superficies cuádricas y crear una RA, para describirla, pudiendo agregar imágenes 2D o 3D, links o videos. Con la finalidad de que, como futuros ingenieros, incursionen en las últimas tecnologías.

Palabras Clave: superficies cuádricas – realidad aumentada – geometría analítica – educación superior

1. Introducción

Las ecuaciones cartesianas de superficies cuádricas y su representación gráfica forman parte del programa de Álgebra y Geometría Analítica de primer año de ingeniería. La apropiación de estos conceptos es fundamental para que el alumno continúe su formación en Análisis Matemático II. Estas gráficas son en tres dimensiones (3D), la hoja o el pizarrón limitan la posibilidad de observar estas dimensiones. Se requiere que el alumno desarrolle habilidades de visualización y decodificación para apropiarse del concepto. La correcta visualización potencia la comprensión de conceptos matemáticos [1]. Los resultados de una investigación sobre Estilos de Aprendizaje de los estudiantes de la misma institución donde se llevará a cabo la experiencia muestran una predisposición al aprendizaje con preeminencia de los estímulos visuales [2].

La RA es una tecnología emergente que superpone a una imagen real, obtenida a través de una pantalla, imágenes, modelos 3D u otro tipo de información generados por ordenador [3], facilitando la visualización del objeto deseado. Los expertos que participaron en la formulación del informe de la serie NMC Horizon Report: Edición Educación Superior 2016 [4] incluyen la RA entre los seis desarrollos importantes en la tecnología educativa que deben situarse en la misión central de las universidades.

En experiencias educativas, el uso de RA muestra efectos positivos en el proceso de formación como: atención, memoria, ritmo eficiente de aprendizaje, motivación, entre otras. Sin embargo, es necesario que estas expectativas generadas por el uso de RA sean cuestionadas y confirmadas en la práctica [3].

Finalmente, se considera que el protagonista del aprendizaje es el alumno, por lo que se deben plantear una metodología en la que el aprendizaje sea un proceso constructivo y no receptivo [5].

Se busca desarrollar actividades de aprendizaje para superficies cuádricas que hagan uso de la RA.

2. Desarrollo

Una de las aplicaciones de RA en educación es el modelado de objetos 3D, con la que el alumno pueda crear, y visualizar modelos 3D y manipularlos, acercarlos, alejarlos, girarlos [3].

Por otro lado, tanto alumnos como docentes cuentan con dispositivos móviles. Estos tienen un gran potencial para enriquecer la experiencia académica [6], brindando el acceso a conectividad, cámaras, sensores y GPS. Esto permite el desarrollo de la experiencia, ya que, para hacer uso de la RA, sólo es necesario disponer de un dispositivo con cámara.

Para llevar adelante la experiencia se seleccionó el software libre Aumentaty [7], con su versión para PC Aumentaty Creator, se generó un proyecto de RA con su respectivo marcador (símbolo impreso en papel) o imagen, en el que se superpone la información deseada. Para elaborar la imagen 3D se utilizó el software libre Blender [8]. La imagen simula una plaza y se usaron diferentes superficies cuádricas para elaborarla (Fig. 1).



Fig. 1. Imagen de la plaza realizada con Blender

3. Resultados Parciales o Avances

Se diseñaron las actividades, y fueron incluidas en una secuencia didáctica con el objetivo que los alumnos logren conocer el concepto y la clasificación de superficies cuádricas, sus ecuaciones y sus gráficas. Una de las actividades consiste en que, los alumnos, identifiquen en la RA las

distintas superficies cuádricas, la actividad es grupal. Con el apoyo de un material multimedia como consulta bibliográfica, desarrollado por los docentes. Deben entregar un informe con las superficies que identifiquen, sus nombres y sus ecuaciones, y la gráfica de cada una de ellas, imitando las figuras de la RA. Este trabajo se comparte con el resto de los compañeros, para autocorrección de la tarea desarrollada, y para que entre todos se completen la totalidad de los objetos que figuran en la RA.

Finalmente, cada grupo debe instalar Creator en una computadora para generar un proyecto de RA en el cual se observe una de las superficies cuádricas, su gráfica, su ecuación y alguna imagen de un objeto real que tenga la forma de la superficie escogida. Con cada proyecto de Creator se puede anexar a un marcador: una imagen 2D, un texto, un video, una imagen 3D o un link. Una vez publicado en el repositorio de la Comunidad de Aumentaty, cada grupo debe observar el trabajo publicado por otro y dar una devolución.

El paso a seguir es la implementación de la secuencia didáctica con los alumnos de la comisión 2 de Álgebra y Geometría Analítica de primer año de Ingeniería de la Facultad Regional San Rafael de la UTN.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por el Proyecto de Investigación “Evaluación de una experiencia de aprendizaje de cuádricas con Realidad Aumentada” de la Universidad Tecnológica Nacional.

Los autores desean expresar su agradecimiento al Sr. Ariel Nieto por su contribución.

Bibliografía

[1] Vicente, P., Duarte, E., Toro, J. R., & Calder, A. (2006). Estrategias de visualización en el cálculo de varias variables. *Revista Educación y Pedagogía*, XVIII (núm. 45), 119–131. Disponible en <http://aprendeonline.udea.edu.co/revistas/index.php/revistaeyp/article/viewFile/6092/5498>

[2] Vizcaíno, V., Armijo, D., Sandra, B., González, L., & Santos, J. (2018). Análisis de las respuestas al Test de Felder. *Actas Completas VI Jornada de Enseñanza de la Ingeniería* (pp. 213-218). Córdoba: UTN-FRC

[3] Prendes Espinosa, Carlos, *Realidad aumentada y educación: análisis de experiencias prácticas*. Pixel-Bit. *Revista de Medios y Educación [en línea]* 2015, (Enero-Junio): [Fecha de consulta: 1 de Septiembre de 2020] Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=36832959008>> ISSN 1133-8482

[4] Johnson, L., Adams Becker, S., Cummins, M., Estrada, V., Freeman, A., y Hall, C. (2016). *NMC Informe Horizon 2016 Edición Superior de Educación*. Austin, Texas: The New Media Consortium.

[5] Rodríguez Serrano, Karla Patricia, & Maya Restrepo, María Alejandra, & Jaén Posada, Juan Sebastián (2012). Educación en Ingenierías: de las clases magistrales a la pedagogía del aprendizaje activo. *Ingeniería y Desarrollo*, 30(1),125-142. [fecha de Consulta 10 de Septiembre de 2020]. ISSN: 0122-3461. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=852/85223369008>

[6] Chen, B., Seilhamer, R., Bennett, L (2014). Students' Mobile Learning Practices in Higher Education: A Multi-Year Study. *EDUCAUSE Review*, 2015.

[6] Aumentaty www.aumentaty.com

[7] Blender www.blender.org

Determinación del tamaño óptimo del lote de aprovisionamiento según el número de pedidos

Tania Daiana Tobares; Margarita Miguelina Mieras; Fabricio Orlando Sanchez Varretti
Grupo de Sistemas Complejos (SiCo), Universidad Tecnológica Nacional
mierasmiguelina@hotmail.com

Resumen

El problema del tamaño del lote es uno de los más importantes en la producción y el control de inventario [1]. Tomar las decisiones correctas respecto a cuándo y cuánta cantidad de materia prima y/o insumos adquirir afectará directamente el rendimiento del sistema y su productividad. En la literatura relacionada con el tema no se hallan menciones sobre la determinación del tamaño óptimo de lote de pedido a partir del análisis de todas las formas que existen para agrupar los requerimientos de las organizaciones. No se encontraron investigaciones que consideren la explosión combinatoria que arroja el estudio completo de las posibles soluciones con las que cuenta el sistema a la hora del aprovisionamiento de materiales.

En este contexto se comenzó a estudiar el desarrollo de una metodología que permita conocer la estrategia óptima para el abastecimiento de las necesidades reales de las empresas considerando todas las posibilidades de pedido que se presentan en el sistema. Para ello se elaboraron una serie de instrucciones en forma de algoritmos obteniendo programas computacionales que ejecutan las tareas necesarias para el análisis. Los estudios realizados favorecieron la obtención de una expresión analítica que representa las características fundamentales cuando, considerando el contexto organizacional, se tienen restricciones en la cantidad de pedidos que se pueden realizar.

Se pretende demostrar que, para sistemas de cantidades constantes de adquisición de material, las soluciones óptimas son grupos de igual tamaño obtenidos del cociente entre la cantidad de periodos y la cantidad de pedidos. Esta generalización permitiría simplificar el análisis y facilitar la toma de decisiones.

Palabras Clave: Tamaño de lote - planificación - clusters - optimización

1. Introducción

La forma en que se adquieren las materias primas e insumos y la organización de la producción son tópicos de continuo interés científico e industrial. Sin embargo, distan mucho de estar completamente desarrolladas y comprendidas las formas óptimas de organizar la producción [2]. Es por esto que se plantea la necesidad de analizar diversas técnicas alternativas que permitan optimizar los procesos de modo que se obtengan no solo beneficios económicos sino de reducción de desperdicios y que conduzcan a la sustentabilidad.

Dentro de esta temática se observa que el problema del tamaño del lote es uno de los más importantes en la producción y el control de inventario [1]. Los modelos teóricos más usuales y que se han utilizado durante décadas son, entre otros: Lote por Lote; Lote Económico (EOQ); Balance Parcial de Período y el Algoritmo de W&W [3]. Cada uno de ellos, se destaca por una particularidad a la hora de resolver las necesidades de ordenar materiales y/o materias primas, para producir el bien que la empresa desee obtener. Sin embargo, no se han analizado todas las

combinaciones posibles de pedidos. La literatura revela un vacío cuando se trata del desarrollo de una herramienta que permita analizar todas las opciones de pedido que se manifiestan a la hora de efectuar la adquisición de materiales. Probablemente, esto se deba al grado de dificultad que evidencia un análisis exhaustivo de la totalidad de las alternativas del sistema, se sabe con certeza que la cantidad de opciones crece de forma exponencial a medida que aumenta la cantidad de periodos considerados [4].

En este marco resulta interesante investigar el comportamiento de los tamaños de los grupos de pedidos formados para satisfacer las necesidades del sistema. El estudio de agrupamientos implica el análisis de las distintas formas en que se congregan los elementos que lo conforman para constituir estos grupos (clusters) de acuerdo a una característica o medida distintiva [5].

La determinación de las variables que caracterizan el modelo propuesto permite establecer una expresión matemática que relacione, a lo largo del tiempo, el costo de compra en función de la cantidad del pedido. De esta forma continuar el estudio considerando restricciones que se pueden presentar en el contexto organizacional de las empresas actuales.

2. Desarrollo

Para un horizonte de planificación N formado por i periodos, el objetivo es analizar todas las posibles opciones de pedidos j que satisfacen las necesidades requeridas α_{ij} , observando la cantidad de pedidos realizados Np_j para luego estudiar los costos en los que se incurre (costo de pedir, C_p y costo de mantener, C_m). Un método para resolver el problema de optimización es enumerar todas las combinaciones posibles de realizar pedidos, a partir de la expresión:

$$2^{(N-1)} \quad (1)$$

Si se considera un sistema de cinco períodos ($N=5$), las opciones de pedido $2^{(5-1)} = 16$ se representan mediante un programa computacional de desarrollo propio, obteniendo:

Tabla 1. Opciones de pedidos para un sistema de 5 periodos.

Combinaciones/Períodos	i_1	i_2	i_3	i_4	i_5	Np_j
j_1	1 $a_{1.1}$	1 $a_{1.2}$	1 $a_{1.3}$	1 $a_{1.4}$	1 $a_{1.5}$	$Np_1 = 5$
j_2	1	1	1	2	0	$Np_2 = 4$
j_3	1	1	2	0	1	$Np_3 = 4$
j_4	1	1	3	0	0	$Np_4 = 3$
j_5	1	2	0	1	1	$Np_5 = 4$
j_6	1	2	0	2	0	$Np_6 = 3$
j_7	1	3	0	0	1	$Np_7 = 3$
j_8	1	4	0	0	0	$Np_8 = 2$
j_9	2	0	1	1	1	$Np_9 = 4$
j_{10}	2	0	1	2	0	$Np_{10} = 3$
j_{11}	2	0	2	0	1	$Np_{11} = 3$
j_{12}	2 $a_{12.1}$	0	3 $a_{12.2}$	0	0	$Np_{12} = 2$
j_{13}	3	0	0	1	1	$Np_{13} = 3$
j_{14}	3	0	0	2	0	$Np_{14} = 2$
j_{15}	4	0	0	0	1	$Np_{15} = 2$

j_{16}	5 $a_{16.1}$	0	0	0	0	$Np_{16} = 1$
----------	-----------------	---	---	---	---	---------------

- »» La primera combinación j_1 implica realizar cinco pedidos ($Np_1 = 5$), uno en cada periodo para satisfacer las necesidades en el momento que son requeridas.
- »» En la combinación j_{12} se ejecutan dos pedidos ($Np_{12} = 2$), uno en el período i_1 para suministrar los períodos $i_{(1,2)}$ y otro pedido en el período i_3 para abastecer los períodos $i_{(3,4,5)}$.
- »» La última combinación j_{16} implica realizar un único pedido ($Np_{16} = 1$) en el primer periodo para satisfacer las necesidades de los cinco periodos $i_{(1,2,3,4,5)}$.

A fin de establecer una expresión matemática que relacione los costos en función de los pedidos realizados, se determinan otras variables: a_{jk} , cantidad de períodos acumulados en cada pedido de la combinación j (o tamaño de cada cluster de la combinación j), siendo k el número de pedido en cada combinación j .

Considerando las variables descriptas anteriormente, suponiendo que las cantidades requeridas en cada periodo son iguales ($\alpha = cte$) y luego de cálculos auxiliares se determina que la fórmula (2) de costo total resulta:

$$CT = CpNp_j + C_m \alpha \sum_{k=1}^{Np_j} \left[\frac{a_{jk}(a_{jk}-1)}{2} \right]. \quad (2)$$

3. Resultados Parciales o Avances

Sin perder la generalidad de los resultados, el costo de pedir se considera igual a cero y el costo mantener constante e igual a uno. Por lo que solo se utiliza el término de la sumatoria de la fórmula (2). Siendo CT^* el costo total reducido.

Analizando el sistema cuando $Np = 2$ y siguiendo el ejemplo de la tabla 1, en el caso de combinación j_{12} , CT^* resulta:

$$CT^* = a_{12.1}(a_{12.1} - 1) + a_{12.2}(a_{12.2} - 1). \quad (3)$$

Teniendo en cuenta que $a_{12.1} + a_{12.2} = N$, entonces $a_{12.2} = N - a_{12.1}$, por lo tanto:

$$CT^* = N(N - 1) - 2a_{jk}(N - a_{jk}). \quad (4)$$

Como puede verse en la fórmula (4), el costo total reducido CT^* , cuando $Np_j = 2$, está en función de N y del valor de un solo cluster a_{jk} . Analizando el comportamiento del sistema mediante un programa computacional de desarrollo propio se obtuvieron los datos reflejados en la Fig. 1 donde se observa la relación entre CT^* y el tamaño de uno de los dos clústeres a_{jk} para diferentes sistemas de tamaños $N \leq 21$. Se advierte que el costo máximo de cada sistema se presenta en dos situaciones, primero cuando $a_{jk} = 1$, contexto en la cual el primer agrupamiento abarca un solo período y de forma implícita queda determinado que el segundo agrupamiento abarca los períodos restantes, ya que $a_{j2} = N - a_{j1}$. Segunda situación cuando $a_{jk} = N-1$, y por lo tanto $a_{j2} = 1$.

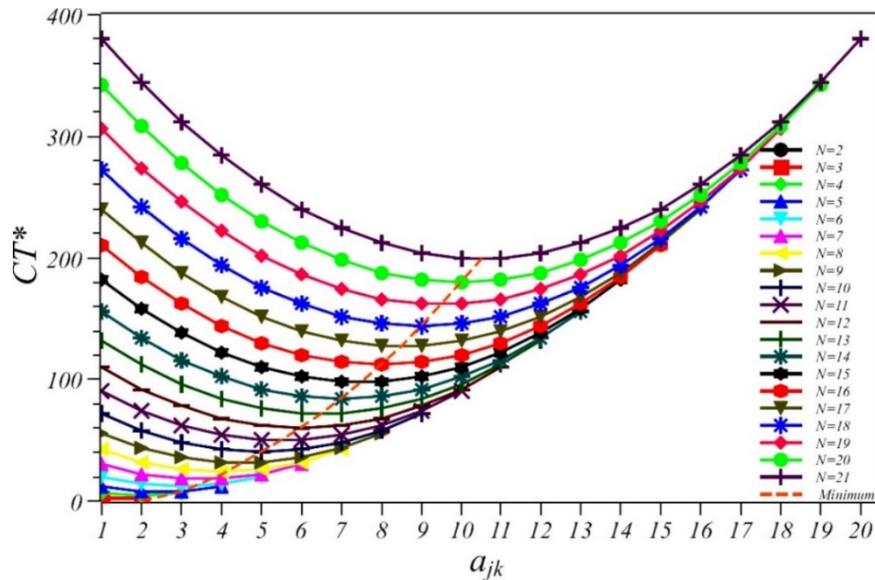


Fig. 1. Relación entre el costo total reducido (CT^*) y el tamaño de uno de los dos clústeres (a_{jk}) para diferentes sistemas de tamaños $N \leq 21$. La línea continua se comporta solo como una guía indicando el mínimo de cada sistema.

También se observa que para todos los casos el costo mínimo se logra cuando $a_{jk} = N / Np_j$, es decir, cuando $a_{j1} = a_{j2} = N/2$.

Se pretende continuar con el estudio para otros valores de Np_j a fin de demostrar que, para sistemas de cantidades constantes de adquisición de material, las soluciones óptimas son grupos de igual tamaño obtenidos del cociente entre la cantidad de periodos y la cantidad de pedidos (N/Np_j), como en el ejemplo presentado.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por el Proyecto de Investigación “Simulación computacional de agregación de sistemas complejos”, código: ASUTISR0004914TC y forma parte de la Tesis Doctoral “Modelo de simulación dinámico para planificación de requerimiento de materiales de industrias regionales de Mendoza”.

Bibliografía

- [1] Alfares, H. K. y Turnadi, R. (2018). Lot sizing and supplier selection with multiple items, multiple periods, quantity discounts, and backordering. Journal: Computers & Industrial Engineering, Volume 116, pp 59–71.
- [2] Holmstrom, J. y Romme, A.G.L. (2012). Five steps towards exploring the future of operations management. Operations Management Research Journal, 5: 37–42.
- [3] Heizer, J. y Render B. (2009). Principios de administración de operaciones. Séptima edición, Pearson Educación, México, ISBN:978-607-442-099-9
- [4] Hopp, W. J, y Spearman, M. L. (2000). Factory physics: foundations of manufacturing management. 2nd ed. New York (N.Y.): McGraw-Hill.
- [5] Weeda, P. J. (1987). On similarities between lot sizing and clustering. Cost and Production Economics, v. 12, 65 - 69.

Análisis comparativo entre modelo de dimensionamiento de lotes y algoritmo genético para la optimización de pedido en un sistema de Planificación de Requerimientos de Materiales

Tania Daiana Tobares; Margarita Miguelina Mieras; Lautaro Urquiza; Marina Amaya Holgado;
Camila Cramero; Fabricio Orlando Sanchez-Varretti
Grupo de Sistemas Complejos (SiCo), Universidad Tecnológica Nacional
tanitobares@hotmail.com

Resumen

La necesidad de las empresas de reducir costos y aumentar sus beneficios ha obligado a hacer hincapié en las actividades logísticas como un enfoque para alcanzar estos objetivos. En particular, Material Requirements Planning (MRP) es uno de los sistemas que, utilizando una lista de materias primas e insumos, información de inventario y programa maestro de producción, permite calcular cuánto y cuándo debe realizarse la entrega. Al mismo tiempo, varias empresas han estado instalando sistemas MRP con informes de mejoras significativas en el control de inventario, la planificación de la producción, la programación de la fuerza de trabajo y los costos de producción. En este contexto, es interesante investigar cual es la estrategia óptima para cumplir con el suministro de materia prima e insumos. En este trabajo se plantea un análisis comparativo entre un modelo que fue diseñado para determinar pedidos con menores costos aplicables a todas las opciones de requerimiento de material y un método heurístico conocido como algoritmo genético en la determinación del tamaño óptimo de pedido.

A partir de un ejemplo ilustrativo estudiado y analizado en la bibliografía a base de algoritmo genético, se propone explorar todas las combinaciones posibles de pedido de materiales, calcular los costos asociados a cada una de estas combinaciones mediante simulación computacional. Por último, comparar la efectividad del modelo propuesto con respecto al algoritmo genético para el problema del tamaño del lote.

Palabras Clave: optimización – algoritmo genético – Material Requirements Planning (MRP) – tamaño de lote

1. Introducción

En la actualidad el problema del tamaño del lote es uno de los más importantes en la producción y el control de inventario [1]. Tomar las decisiones correctas respecto a cuándo y cuánta cantidad de materia prima y/o insumos adquirir afectará directamente el rendimiento del sistema y su productividad. Hoy en día distan mucho de estar completamente desarrolladas y comprendidas las formas óptimas de organizar la producción [2]. Por otro lado, la computación y dentro de ella la simulación son herramientas de apoyo a la hora de facilitar el arduo trabajo de quienes hacen uso de ellas para agilizar los tiempos de preparación de las tareas [3]. Es necesario hacer un buen uso de los recursos de la producción con el objetivo de satisfacer los objetivos de la empresa, por lo que planificar en forma óptima nuestro proceso productivo de

modo de alcanzar una manufactura y logística sustentable debe ser el fin de las empresas actuales [2].

Existen diferentes procedimientos para determinar el tamaño del lote. Un enfoque clásico se conoce como la cantidad de orden económica (EOQ) [4]. EOQ minimiza el pedido y los costos de transporte, pero asume requisitos constantes o muy poca variación de un período a otro. Para el caso donde el patrón de requisitos es significativamente variable. La heurística intenta minimizar el pedido y los costos de mantenimiento por unidad de tiempo [5]. Otro balance heurístico, parcial del período, selecciona el número de períodos cubiertos por una orden de modo que el costo total de mantenimiento sea lo más cercano posible al costo de la orden [6]. Existen muchas otras heurísticas que se basan en reglas, por ejemplo, costo mínimo unitario, período y cantidad fijos, entre otros. Sin embargo, estos métodos en distintas ocasiones pueden estar lejos de encontrar la solución óptima. Es por esta razón que en los últimos años se investigó sobre la exploración de todas combinaciones posibles de formas de pedir materia prima e insumos y la construcción de un modelo que fue diseñado para determinar dimensionamiento de lote con menor costo.

Nos proponemos en este trabajo realizar un análisis comparativo entre el modelo de programación dinámica determinado y el algoritmo genético para la optimización de tamaños de lotes en MRP, con el objetivo de investigar el comportamiento de los tamaños de grupos de pedidos formados para satisfacer las necesidades del sistema.

2. Desarrollo

Definir el tamaño del lote de producción es un problema frecuente y también uno de los más complejos en lo que respecta a la planificación de la producción, su complejidad depende de diversos elementos a tener en cuenta para su análisis. Debemos definir a cada uno de los períodos considerados como un sitio que tiene asociado una cantidad a pedir $\alpha_i \geq 0$, en la siguiente tabla (Tabla 1) se observa la representación en forma genérica de las distintas opciones para realizar los pedidos al momento de satisfacer los requerimientos en un período de planificación igual a N. Siendo el número total combinaciones para el modelo de programación dinámica $2^{(N-1)}$.

Tabla 1. Requerimientos netos para dos periodos

Periodo (i)	1	2
Requerimientos (α_i)	α_1	α_2

La solución óptima es aquella que tenga una cantidad de pedidos $1 \leq N_{pj} \leq N$ de tamaño $1 \leq a_{jk} \leq N$ que arroje menor costo total. Siendo N_{pj} cantidad de pedidos y a_{jk} el tamaño del pedido N total del sistema. Ig= cantidad de unidades que se almacenarán, ecuación 1.

$$CT = \sum_j C_{pj} N_{pj} + \sum_j C_{mj} I_g = \text{Mínimo} \quad (1)$$

Por otro lado, la metodología utilizada en algoritmo genético para determinar el tamaño de pedidos parte de un cromosoma que consta de n genes. Cada gen se refiere a un período, es decir, el primer gen se refiere al período 1, el segundo gen se refiere al período 2, y así sucesivamente. El gen de un cromosoma indica si se ha realizado un pedido en el período i o no. Los genes pueden tener valor 0 o 1 [7]. Un valor de 1 indica que se ha realizado un pedido en ese período y 0 en caso contrario (Tabla 2).

Tabla 2. Representación de Genes para un problema de tamaño de lote.

Período	1	2	3	4	...	n
Cromosomas	1	0	0	1		1
Pedidos	Si	No	No	Si	...	Si

La metodología utilizada para determinar la opción óptima se determina:

Por una función objetivo a partir n periodos, siendo A el costo de pedir por cada pedido que realiza, x_i es el gen y c el costo de almacenar por unidad por periodo, ecuación 2.

$$\text{Min} \left(\sum_{i=1}^n Ax_i + cI_i \right) \quad (2)$$

Una función de aptitud para cada miembro de la población, ecuación 3.

$$f(p) = \frac{1}{\sum_{i=1}^n (Ax_i + cI_i)} \quad (3)$$

Por otro lado, la probabilidad de reproducción $r(p)$ se basa en la función de aptitud, ecuación 4. Los cromosomas seleccionados se emparejan al azar para generar nueva descendencia utilizando el operador de cruce.

$$f(p) = \frac{f(p)}{\sum_{i \in P} f_i} \quad (4)$$

Por último, los cromosomas que se eliminarán de la población se eligen al azar con una probabilidad $d(p)$ basada en la función de aptitud de la siguiente manera, ecuación 5, a través de cálculos computacionales de realizan iterados experimentos con el objetivo de encontrar el cromosoma que arroje la opción más cercana a la óptima.

$$f(p) = \frac{1/f(p)}{\sum_{i \in P} 1/f_i} \quad (5)$$

3. Resultados Parciales o Avances

Se presenta un ejemplo numérico con fines ilustrativos a partir de un caso analizado en bibliografía consultada [7]. El problema contiene un tamaño de sistema $N = 12$ periodos (i), el costo de pedir $C_p = \$100$ y el costo de almacenamiento de $C_m = \$1$ por unidad por periodo y siendo α_i el requerimiento necesario para el abastecimiento de cada periodo.

Tabla.3. Requerimientos netos para 12 periodos.

Período(i)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
α_i	100	60	40	50	80	70	120	110	150	90	140	50

Siguiendo el caso de estudio se desarrolló una serie de experimentos numéricos donde se simuló para este horizonte de planificación. Además, se tienen en cuenta las distintas cantidades que se requieren para abastecer cada periodo, (Tabla 3). Se establecen los costos de pedir $C_p = 100$; el costo de mantener será $C_m = 1$ por unidad por periodo. Luego se calcula todas las combinaciones posibles de realizar un pedido a partir de 2^{N-1} . En este ejemplo tenemos un tamaño de sistema $N=12$ por lo que resulta un total de 2048 combinaciones posible de formas de realizar pedidos. Una vez obtenida la matriz se calcula los costos asociados a cada combinación, ecuación 1.

Los resultados se obtuvieron de la ejecución de un programa computacional de desarrollo propio, especialmente diseñado para generar todas combinaciones posibles de formas de pedir y calcular los costos asociados a cada combinación posible. Luego se almacena los tamaños de los grupos de pedidos de los distintos experimentos numéricos en los cuales se obtuvo el costo total mínimo.

El costo mínimo total hallado por el modelo propuesto arroja para este caso de estudio \$1020, este costo coincide con el método de algoritmo genético. Por otro lado, se tomó el tiempo promedio de ejecución del programa 3 segundos. Sin embargo, en trabajo recientes se ha comprobado que algoritmo genético arroja un tiempo de 23 segundos.

En conclusión, se puede decir que se validó el modelo generado para dimensionamiento de lote con el modelo de algoritmo genético ya conocido y aceptado para resolver este tipo de problema. Además, se pudo demostrar la rapidez en obtener la opción óptima comparada con algoritmo genético.

Cabe destacar que las acciones futuras previstas a desarrollar en este tema de investigación son: i) Análisis comparativos del modelo propuesto con algoritmo genético para diferentes tamaños de sistema y variación en los requerimientos de materiales. ii) Analizar ambos métodos teniendo en cuenta que los requerimientos de materiales se mantendrán constante en cada periodo durante el horizonte de planificación. iii) Se van a tomar ejemplos presentados en publicaciones científicas resueltos por el algoritmo genético y se van a resolver aplicando nuestro modelo para conseguir resultados confiables y que la comparación pueda ser validada por otros investigadores.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por el Proyecto de Investigación “Simulación computacional de agregación de sistemas complejos”, código: ASUTISR0004914TC y forma parte de la Tesis Doctoral “Modelo de simulación dinámico para planificación de requerimiento de materiales de industrias regionales de Mendoza”.

Bibliografía

- [1] Alfares, H. K. y Turnadi, R. Lot sizing and supplier selection with multiple items. Journal: Computers & Industrial Engineering, Volume 116, pp 59–71, 2018
- [2] Hoffa P. and Pawlewski P. Models of organizing transport tasks including possible disturbances. Process Simulation and Optimization in EcoProduction, 141–151, 2014
- [3] Alhourani F. Clustering algorithm for solving group technology problem with multiple process routings. Computers & Industrial Engineering, 66(4): 781–790, 2013.
- [4] Mennell, R. F., “Early History of the Economical Lot Size,” APICS Quarterly Bulletin, Vol. 2, No. 2, 1961.
- [5] Silver, E. A and H. C. Meal, “A Heuristic for Selecting Lot Size Requirements for the Case of a Deterministic Time-Varying Demand Rate and Discrete Opportunities for Replenishment,” Production and Inventory Management, Vol. 14, No. 2, 1973.
- [6] Vollmann, T. E., W. L. Berry, and D. C. Whybark, Manufacturing Planning and Control Systems, third edition, Richard D. Irwin, Inc., Chicago, 1992.

[7] W. Hernandez and G. A. Suer, "Genetic algorithms in lot sizing decisions," Proceedings of the 1999 Congress on Evolutionary Computation-CEC99 (Cat. No. 99TH8406), Washington, DC, USA, 1999, pp. 2280-2286 Vol. 3, doi: 10.1109/CEC.1999.785558.



*Área Ing. Electromecánica y
Ciencias Básicas*

Interacción de α -lactoalbumina con cadenas de polielectrolitos de diversa naturaleza: un estudio mediante simulaciones computacionales

Paola B. Torres^{1,2}, Valeria Boeris³, Claudio F. Narambuena^{1,2}

¹Facultad Regional San Rafael, UTN

²Grupo Bionanotecnología y sistemas complejos, UTN-CONICET

³Universidad Nacional de Rosario

paotorres89@gmail.com

Resumen

Las proteínas del suero lácteo son de gran importancia como ingredientes en la industria alimenticia debido a sus propiedades funcionales. Las proteínas mayoritarias son α -lactoalbumina, β -lactoglobulina y glicomacropeptido. Estas proteínas tienen la capacidad de interactuar y formar complejos con polisacáridos. Estos polisacáridos pueden adquirir carga eléctrica y comportarse como polielectrolitos. Esta interacción tiene gran importancia en el rango de pH en el cual proteína y polielectrolito tienen cargas opuestas. En este trabajo se presenta el estudio de la interacción entre α -lactoalbumina y una cadena de polielectrolito. La metodología utilizada consiste en un modelo de grano grueso para la proteína y el polielectrolito. Se llevan a cabo simulaciones por el método de Monte Carlo. Se calcularon las cargas eléctricas de la proteína aislada y se encontró que el punto isoeléctrico está alrededor de 4,9 lo cual está de acuerdo con datos experimentales. Se analizó cómo influye la presencia del polielectrolito en la proteína. Los resultados mostraron que debido al polielectrolito aniónico la carga de la proteína se incrementa aún más, y toma valores más positivos a valores de pH menor al punto isoeléctrico. El incremento de la carga positiva favorece la interacción con el PE. Se cuantificó la adsorción del PE en la superficie de la proteína con un criterio estructural el cual tiene en cuenta la formación de pares iónicos. Estos datos fueron comparados con datos experimentales que indican la formación de un complejo midiendo la turbidez de la solución como una función del pH.

Palabras Clave: proteínas – suero - simulación - Monte Carlo - polielectrolito

1. Introducción

Las proteínas de suero lácteo son importantes en la industria alimenticia debido a sus propiedades funcionales. Las proteínas en mayor proporción son la α -lactoalbumina (20 %) y β -lactoglobulina (50 %). Estas proteínas son obtenidas del concentrado del líquido remanente de la producción del queso. La precipitación de estas proteínas usando polielectrolitos es un método simple y puede ser aplicado a escala industrial. Una gran diversidad de polisacáridos es utilizada para formar complejos con las proteínas en la industria alimenticia [1, 2]. En el presente trabajo se estudia la formación del complejo entre la proteína α -lactoalbumina y un polielectrolito utilizando un modelo de grano grueso para su representación en un amplio rango de pH.

2. Materiales y Métodos

La metodología para el desarrollo del presente trabajo consiste en el modelado de la proteína y polielectrolito con el modelo de grano grueso, el cual permite una representación simplificada del sistema a un mínimo número de parámetros. En adición, se utiliza el algoritmo de metrópolis Monte Carlo en el ensamble semi-gran canónico para la simulación del sistema.

2.1 Modelos de grano grueso para proteína y polielectrolito

El modelo de grano grueso de la proteína fue construido a partir de la posición de cada átomo de la misma. Esta información fue obtenida de la estructura cristalográfica de la proteína (código 1F6S) alojada en *Protein Data Bank*.

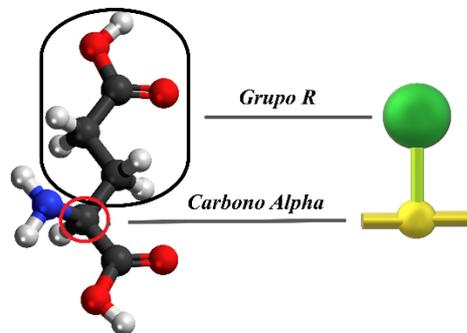


Fig 1. Modelo de grano grueso del ácido glutámico. La esfera amarilla representa el carbono α y la esfera verde representa el grupo funcional R del aminoácido

Cada aminoácido es representado por dos esferas, una para el carbono alfa y otra para el residuo del aminoácido. Los carbonos alfa constituyen el eje principal de la proteína, cada uno se encuentra conectado a un residuo (Grupo R), el cual establece la naturaleza de cada aminoácido. El residuo o grupo R comprende una cierta cantidad de átomos dependiendo de qué tipo de aminoácido se trate. Se representa con una esfera rígida todo el grupo, para ello se calcula un centro de masa de todos los átomos y la posición promedio teniendo en cuenta un volumen excluido. En este modelo tenemos en cuenta dos tipos de residuos, los titulables y los neutros. El grupo carboxilo y grupo amino unidos al carbono alfa que forman el enlace peptídico entre los aminoácidos de la proteína, son representados por un cilindro unido al carbono alfa. Al final de cada cadena de la proteína existen grupos funcionales libres, los cuales pueden ser grupos aminos o carboxílicos. Estos grupos son denominados N-terminal y C-terminal, respectivamente. Se agrega una esfera adicional por cada grupo terminal. En la Figura 1 se muestra un esquema del modelo del grano grueso realizado para el ácido glutámico (GLU).

El modelo utilizado toma en consideración dos tipos de residuos: titulables y neutros. Los residuos neutros no tienen la capacidad de ionizarse y por lo tanto son solamente caracterizados con su volumen excluido. Los residuos titulables son clasificados en ácidos (Aspártico, Glutámico, Cisteína, Tirosina) o básicos (arginina, histidina y lisina) de acuerdo a su capacidad para liberar o ganar un protón.

La cadena de polielectrolito fue modelada por un grupo de perlas cargadas (monómeros) enlazados formando una cadena lineal. Cada perla es representada como una esfera rígida de diámetro establecido ($d = 0,2 \text{ nm}$) con su carga eléctrica correspondiente embebida en el centro (Fig. 2)

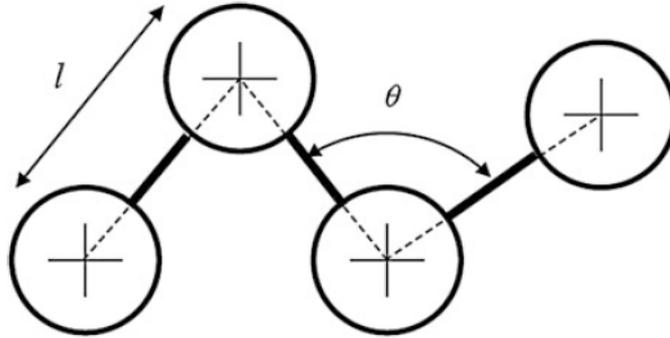


Fig. 2. Esquema del modelo de grano grueso del Polielectrolito. Donde l es la distancia entre monómeros vecinos y θ es el ángulo que forman tres monómeros consecutivos en la cadena

La conectividad energética de dos esferas consecutivas, i y $i + 1$ (ubicadas en la posición $r_i + r_{i+1}$ respectivamente) se representa por un potencial armónico dado por:

$$U_{bond} = k_{bond}(l - l_0)^2 \quad (1)$$

Donde $l = |r_{i+1} - r_i|$ es la distancia entre dos esferas consecutivas, y l_0 es la distancia de equilibrio de enlace. La rigidez del enlace es regulada por k_{bond} , el cual es la constante de la fuerza de resorte del potencial de la ecuación 1. En orden de evadir fluctuaciones en la distancia del enlace se utiliza un valor alto para esta constante, $k_{bond} = 1000 k_b T / nm$. Las unidades son normalizadas con la energía térmica $k_b T$, donde k_b es la constante de Boltzman y T es la temperatura absoluta ($T = 300K$)

La energía potencial electrostática del sistema compuesto de un total de N partículas cargadas (residuos, monómeros del PE y pequeños iones) fue modelado como la suma de los pares de interacción coulombica.

$$\frac{U_{elect}}{k_b T} = l_b \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \frac{z_i z_j}{r_{ij}} \quad (2)$$

Donde q_i es la carga de la partícula y puede ser expresada como $q_i = z_i e$. La distancia entre partículas es $r_{ij} = |r_{i+1} - r_i|$ y l_B es la longitud de Bjerrum:

$$l_B = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0\epsilon_s r_{ij}} \quad (3)$$

Donde ϵ_0 es la constante dieléctrica del vacío. A temperatura ambiente en agua la longitud de Bjerrum tiene un valor de $l_B \approx 0,71 \text{ nm}$ [3]

2.2 Equilibrio ácido-base de los grupos titulables

El equilibrio de ionización de estos grupos es descripto mediante la siguiente ecuación química para los grupos ácidos:



Donde HA es un grupo ácido que se disocia liberando un protón a la solución y dejando el grupo R cargado negativamente. Por otra parte, para los grupos básicos el equilibrio es el siguiente:



En este caso B es un grupo básico que tiene carga positiva y libera un protón.

El equilibrio es caracterizado por una constante ácido-base intrínseca definida por:

$$K_{ai} = \frac{\gamma_{H^+} \gamma_{A^-}}{\gamma_{HA}} \times \frac{c_{H^+} c_{A^-}}{c_{HA}} \quad (6)$$

Donde c y γ son las concentraciones y coeficientes de actividad respectivamente. A continuación, se muestra los valores de pK_{ai} y la cantidad de cada tipo de residuo presente en el dímero de la proteína (Tabla 1)

Tabla 1. Cantidad de grupos titulables de la proteína y pKa intrínseco

	<i>Asp</i>	<i>Glu</i>	<i>Cys</i>	<i>Tyr</i>	<i>C – ter</i>	<i>Arg</i>	<i>His</i>	<i>Lys</i>	<i>N – ter</i>
pK_{ai}	4.0	4.4	9.5	9.6	3.8	12.0	6.3	10.4	7.5
ω_i	13	7	0	4	1	1	3	12	1

En condiciones ideales de dilución ($\gamma \rightarrow 1$), donde se considera que no hay interacción entre los grupos R, la carga ideal de la proteína puede ser calculada según:

$$Z_{id} = -\sum_{i=1}^5 \omega_i \frac{1}{1+10^{(pK_{ai}-pH)}} + \sum_{i=6}^9 \omega_i \left(1 - \frac{1}{1+10^{(pK_{ai}-pH)}}\right) \quad (7)$$

Donde el primer término representa la carga debido a los cinco tipos de grupos ácidos y el segundo término debido a los cuatro tipos de grupos básicos. De esta manera se describe en forma teórica el equilibrio ácido base teniendo en cuenta exclusivamente el valor intrínseco de pK_{ai} y los valores de pH . En condiciones reales el ambiente electrostático puede afectar la concentración de protones cerca de los grupos titulables. Esta concentración de protones modifica el grado de disociación de los mismo con respecto a las condiciones ideales. Para ello se utiliza un esquema de titulación del método de Monte Carlo que tiene en cuenta dichos factores.

2.3 Método de Monte Carlo

El algoritmo Metrópolis Monte Carlo es un método estocástico basado en movimientos al azar en un espacio coordinado en el cual cada configuración tiene un peso estadístico definido por la distribución de Boltzman.

Durante la simulación de Monte Carlo los iones pequeños tienen la posibilidad de trasladarse en cualquier dirección mientras la carga de la proteína fluctúa de acuerdo a los siguientes movimientos en ensamble semi canónico:

1. Un sitio titulable en la proteína es elegido al azar
2. Si se encuentra deprotonado, se mueve la carga de la solución al sitio titulable (Proceso de protonación). Si esta protonado, se mueve el protón a la solución (proceso de deprotonación)
3. Los movimientos son aceptados de acuerdo a la probabilidad

$$\min \left(1, e^{-\beta \Delta U_{el} \pm (pH - pK_a) \ln 10} \right)$$

(9)

Donde ΔU_{el} es el cambio en la energía electrostática total, calculado como la suma sobre todas las partículas antes y después de los movimientos de acuerdo a la ecuación 9. El segundo término en la exponencial tiene en cuenta el cambio de energía libre del proceso de (de)protonación para un aminoácido, no afectado por la presencia del resto de la proteína ni la sal. La magnitud de este término es determinada por el pH y la constante intrínseca pK_a .

3. Resultados y Discusiones

En este trabajo estudiamos la interacción de la proteína α -lactoalbumina con una cadena de polielectrolito. La formación de complejo de la proteína con un polielectrolito catiónico y aniónico es estudiada en el rango de pH entre 1 y 7. En un primer paso estudiamos la titulación de la proteína aislada, antes de estudiar la interacción proteína-PE.

3.1 Titulación de la Proteína Aislada

En la Figura 3 se muestra la carga neta de la proteína en función del pH . Los resultados de la simulación de Monte Carlo (MC) con una concentración de sal igual a $c_{salt} = 10 \text{ mM}$ (círculos azules) son graficados junto con la curva ideal (línea de trazo negra) obtenida de la ecuación 7. En condiciones ácidas la proteína α -lactoalbumina se encuentra cargada positivamente. El máximo observado fue $Z_p \cong 16$ en condiciones extremadamente ácidas, este valor está cerca del número total de grupos básicos. El máximo es alcanzado debido a que todos los grupos básicos se encuentran protonados y los grupos ácidos neutralizados. La carga de la proteína disminuye a medida que aumenta el pH . El punto isoeléctrico de la proteína fue estimado en 4,9 de la

extrapolación de la curva de simulación. El mínimo en la carga obtenida de la simulación tuvo un valor de $Z_p \cong -20$ a $\text{pH} = 13$.

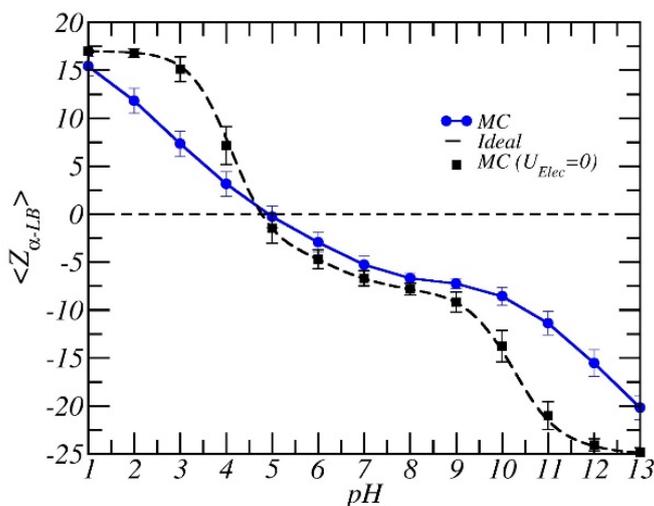


Fig 3. Carga neta de la proteína como una función del pH

3.2 Formación del complejo Proteína- Polielectrolito

La Figura 4 muestra la cantidad de pares iónicos formados cuando interactúa la proteína con un polielectrolito aniónico como una función del pH.

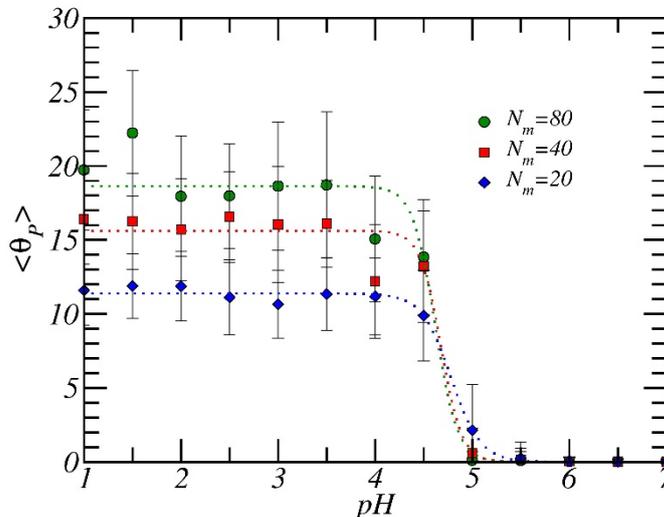


Fig 4. Formación de pares iónicos en función del pH

A valores de pH por encima del punto isoeléctrico, no hay monómeros adsorbidos cerca de la proteína. Esto puede ser atribuido a la interacción repulsiva entre α -lac y el polianión, dado que ambas macromoléculas tienen carga negativa. La adsorción de monómeros tiene lugar a valores de pH menores que $\text{pH} = 5$, cercano al punto isoeléctrico de la proteína. La cantidad de monómeros adsorbidos aumenta rápidamente cuando el pH de la solución disminuye. Sin embargo, a pH menores que $\text{pH} = 4$, la cantidad de monómeros adsorbidos permanece en un valor aproximadamente constante. Para tamaño de cadena pequeño, la cantidad de monómeros adsorbidos aumenta linealmente (aproximadamente la mitad de los monómeros

de la cadena de PE). Cuando la cantidad de monómeros adsorbidos es mayor, se alcanzó un plateau. Esto indica que la proteína tiene una capacidad limitada de enlazar monómeros de la cadena de PE.

En estudios previos realizados sobre la interacción de proteínas con polielectrolitos, fue sugerido que la presencia de cadena de PE aniónico podría modificar la carga neta de la proteína por debajo del punto isoeléctrico mediante un mecanismo de regulación de carga [4, 5]

4. Conclusiones

La interacción entre α -lactoalbumina y una cadena de polielectrolito fue estudiada utilizando el método de Monte Carlo. El punto isoeléctrico de la proteína fue estimado en 4,9 lo cual está de acuerdo con el valor ideal estimado y datos experimentales. El polianión fue adsorbido en la proteína en el rango de pH inferiores al punto isoeléctrico, es decir donde ambos tienen carga opuesta. En presencia del polielectrolito se encontró que modifica la carga neta de la proteína, y esto se debe al mecanismo de regulación de carga el cual es evidente en el rango de interacción de las macromoléculas.

Este trabajo predice la interacción de la proteína con un polianión, el mecanismo de regulación juega un rol clave en dicha interacción.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por los Proyecto de Investigación IPIFNSR0005173, PAUTNSR0006584 y PAUTNSR0006583 y forma parte de la Tesis Doctoral "Estudio teórico-computacional de la purificación e inmovilización de proteínas de interés industrial"

Los autores desean expresar su agradecimiento a la Universidad Tecnológica Nacional por su financiación.

Bibliografía

- [1] T. Harnsilawat, R. Pongsawatmanit, and D. J. McClements, "Characterization of β -lactoglobulin-sodium alginate interactions in aqueous solutions: A calorimetry, light scattering, electrophoretic mobility and solubility study," *Food Hydrocoll.*, vol. 20, no. 5, pp. 577–585 (2006)
- [2] C. F. Narambuena, F. S. Ausar, I. D. Bianco, D. M. Beltramo, and E. P. M. Leiva, "Aggregation of casein micelles by interactions with chitosans: A study by Monte Carlo simulations," *J. Agric. Food Chem.*, vol. 53, no. 2, pp. 459–463 (2005)
- [3] C. F. Narambuena, E. P. M. Leiva, and E. Pérez, "Counterion condensation on polyelectrolyte chains adsorbed on charged surfaces," *Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp.*, vol. 487, pp. 49–57 (2015)
- [4] P. Torres *et al.*, "Protonation of β -lactoglobulin in the presence of strong polyelectrolyte chains: a study using Monte Carlo simulation," *Colloids Surfaces B Biointerfaces*, vol. 160, pp. 161–168 (2017)
- [5] P. B. Torres, E. Quiroga, A. J. Ramirez-Pastor, V. Boeris, and C. F. Narambuena, "Interaction between β -Lactoglobuline and Weak Polyelectrolyte Chains: A Study Using Monte Carlo Simulation," *J. Phys. Chem. B* (2019)

Estudio computacional de la adsorción de lisozima sobre un sustrato cargado

M. Claudina Franchetti^{a,b}; Paulo M. Centres^b; María del Pilar Ferraris^c; Mercedes E. Campderrós^c y Claudio F. Nambuena^{a,b}

^a Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional San Rafael, Argentina

^b Instituto de Física Aplicada (INFAP) Universidad Nacional de San Luis – CONICET, Argentina

^c Instituto de Investigaciones en Tecnología Química (INTEQUI) Universidad Nacional de San Luis – CONICET, Argentina

claudinafranchetti@gmail.com

Resumen

Las proteínas juegan un rol clave en organismos biológicos y sistemas enzimáticos. El estudio químico de proteínas, su purificación, adsorción, entre otros, proporciona importantes aportes al campo de la biomedicina y la bioquímica. Mediante el estudio de la adsorción de proteínas sobre diversos sustratos, se pueden generar conocimientos que nos ayuden a diseñar de forma inteligente importantes aplicaciones tecnológicas para ciencias médicas, farmacéuticas, industriales, etc. El modelo que utilizamos para la investigación se adapta exitosamente a proteínas globulares con una estructura relativamente estable. Se estudia la interacción proteína-superficie donde la lisozima está representada mediante un modelo de grano grueso y ubicada dentro de una caja de simulación que contiene la superficie cargada eléctricamente. La simulación del sistema se realiza con el método de Monte Carlo. Las contribuciones energéticas y entrópicas a la energía libre del proceso de adsorción son estimadas y analizadas. Los efectos del mecanismo de regulación de la carga, la localización de grupos titulables en la lisozima, así como la distribución y comportamiento de iones alrededor de la interfaz se estudian en detalle. Tanto la distribución asimétrica de los grupos cargados de la proteína como la distribución del contraión juegan un papel predominante en la adsorción de lisozima en un sustrato con el mismo signo de carga eléctrica.

Palabras Clave: Proteínas – Superficie – Lisozima – Simulación – Monte Carlo

1. Introducción

Las proteínas juegan un rol clave en la industria alimenticia, farmacéutica y biotecnológica en general, debido a su alto valor nutritivo, su versatilidad para catalizar reacciones químicas (enzimas) y por su función terapéutica [1]. La purificación y estabilización de proteínas a bajo costo, mediante métodos sencillos tiene importantes aplicaciones tecnológicas a mediana o gran escala. Por ello es relevante estudiar la adsorción de proteínas globulares sobre sustratos cargados, diferenciando aspectos fisicoquímicos determinantes en los procesos mencionados. Estos se realizan a través de una metodología económica de simulaciones computacionales y trabajos experimentales cromatográficos. Siendo sus principales interesados, pymes del rubro alimenticio, farmacéutico y médico.

Las variables fisicoquímicas influyentes en el análisis (pH, sal, carga eléctrica, concentración, rotación, etc) son adaptables a la metodología con simulaciones de Monte Carlo, usando un ensamble semi-gran canónico [2].

Se ha introducido recientemente una nueva teoría denominada de adsorción de estadística fraccional (FSTA) que se basa en la generalización de los formalismos de QFS, propuestos por Haldane y Wu como una forma extendida del principio de exclusión de Pauli. La teoría FSTA ha sido exitosamente aplicada al estudio de la adsorción de BSA sobre microesferas sulfonatadas [3], y será nuestra principal herramienta teórica para estudiar el proceso de adsorción de proteínas.

En relación con el alcance de los resultados que condicionan esta investigación, el exploratorio y el descriptivo quedan descartados ya que, como pudimos comprobar con la revisión de la literatura y el estudio de área de vacancia la adsorción de proteínas es un tema ya descubierto y ampliamente descripto. El alcance correlacional se ajusta correctamente con el estudio propuesto ya que busca con un modelo simplificado y económico, mediante una simulación computacional, identificar el grado de relación entre las variables fisicoquímicas o en un contexto particular, que tienen incidencia en el proceso de adsorción de proteínas globulares sobre sustratos cargados eléctricamente (pH, concentración de sal y de proteína, la carga de la superficie, etc.)

La adsorción de proteínas sobre superficies cargadas es un fenómeno no trivial donde aparecen conductas muy complicadas [4]

En este trabajo se estudia la conducta de la lisozima sobre una superficie cargada eléctricamente.

2. Materiales y Métodos

La proteína se representa con un modelo de grano grueso. Las simulaciones computacionales se llevan a cabo en una caja de simulación (Fig. 1) con forma de paralelepípedo de base cuadrada tridimensional de dimensiones $BxBxZ$, donde la altura es $Z = 30 \text{ nm}$ y el sustrato cargado eléctricamente es modelado como un plano ubicado en la base a $Z = 0$, con una distribución de carga uniformemente distribuida.

La simulación de Monte Carlo o Método de Monte Carlo (MMC) es una técnica basada en mecánica estadística que lleva a cabo un muestreo del espacio de las fases del sistema para obtener valores de cantidades observables que pueden ayudarnos a entender el proceso estudiado [5]. Esta técnica construye una serie de estados (cadena markoviana) que representan los estados más probables en función de las condiciones de la simulación: cantidad y tipo de moléculas de proteínas, pH, concentración de sal, temperatura, etc.

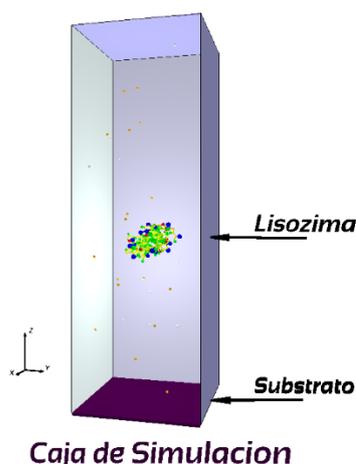


Fig 1. Caja de simulación. Superficie con densidad de carga neutra (morada). Modelo de grano grueso de los iones y la proteína en el centro

2.1 Titulación de grupos ácido-base de aminoácidos

Tabla 1. Valor de pK_{ai} y cantidad de cada grupo tituable presente ω_i en la Lisozima

	<i>Asp</i>	<i>Glu</i>	<i>Cys</i>	<i>Tyr</i>	<i>C – ter</i>	<i>Arg</i>	<i>His</i>	<i>Lys</i>	<i>N – ter</i>
pK_{ai}	4.0	4.4	9.5	9.6	3.8	12.0	6.3	10.4	7.5
ω_i	7.0	2.0	0.0	3.0	1.0	11.0	1.0	6.0	1.0

2.2 Cantidad medida

La cantidad medida principalmente en este estudio es la cantidad de proteína adsorbida en la superficie: el grado de cubrimiento es calculado por la ecuación:

$$\Gamma = \int_{z=0}^{z=3.5nm} c_g(z) dz \quad (1)$$

La unidad de medida es en mg/m^2 y σ_s la densidad de carga eléctrica (negativa o positiva) de la superficie. Cuando la $\Gamma \approx 0,25 mg/m^2$ indica que la proteína esta adsorbida.

3. Resultados y Discusiones

3.1 Conducta acido-base de la lisozima

En la Fig.2 se observa la carga neta promedio de los valores de proteína obtenidos con la simulación de MC, se muestra en círculos azules completos. En condiciones ácidas más fuertes ($pH = 1$), la proteína tiene un promedio de 18,2 cargas positivas. Este valor está cerca del valor máximo posible (+19) de la lisozima. Dado que la molécula de proteína tiene 13 y 19 grupos ácidos y básicos respectivamente, ver Tabla 1, en consecuencia, tanto los grupos básicos como los ácidos están completamente protonados. A medida que aumenta el valor del pH, la carga

netamente de la proteína disminuye. A un valor de pH cercano a 11, la carga neta de la proteína es en promedio neutra, tiene el mismo número de cargas negativas y positivas. Este es el punto isoeléctrico, pI de la proteína. Para un $pH = 13$, la carga de la proteína se vuelve negativa y tiene 7,5 cargas negativas.

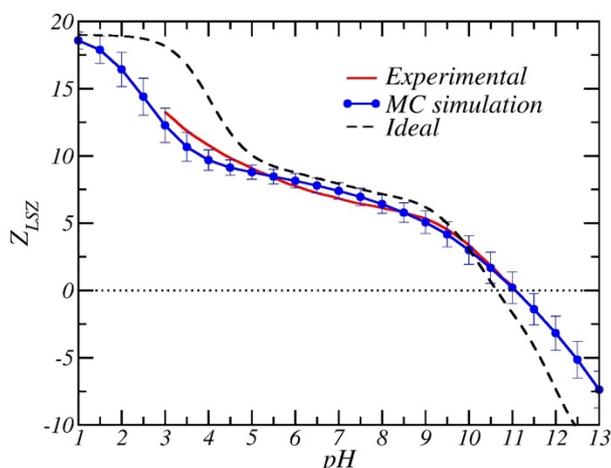


Fig 2. La carga neta de la lisozima se muestra en función del valor del pH en la solución.

La carga total de los grupos que conforman la proteína está calculada en base a la Tabla 1.

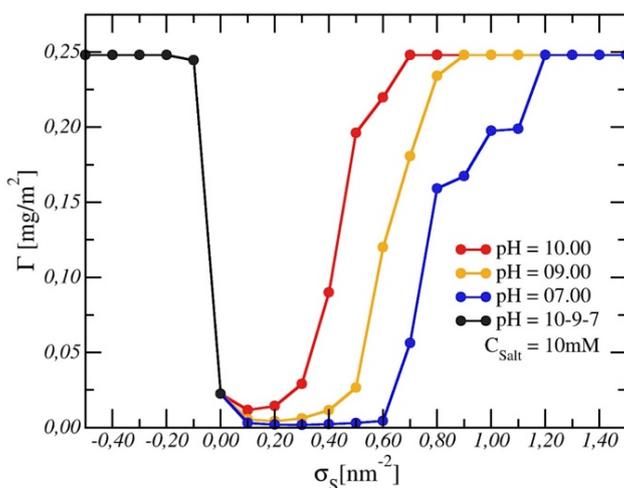


Fig 3. Grado de cobertura de la lisozima en función del valor de densidad de carga de la superficie. La solución tiene $C_{sal} = 10mM$ y 3 pH diferentes.

La figura 3 muestra la cantidad de proteína adsorbida sobre la superficie comparando a tres valores de pH diferentes (7, 9, 10) la densidad de carga de la superficie. El grado de cubrimiento está calculado por la Ec. 1 utilizando los perfiles de concentración de la proteína. Cabe destacar que la carga neta de la proteína es positiva para los valores de pH analizados como se observa en la Fig. 1. La adsorción es despreciable cuando $\sigma_s = 0$.

Como se observa en la Fig. 3 para una densidad de carga de superficie negativa y a partir de 1,2 en la positiva para todos los pH analizados, la proteína ya se encuentra adsorbida, se toma como referencia final el estudio a $pH = 7$, ya que como es sabido, es el pH sobre el cual es siempre más interesante analizar dada su importancia para todos los procesos biológicos. Siendo un pH al cual las proteínas no se desnaturalizan y conservan su óptimo funcionamiento.

4. Conclusiones

Utilizando un modelo de grano grueso muy simple es posible reproducir el comportamiento de la lisozima y su adsorción a una superficie cargada eléctricamente. El estudio de adsorción de la proteína muestra que para una superficie cargada negativamente la adsorción es inmediata y fuerte, ya que hasta $\text{pH} = 11$, donde se encuentra el punto Isoeléctrico, la carga neta de la proteína es positiva. Por otro lado, cuando la carga de la superficie es positiva se adsorbe también la proteína a la superficie, a diferencia de la negativa lo hace de forma más gradual para los distintos pH . Cuanto más cerca del pI más rápido se adsorbe la proteína.

Este trabajo sugiere que las interacciones hidrofóbicas, los puentes hidrógeno, entre otros, no son fundamentales para la adsorción de la lisozima sobre una superficie cargada.

Los resultados obtenidos utilizando la simulación de Monte Carlo, graficada con una línea azul con círculos continua, coincide con los valores del comportamiento experimental que se observan en la Fig. 1, en el estudio adsorción de lisozima en condiciones similares realizado por Galisteo y Norde [6]. Curva graficada con una línea roja continua. Concentración de sal = 50 mM en un rango de pH de 3 a 11. Es posible observar que en la Fig.3 se produce la adsorción de la lisozima debido a las fuerzas electrostáticas intervinientes en el proceso.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el CONICET y por la UTN FRSR.

Bibliografía

- [1] Wilman Carrillo, (2013). Lysozyme: Antibacterial Activity and Allergenicity. Instituto de Investigación en Ciencias de la Alimentación (CIAL-CSIC-UAM) Madrid- España.
- [2] Nambuena, C.F., Longo, G., and Szleifer, I. (2015). Lysozyme adsorption in pH-responsive hydrogel thin-films: the non-trivial role of acid–base equilibrium.
- [3] Quiroga, E., Centres, P. M., Ochoa N. A., and Ramirez-Pastor, A. J., (2013). Fractional statistical theory of adsorption applied to protein adsorption.
- [4] Nambuena, C.F. (2019). On the reasons for α -lactalbumin adsorption on a charged surface: a study by Monte Carlo simulation. Colloid and Surface B.
- [5] Fernando Luis Barroso da Silva, and Donal MacKernan. (2017). Benchmarking a fast proton titration scheme in implicit solvent for biomolecular simulations. J. Chem. Theory Comput. DOI: 10.1021/acs.jctc.6b01114.
- [6] Galisteo, F. Norde, W. (1995). Adsorption of lysozyme and alpha-lactalbumin on poly (styrenesulphonate) latices 1.

Desarrollo de cosechadora de semilla pilosa *trichloris crinita*

Lihue Unelen Vilchez; Danilo Fernando Mengarelli; Miguel Ángel Fortunato¹
Sebastián Mora²

¹Universidad Tecnológica Nacional (UTN) | Facultad Regional San Rafael (FRSR)

²Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)

levil2895@gmail.com

Resumen

Desarrollo científico-tecnológico agropecuario en el marco del proyecto de investigación entre la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional San Rafael y el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA): diseño y dimensionamiento de implemento agrícola para tractor viñatero que permite cosechar y acondicionar *Trichloris Crinita* (gramínea silvestre de zonas áridas y semiáridas conocida vulgarmente como “Pasto Plumerito”), domesticando esta forrajera con valores nutricionales óptimos para el engorde de ganado vacuno, fomentando la ganadería de secano mediante su propagación asistida y, simultáneamente, atenuando la desertificación de estas regiones mediante la conservación del agua y el suelo. Debido a la incertidumbre inicial sobre las especificaciones técnicas finales del implemento agrícola, se adoptó una metodología ágil para la gestión del proyecto cuyo enfoque incremental e iterativo permitió validar la evolución del implemento agrícola frente a cada cambio mediante “sprints”. Esta metodología resultó ser la más eficiente para el desarrollo del implemento agrícola gracias a su flexibilidad. Como resultado del desarrollo tecnológico, se concretó un modelo tridimensional del implemento agrícola verificado mediante el método de los elementos finitos que satisface los requerimientos establecidos. Se concluyó el desarrollo del implemento agrícola con un estudio sobre la viabilidad económica y rentabilidad de fabricación y la estimación de su contribución en la producción ganadera vacuna de la zona del secano.

Palabras Clave: *Trichloris Crinita* – forrajera – cosechar – domesticación – engorde ganado

1. Introducción

En el escenario actual, el sistema productivo ganadero de zonas áridas y semiáridas consume pastizales naturales para la cría de hacienda vacuna, resultando difícil estimar la calidad de ingesta de forraje, generando incertidumbre en la toma de decisiones debido a la falta de información o de su certeza. En muchas ocasiones, los productores de campos silvestres bajan la carga animal por advertir disminución de preñez o condición corporal [1], [2], [3]

En este marco, la *Estación Experimental Agropecuaria* (EEA) “Rama Caída” del *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria* (INTA) – Mendoza, ha trabajado desde el 2005 en ensayos y experimentos sobre cultivos, trasladados a campos, con el objeto de estudiar la evolución y el desarrollo de la gramínea silvestre *Trichloris Crinita* (conocida vulgarmente como “Pasto Plumerito”, Fig. 1). Esta gramínea destaca por su potencialidad para recuperación de ambientes áridos degradados debido a su proliferación en zonas de baja humedad (200 mm de agua precipitada al año). En comparación, esta especie presenta valores nutricionales comparables a

especies como *Setaria Pampeana* o *Pappophorum Philippianum* destinadas a engorde de ganado vacuno en regiones argentinas de óptima producción [4]



Fig. 1. *Trichloris Crinita* ("Pasto Plumerito")

Experiencias de INTA EEA Rama Caída apoyan la posibilidad de realizar dos cosechas anuales. Siendo una alternativa válida para fomentar y extender la ganadería en zona de secano donde, simultáneamente, atenúa los efectos de la desertificación mediante la conservación del suelo y el agua. Se pretende, con los estudios consultados y por la experiencia del INTA difundir su cultivo a efectos de alimentar el ganado vacuno en este tipo de regiones.

Con este objetivo, se diseñó y dimensionó un implemento agrícola para tractor viñatero, cuyo propósito es cosechar y acondicionar la gramínea *Trichloris Crinita*, contribuyendo a su *domesticación* y propagación en regiones de secano para el engorde vacuno.

Este desarrollo tecnológico recopiló experiencias de dos prototipos antecedes [5], [6] desarrollados en el marco de investigaciones entre la UTN – FRSR e INTA. Además, se recurrió a experiencias en campo para determinar las magnitudes exigidas para el dimensionamiento de los elementos de máquina.

Estos prototipos de INTA realizan la cosecha y acondicionamiento de manera independiente e ineficiente. Actualmente, el semillero instalado en EEA "Rama Caída" permite generar pequeñas cantidades de semillas mediante su recolección haciendo uso de un soplador eléctrico manual, un acondicionamiento y tamizado manual. Sin embargo, el mercado mundial carece de una maquinaria o equipo electromecánico capaz de satisfacer las exigencias de la aplicación y no existe registro de antecedentes industriales similares. Por tanto, el desarrollo de este implemento agrícola implica innovación en términos de cosecha.

2. Materiales y Métodos

Para el diseño y dimensionamiento de cada elemento de máquina del implemento agrícola, dada la incertidumbre de las características finales del mismo, con base en fallas existentes en los prototipos antecedentes y con previsión de modificaciones en las especificaciones técnicas de estos elementos de máquinas, se adoptó una *metodología ágil* para este desarrollo tecnológico, definiendo "sprints" o iteraciones periódicas según disponibilidad de los interesados; representantes de UTN, representantes de INTA, director y autores del proyecto. En cada instancia se verificó la conformidad de los entregables; esto es, requerimientos y propuestas de los interesados, planteados en reuniones antecedentes, definiéndose nuevas características o entregables.

Los cálculos eléctricos, mecánicos, térmicos, hidráulicos y neumáticos relativos a cada elemento de máquina se desarrollaron en base a la teoría aplicable en cada caso y bajo las normativas vigentes relativas a cada campo (ISO, IRAM, ASTM, ASME y DIN). En la mayoría de los casos, estos cálculos se respaldaron mediante un software de ingeniería [7], [8]. Los elementos de máquinas comerciales se seleccionaron de acuerdo a procedimientos convencionales, estandarizados o según el procedimiento oficial de cada fabricante declarado en su catálogo comercial. Las simulaciones mecánicas de esfuerzos y deformación admisibles se realizaron mediante software basado en el *método de los elementos finitos*. Este mismo método se utilizó para la simulación de mecánica de fluidos, mediante el software pertinente. Todos los elementos de máquinas se diseñaron en software CAD (Computer-Aided Design) 3D.

2.1 Cosecha y acondicionamiento

En vista de las deficiencias que se observaron en los dos prototipos antecedentes, se decidió cambiar el principio de funcionamiento de la denominada "cosechadora" original y modificar componentes de la denominada "desglumadora" a fin de aumentar el rendimiento de esta. Además, se definió como requisito, la incorporación de una etapa de tamizado y empaquetado para la distribución del producto final.

De esta manera, se definió en primer lugar los procedimientos (Fig. 2) sobre la panoja de *Trichloris Crinita* para concluir de manera exitosa el proceso de cosecha y acondicionamiento de las cariopsis (detallado en el apartado siguiente). A cada procedimiento se asignó un subconjunto de elementos de máquina. Con esta división se optimizó el diseño de estos y su ajuste, en busca del máximo rendimiento.



Fig. 2. Procedimiento de cosecha y acondicionamiento de *Trichloris Crinita*.

2.2 Componentes

Cabe destacar que uno de los requisitos impuesto por el INTA fue modificar la mecánica del tractor, más precisamente, invertir el sentido de marcha, de manera que las ruedas traseras fuesen las nuevas delanteras. De esta manera, se mejora la tracción, dado que la cosecha se realizará en terreno silvestre, una superficie agreste con accidentes difíciles de sortear y, simultáneamente, se reduce el radio de giro, al cambiar la posición de las ruedas directrices, mejorando la maniobrabilidad.

El principio de funcionamiento que se definió para el implemento agrícola fue el vacío o succión debido a la “alta volatilidad”, en otras palabras, la facilidad con la cual las semillas son desprendidas y transportadas por el viento.

Se denominó “*cabezal de succión*” al dispositivo que soporta y da movimiento a dos cepillos circulares. Entre ellos ingresan las panojas (Fig. 3) produciendo su *cepillado*, movimiento mecánico que desprende las semillas de las panojas.



Fig. 3. *Trichloris Crinita*; panoja; semillas

La depresión que captura las glumas desprendidas por el cepillado se genera por una disposición de cuatro *eyectores* que simultáneamente las impulsa al *ciclón* a través de mangueras cristal.

El *ciclón* permite la rápida separación de las semillas del flujo de aire para depositarlas en el *alimentador* (dispositivo de regulación de flujo de semillas).

Desde aquí, se alimenta la *desglumadora*. Recibe este nombre dado que aquí es realizado el *desglumado*, en otras palabras, la separación de *glumas* de las *cariopsis*. Las *glumas* permiten la propagación natural, pero en esta aplicación generan aglomeraciones y volumen aparente, dificultando su manipulación. Por otra parte, la *cariopsis* es aquella parte que germinará, por tanto, aquella que se separa a través de un *tamizado*.

El *desglumado* se produce por la fricción de las semillas entre dos superficies, método definido como óptimo para este procedimiento por un equipo de investigación antecedente [6].

El *tamizado* se produce en una tamizadora circular por poseer características óptimas para la aplicación. Cabe destacar que los restos orgánicos se devuelven al campo cosechado a manera de abono orgánico, a través de filtros de manga para minimizar la polución atmosférica. Las *cariopsis* se embolsan para su distribución en bolsas de *arpillera* o equivalente.

Todos los elementos de máquina se vinculan entre sí y son solidarios al *sistema de tres puntos* del tractor viñatero mediante una estructura metálica de perfiles normalizados soldados. Este *bastidor* incorpora dos ruedas y un sistema de suspensión por ballesta, lo que permite su transporte en largas distancias (en combinación con una *tortuga*) mediante un vehículo compacto tipo urbano e incorpora dos *patas de cabra* para su estacionamiento. Su verificación a esfuerzos dinámicos y deformaciones admisibles se realizó mediante un software con el método de los elementos finitos.

El accionamiento de los elementos de máquinas se obtiene de la *toma de fuerza* del tractor viñatero (que entrega un promedio de 45 HP de los cuales se consume aproximadamente la mitad) mediante una *unión cardanica* que distribuye la potencia hacia una bomba hidráulica de engranajes exteriores, mediante cadenas de eslabones dobles y, hacia un alternador tipo BOSCH mediante correas trapezoidales. La bomba hidráulica gobierna el circuito hidráulico que suministra la potencia necesaria al motor hidráulico de engranajes exteriores acoplado al *cabezal de compresión* de dos etapas que alimenta el circuito neumático.

La presión positiva del cabezal de compresión se emplea por la disposición de *eyectores* para generar la presión negativa o depresión que permite capturar los *antecios* desprendidos en el cabezal de succión.

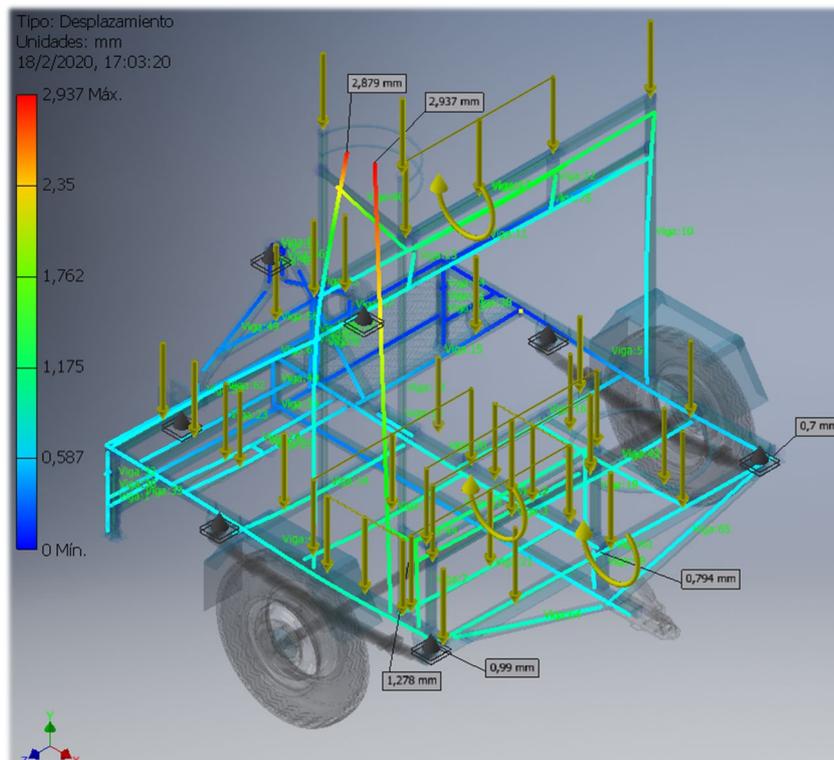
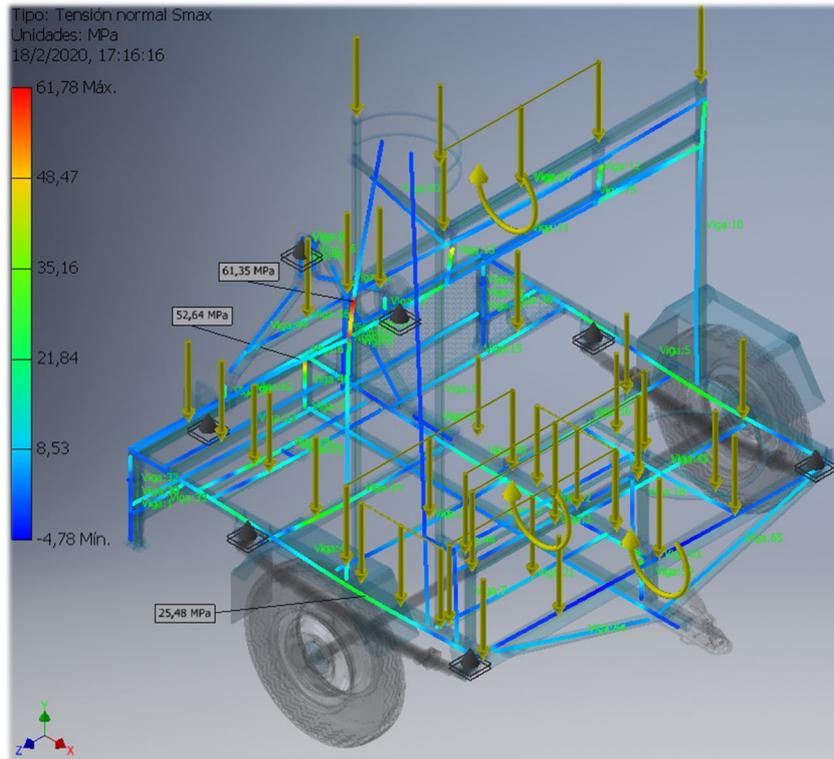
Los elementos de máquinas restantes permiten mantener los fluidos (aceite hidráulico y aire) en condiciones óptimas para la operación.

Los eyectores se diseñaron y dimensionaron mediante ingeniería inversa y simulación dinámica de fluidos (método de los elementos finitos).

En el diseño de cada elemento de máquina siempre se priorizó la higiene y seguridad junto con su impacto ambiental.

2.3 Simulaciones

En la Fig. 4 se observa la verificación del bastidor a deformación y en la Fig. 5, a esfuerzos dinámicos. Las verificaciones se realizaron mediante un software con aplicación del método de los elementos finitos [7].



En la Fig. 6 se observan los perfiles de velocidad y presión del eyector (generador de vacío) que se dimension [8].

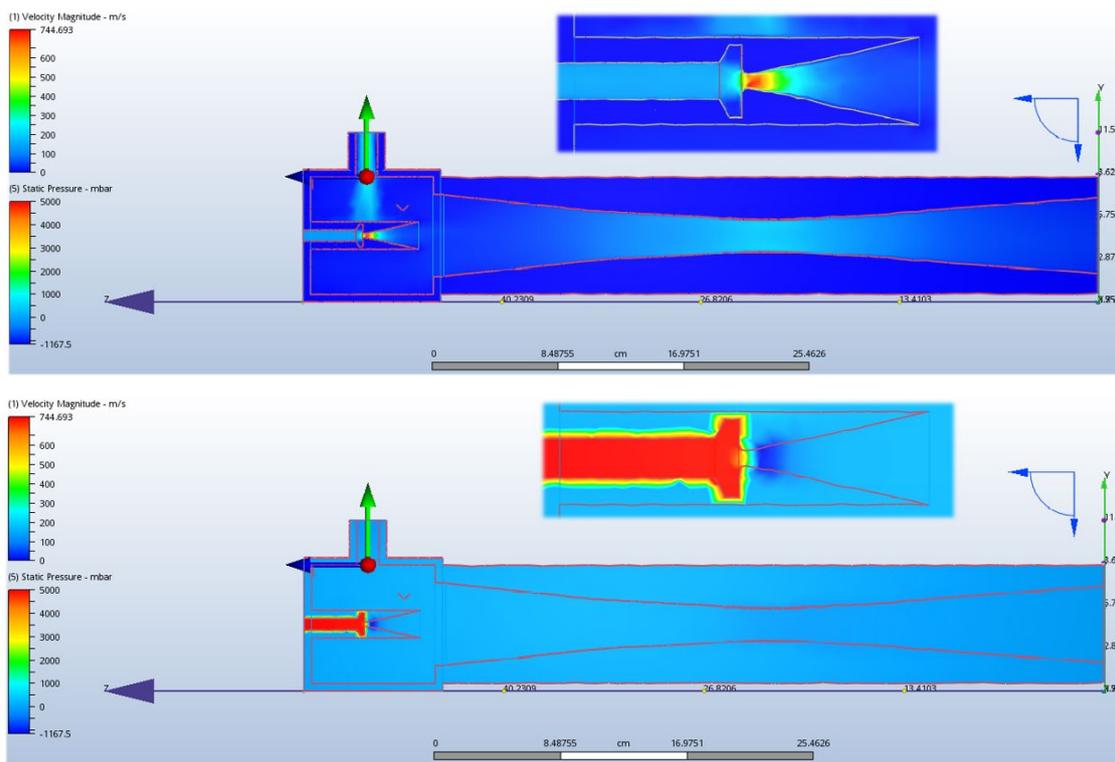


Fig. 6. Perfiles de velocidad (superior) y presiones (inferior)

En principio, se seleccionó un eyector comercial, pero debido a su costo y facilidad de fabricación, se decidió dimensionar un eyector propio, ajustándolo a las exigencias, esto es, se priorizó *poder de succión* (o depresión) sobre *caudal aspirado*, como se observa en la Tabla 1.

Tabla 2. Comparación entre eyector simulado y comercial

Parámetros físicos	Eyector simulado	Eyector comercial
Depresión	- 184 mbar	- 100 mbar
Caudal aspirado	854 NL/min	1200 NL/min
Caudal consumido	312 NL/min	290 NL/min
Presión de alimentación	5 bar	5 bar
Caudal de salida	3660 NL/min	*
*valor desconocido, no proporcionado por el fabricante ni determinable		

2.4 Estudio de rentabilidad

Se desarrolló un estudio económico, con la aplicación de un flujo de caja y se analizaron los indicadores económicos de rentabilidad: VAN (Valor Actual Neto) y TIR (Tasa Interna de Retorno).

A partir de datos de resultados de una investigación realizada por la Universidad Nacional de Cuyo (UNCuyo) Facultad de Ciencias Económicas, sobre la cría de ganado en Cuyo se realizó un estudio estadístico y probabilístico para estimar la variación en el rendimiento con la implementación de “Plumerito”.

Se concluyó un aumento en la productividad, en otras palabras, un aumento en el rendimiento de la ganadería en el secano, de 43 % en condiciones climáticas normales; temperatura media anual 10,1 °C, humedad relativa 56v% con un promedio de precipitaciones anuales de 189,7 mm

(estadísticas entre 1961 - 1990) y, de hasta 78 % en condiciones climáticas óptimas (más de 300 mm en precipitaciones).

3. Resultados y Discusiones

Las investigaciones que se realizaron, los antecedentes de los cuales se nutrió este desarrollo tecnológico agrario, las mediciones y cálculos que se desarrollaron permitieron dimensionar cada elemento de máquina y componente del implemento agrícola.

En la Fig. 7 se observa un renderizado del implemento agrícola final y, en la Fig. 8, su vinculación al tractor viñatero.



Fig. 7. Implemento agrícola "Plumerito"



Fig. 8. Vinculación de "Plumerito" a tractor viñatero

Debido a que el implemento agrícola consume solo la mitad de la potencia disponible, se discutió la posibilidad de adaptarlo a otro tipo vehículo, pero se concluyó que la robustez de dicho vehículo es imprescindible.

Cabe destacar que todos los elementos de máquinas que se diseñaron han sido en carácter de prototipo. Debido a ello, son susceptibles de mejoras y adopción de parámetros fijos, en lugar de variables, que disminuyan tiempos y costos de fabricación.

4. Conclusiones

Se finalizó la investigación, el diseño, el desarrollo y las simulaciones con la concreción de un implemento agrícola que satisface los requerimientos del INTA y los objetivos iniciales del proyecto, mejorando el proceso de cosecha y acondicionamiento de *Trichloris Crinita*, incorporando tecnología eficiente, de bajo costo de operación y mantenimiento y, recurriendo al uso de productos de fabricación nacional y tecnología de fabricación sencilla.

En conclusión, la domesticación de *Trichloris Crinita* a través de su cosecha mediante el implemento agrícola, "Plumerito" (nombre dado al implemento agrícola por los autores), y su propagación en zonas del secano, no solo atenúa la desertificación, sino que además permite el engorde del ganado vacuno, mejorando la calidad de su carne, disminuyendo su costo y, con ello, de manera indirecta, mejorando la calidad de vida de las personas a través de la alimentación.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento al Ingeniero Miguel Ángel FORTUNATO, profesor de UTN Facultad Regional San Rafael, por la dirección del proyecto y, al Ingeniero Sebastián MORA, tutor del proyecto por parte de INTA.

Este trabajo es Proyecto Final de carrera de Ingeniería Electromecánica de sus autores: Danilo Fernando MENGARELLI y Lihue Unelen VILCHEZ.

Bibliografía

- [1] Página web: INTA (26/7/2012). CHAMICAL INTA | Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Recuperado de <https://inta.gob.ar/variedades/chamical-inta>
- [2] Artículo de revista electrónica con URL (sin DOI): Ruiz, M.A. (16/3/2015). Caracterización morfológica, biomasa aérea y calidad en distintas poblaciones de *Trichloris crinita*. Archivos de zootecnia vol. 64 (número 245), páginas 49 - 56. Recuperado de https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_ruiz1_0.pdf
- [3] Página web: Namur, Pedro R. INTA EEA La Rioja (2016). Variabilidad interanual de la producción forrajera en poblaciones de *Trichloris crinita* en los Llanos de La Rioja. Recuperado de https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta-pensar_los_recursos_locales.pdf
- [4] Artículos no publicados: Mora, Sebastián. Correo electrónico de contacto: mora.sebastian@inta.gob.ar
- [5] Proyecto Final de carrera Ingeniería Electromecánica: Galdámez J., Correa H., Sánchez P., Santiago M. (2015). Diseño de modelo de Cosechadora de semillas de forraje tipo TRICHLORIS CRINITA. Correo electrónico de contacto: mauricio.jose.santiado.mjs@gmail.com
- [6] Prácticas Profesionales de carrera Ingeniería Electromecánica: Martín, Juan P. (2018). DESARROLLO DE MÁQUINA DESGLUMADORA DE SEMILLAS DE TRICHLORIS CRINITA. Correo electrónico de contacto: jp19_martin@hotmail.com
- [7] Software ingenieril con licencia estudiantil: Autodesk Inventor Professional 2018. Descargado desde <https://www.autodesk.com>
- [8] Software ingenieril con licencia estudiantil: Autodesk CFD 2018. Descargado desde <https://www.autodesk.com>

Dispositivo de ventilación pulmonar asistida

Armando Nicolás Dauverné^{1,3}; Cristian Gustavo González²; Diego Videla¹; Juan Ignacio Melía¹;
José Gabriel Melía¹; Nicolás Alberto Medrano¹; Ángel Ismael Quiles^{1,2}; Dante Vito Piedrafitá¹

¹Facultad Regional San Rafael, Universidad Tecnológica Nacional

²LAININyDI UTNFRSR

³Laboratorio de Isótopos Estables en Ciencias Ambientales (CONICET & UTN FRSR).

adauverne@gmail.com

Resumen

La rápida propagación de la epidemia de COVID-19 ha producido un aumento en la demanda de ventiladores pulmonares para la atención de los infectados internados. Esto, junto a la limitada capacidad de producción y el elevado precio de los mismos ha traído como consecuencia un aumento de mortalidad en muchos países cuyos sistemas sanitarios han colapsado por este y otros déficits. Tal situación ha llevado a considerar propuestas alternativas que mitiguen la carencia de estos dispositivos, poniendo énfasis en la disponibilidad de insumos, los costos y los tiempos de desarrollo y fabricación. Al igual que en un gran número de estos desarrollos, nuestra propuesta se basa en la automatización de ventiladores manuales (del tipo utilizado para terapia ambulatoria de emergencia - AMBUs), pero no se limita a la acción mecánica de insuflar aire a ritmo y volúmenes preestablecidos por diseño, sino que incluye algunos elementos tecnológicos que permiten modificar parámetros respiratorios como la frecuencia, la presión pulmonar máxima y mínima y el volumen de aire inspirado-espirdo; y que permite el monitoreo de dichas variables en una computadora que puede estar en otra sala, evitando que los terapeutas tengan que ingresar permanentemente a la habitación con el riesgo de contagio que esto conlleva. Además, se prestó especial atención en los materiales y el método constructivo para facilitar la producción y el mantenimiento con recursos limitados. A partir de estas premisas se diseñó y fabricó un prototipo de ventilador pulmonar funcional de bajo costo y rápida producción.

Palabras Clave: Ventilador Pulmonar - COVID-19 - Bajo Costo – Dispositivo para la Salud

1. Introducción

La rápida propagación de la epidemia de COVID-19 ha producido un aumento en la demanda de ventiladores pulmonares para la atención de los infectados internados. Esto, junto a la limitada capacidad de producción y el elevado costo de los mismos ha traído como consecuencia un aumento de mortalidad en muchos países por el colapso del sistema sanitario [1].

Tal situación ha llevado a plantearnos el objetivo de desarrollar una propuesta alternativa de ventilador que mitigue la carencia de estos dispositivos, poniendo énfasis en la disponibilidad de insumos, los costos y los tiempos de desarrollo y fabricación.

2. Desarrollo

Existen diversos modos de control en ventiladores pulmonares, en especial los más utilizados son los controlados por presión y los controlados por volumen, cada uno de ellos tiene ventajas y desventajas, por ejemplo, los modos controlados por presión no aseguran que el aire realmente ingrese a los pulmones, ya que la presión no necesariamente aumenta por la elasticidad de los pulmones al ser inflados, sino que puede aumentar debido a alguna obstrucción en el sistema respiratorio; en el caso de los controlados por volumen puede suceder que el sistema tenga pérdidas que produzcan que el aire no ingrese a los pulmones, o que se

generen sobrepresiones en el sistema respiratorio. Por ello siempre que se utiliza uno de estos modos es necesario verificar otras variables [2][3].

La propuesta AUREHOLA! se basa en la automatización de ventiladores manuales (del tipo utilizado para terapia ambulatoria de emergencia - AMBUs), prestando especial atención a la simplicidad de los mecanismos y a la disponibilidad y costo de los componentes.

Para realizar la compresión del “balón” del AMBU se ideó un sistema de carrete motorizado que bobina un hilo solidario a la palanca compresora. Gracias a las geometrías utilizadas se logra una ganancia de fuerza suficiente para alcanzar los rangos previstos de presión y volumen utilizando un pequeño motor paso a paso, rehusando el uso de engranajes (siendo los metálicos de difícil adquisición y los fabricados por impresión 3d faltos de la solidez y vida útil necesarias); a continuación, al desbobinarse el hilo en forma controlada, la palanca vuelve a su posición de origen por la acción elástica del AMBU. El diseño del equipo permite el acceso externo al extremo de la palanca para poder accionarla manualmente en caso de que sea necesario. Los materiales utilizados fueron policarbonato cristal para el cuerpo por sus cualidades de resistencia y limpieza y piezas de PVC para la palanca, eje y soporte del AMBU. En la figura 1 puede observarse el despiece y el aspecto del equipo armado.

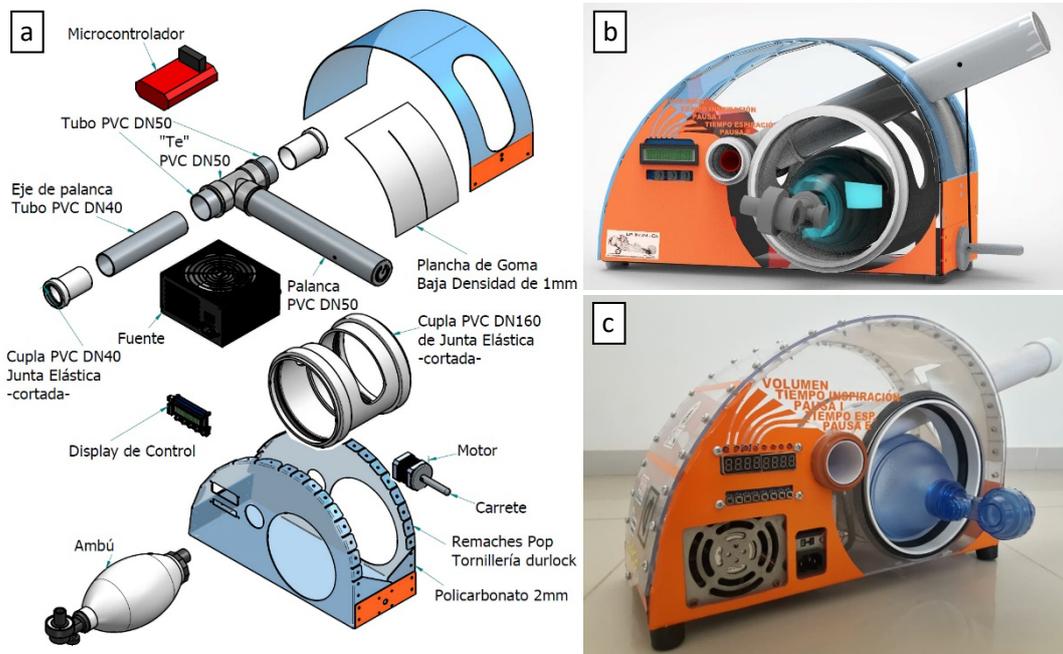


Fig. 1. a) Despiece del equipo. b) Render del equipo armado. c) Fotografía (para una mejor visualización no se montaron los transductores ni los conductos de aire).

Nota: En la versión final la fuente de alimentación no se aloja en el cuerpo del equipo, esta modificación aumenta la seguridad eléctrica y ahorra suficiente espacio como para colocar una batería que dé soporte energético en caso de falla de la red eléctrica.

Debido a la naturaleza del elemento que genera la masa de aire optamos por un sistema controlado por volumen, ya que el volumen de aire insuflado es proporcional a la compresión que se genera sobre el “balón” del AMBU. Para obtener mayor seguridad, se incorporó un sistema de limitación de presión máxima programable, que se suma al sistema de seguridad de máxima presión preestablecida del AMBU. También la PEEP (presión positiva al final de la espiración) es limitada por el equipo para evitar que los pulmones colapsen, generando daño en los alvéolos [2][3]; dicha limitación se controla con una válvula manual provista por el AMBU.

A diferencia de otros sistemas desarrollados como sustitutos económicos para ventiladores pulmonares, el sistema AUREOLA! permite el control total del ritmo respiratorio, pudiendo

programarse en forma independiente los períodos de inspiración y espiración, así como las pausas entre ellos, el volumen de aire inspirado y las presiones máxima y mínima. La programación de los parámetros se puede realizar desde un teclado y un display (de tipo siete segmentos de ocho dígitos) incorporados al cuerpo del ventilador o de forma remota, utilizando un software de interfaz gráfica (GUI) instalado en una computadora conectada al dispositivo por medio de un cable USB. El sistema puede funcionar de forma autónoma (sin conexión a una computadora), ya que las acciones de control sobre el mismo son llevadas a cabo por un microcontrolador, pero al estar conectado a una computadora aumenta sus prestaciones, permitiendo visualizar todas las variables programadas y obtener gráficos en tiempo real de los parámetros presión, volumen y flujo (Figura 2). El control del equipo a través de una conexión remota aporta además la ventaja de que la computadora puede encontrarse físicamente separada del equipo (por ejemplo en otra habitación), evitando que los terapeutas tengan que acercarse demasiado al paciente para observar y/o modificar parámetros del ventilador, salvando el tiempo que insume la colocación de todo el equipo aislante y riesgos innecesarios de infección del personal sanitario. Debido a las exigencias de la aplicación y a las características del bus de datos utilizado (USB) se podrían conectar hasta siete ventiladores a una sola computadora.

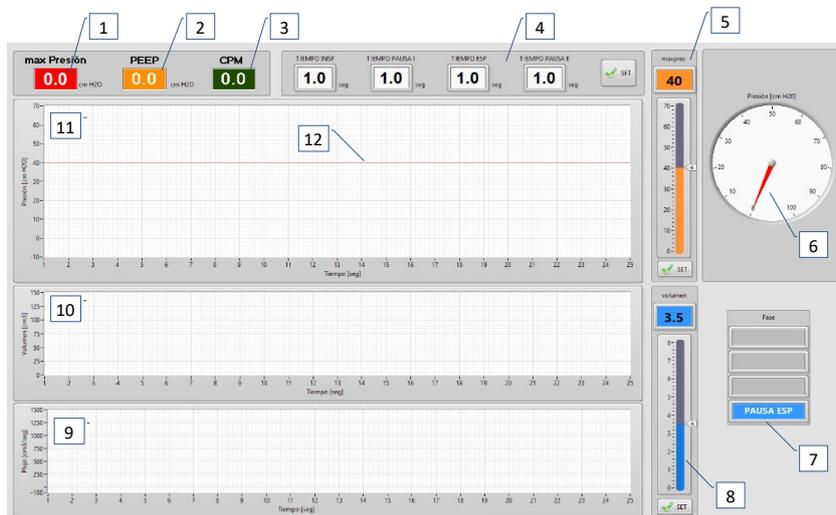


Fig. 2. Interfaz gráfica de usuario (GUI) del ventilador pulmonar. Detalles: 1) Indicador de máxima presión pulmonar. 2) Indicador de PEEP. 3) Indicador de frecuencia respiratoria. 4) Panel de programación de tiempos. 5) Ajuste de presión pulmonar máxima. 6) Indicador de presión pulmonar. 7) Fase actual del ciclo respiratorio. 8) Ajuste de volumen de aire. 9) Registrador gráfico de flujo de aire. 10) Registrador gráfico de volumen de aire. 11) Registrador gráfico de presión pulmonar. 12) Límite programado de presión.

La medición del volumen de aire se lleva a cabo a través de la integración matemática de la medición de flujo realizada con un dispositivo de tipo Venturi diseñado a tal fin e impreso en 3d (Figura 3). Tanto para la medición de flujo como para la medición de presión pulmonar se utilizaron transductores de presión diferencial MPX5010dp de rango 0 a 10kPa de la marca NXP (freescale). El uso de dos transductores iguales tiene la ventaja de disminuir la variedad de sensores necesarios facilitando el recambio de piezas.

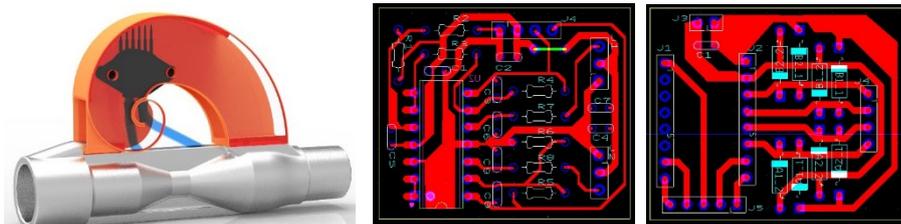


Fig. 3. Diseño de tubo Venturi con alojamiento de sensor de presión diferencial y diseño de placas de circuito impreso.

El control del sistema, es llevado a cabo por un microcontrolador de 32 bits, STM32F103, de arquitectura ARM Cortex M3. El actuador utilizado para accionar sobre el “balón” es un motor paso a paso NEMA 17, de 7,1kg/cm de torque, controlado por un driver Pololu Drv8825.

3. Resultados Parciales o Avances

Se produjo un prototipo funcional (Figura 1.c) y se realizaron pruebas utilizando un pulmón de prueba estándar para ventiladores mecánicos con resultados positivos, pudiendo controlar todas las variables propuestas en los rangos normales de uso de este tipo de dispositivos (Figura 4).

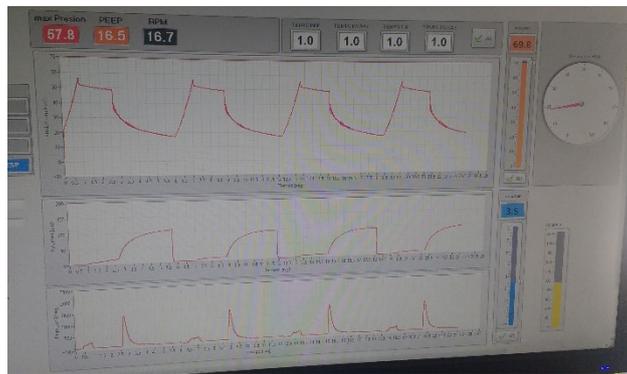


Fig. 4. Fotografía de la GUI durante las pruebas de calibración.

Bibliografía

- [1] Página web: Infosalus. (30/03/2020). La OMS advierte de que el colapso sanitario por el coronavirus puede aumentar las muertes de enfermedades tratables. Recuperado de <https://www.infosalus.com/actualidad/noticia-oms-advierde-colapso-sanitario-coronavirus-puede-aumentar-muertes-enfermedades-tratables-20200330172909.html>
- [2] Libro: Ramos Gómez y Vales, I. (2012). Fundamentos de la ventilación mecánica. Barcelona, España. Marge Médica Books.
- [3.] Libro: Llamazarez y Hernández, I. (2019). Ventilación mecánica básica y avanzada. Ciudad de México, México.

Modelado Digital del ambiente de las cuencas hidrográficas de Llancanelo y Atuel: Definiendo un paleolago en el límite Pleistoceno/Holoceno

Darío Soria; Adolfo Gil; Gustavo Neme
Instituto de Evolución, Ecología Histórica y Ambiente (IDEVEA), UTN-CONICET
ndsoria@mendoza-conicet.gob.ar

Resumen

Groeber P. en su *Informe geológico sobre la zona del Embalse del proyecto Dique El Nihuil* (1939) registra sedimentos de origen lacustre en dicha área. Investigaciones arqueológicas y trabajos de campo recientes de Gil, A, y Neme G. dan indicios concretos de la presencia de fauna limnícola en las laderas de cerros próximos a la laguna de Llanquanelo, con una antigüedad datada en 11.000 años AP. Con base en estos indicios, se realiza un modelado digital del relieve actual, y posterior análisis topográfico mediante el cálculo de perfiles e índices de Irregularidad y Posición Geográfica. El análisis concluye con la simulación de un espejo de agua de 10 metros por encima de la actual cota base. Los resultados sugieren la existencia de una paleolaguna que vinculaba las cuencas de Llanquanelo y Atuel durante el periodo posglacial. El análisis digital y procesamiento de imágenes satelitales permitió identificar la impronta en el paisaje actual de una paleolaguna que producía el trasvase entre ambas cuencas. Para confirmar su existencia, el Instituto de Evolución, Ecología Histórica y Ambiente IDEVEA UTN-CONICET inició trabajos de mayor profundidad en gabinete y a campo.

Palabras Clave: Arqueología – Paleoecología – Ambiente – Sistemas de Información Geográfica

1. Introducción

El cuerpo de agua de la laguna de Llanquanelo ha presentado en tiempo históricos y más recientemente, variaciones en su aspecto general. En los últimos 43 años, se destaca la variación de la superficie por el agua con un máximo en el año 1984 hasta casi desaparecer en 2015 [1]. Durante este período, la variación en la extensión de la superficie con agua se presentó con una muy escasa profundidad de tan solo 20-30 cm y 60 cm en las partes más profundas.

El agua solo escurre sobre una gran superficie sin pendiente alguna. Se estima que la altura, según Modelo Digital de Elevación Argentina (MDE-AR) [3], es de 1335 metros sobre el nivel de mar y se mantiene en algo más de 38.000 hectáreas.

La perspectiva evolutiva y de largo plazo nos permite entender de un modo más profundo la situación actual de nuestro planeta y sus eco-regiones. Este trabajo muestra la dinámica que registraron las hoy llamadas cuencas hidrográficas de Llanquanelo y Atuel. Groeber P. en su *Informe geológico sobre la zona del Embalse del proyecto Dique El Nihuil* (1939) [2] registra sedimentos de origen lacustre en la divisoria de ambas cuencas. Investigaciones arqueológicas y trabajos de campo recientes dan indicios concretos de la presencia de fauna limnícola en las laderas de cerros próximos a la laguna de Llanquanelo, con una antigüedad datada en 11.000 años AP. Con base en estos indicios, se realiza un modelado digital del relieve actual, y posterior análisis topográfico mediante el cálculo de perfiles e índices de Irregularidad y Posición Geográfica. El análisis concluye con la simulación de un espejo de agua de 10 metros por encima de la actual cota base. Los resultados sugieren la existencia de una paleolaguna que vinculaba las cuencas de Llanquanelo y Atuel durante el periodo posglacial. El análisis digital y procesamiento de imágenes satelitales permitió identificar la impronta en el paisaje actual de una paleolaguna que producía el trasvase entre ambas cuencas.

2. Desarrollo

Para el análisis se trabajó en ambiente de Sistema de Información Geográfica, procesamiento digital de imágenes, operación de álgebra de mapas y análisis espaciales para modelar el territorio y su hidrografía.

2.1. Área paleo-laguna

El análisis del relieve topográfico permitió calcular el área con una variación altitudinal de más 10 metros. Este modelo, parte de la cota base actual de 1335 m.s.n.m. establecido por el MDE-AR. y se proyecta hasta la cota de 1345 m.s.n.m. En la figura 1 se muestra la gráfica que representa el área posible de la paleo-laguna, sobre la base del cuerpo de agua actual.

2.2. Cuencas hidrográficas

Se establece que una cuenca hidrográfica es un territorio que escurre sus aguas superficiales hacia un único sistema de drenaje natural.

- Cuenca hidrográfica del río Atuel, inter provincial y pertenece al sistema Río Colorado, con salida al mar atlántico y
- Cuenca de la Laguna de Llanquanelo, provincial y es un Sistemas Independiente, endorreico.

Proyectando el área modelada de la paleo-laguna sobre las cuencas hidrográficas en cuestión, se observa que la cuenca de Llanquanelo posiblemente drenó sus aguas a la cuenca del Atuel en una combinación de cotas y niveles de base locales.

2.3. Cierre de la paleo laguna

El sistema morfológico de una laguna indica que debería presentar un cierre físico que permite acumular un determinado volumen de agua.

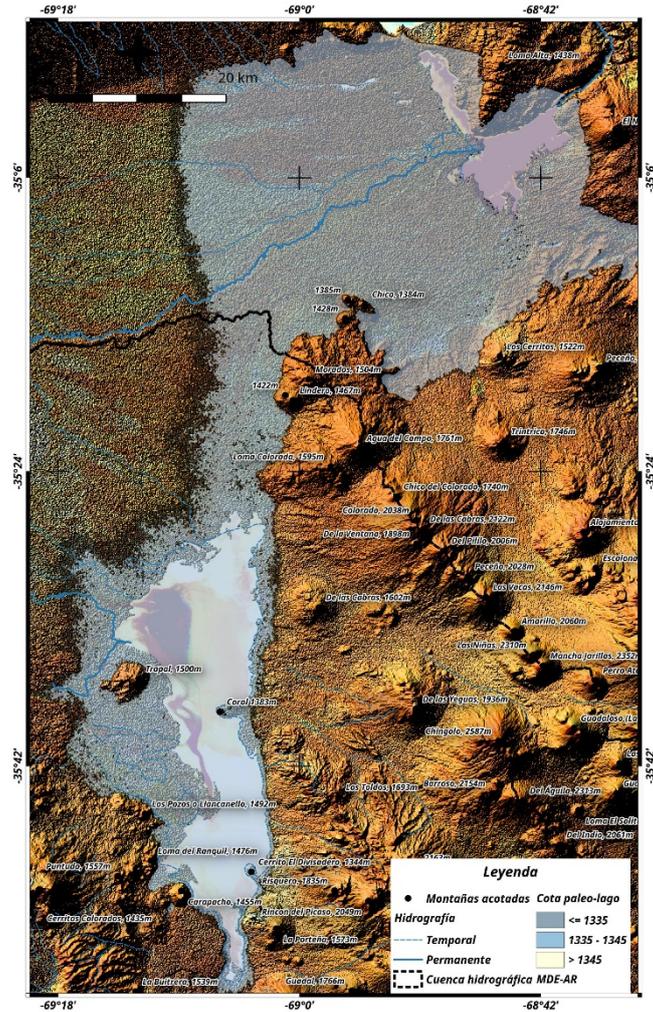


Fig. 1. Área de posible paleo-laguna, sobre la base del MDE-AR del IGN.

El análisis de las características geomorfológicas actuales del área, identifica un estrechamiento del actual curso de agua del río Atuel, aguas abajo del actual represa El Nihuil. Este estrechamiento presenta una cubierta de material como el basalto con una importante extensión areal en un relieve volcánico algo modificado.

En la carta geológica 3569-IV del Servicio Geológico y Minero Argentino (SEGEMAR) se observa esta unidad, cuyo origen corresponde al volcán El Nihuil de 1610 m.s.n.m. Esta unidad es clasificada como Grupo Chapua, de coladas, tobas, brechas de conducto y diques basálticos. Estatigráficamente se ubica en la era Cenozoico, período Neógeno, época Plioceno Superior y período Cuaternario, época Pleistoceno Inferior.

El análisis digital de imágenes satelitales Landsat Oli 8, y su clasificación no supervisada identifica esta unidad. Se observa que el estrato de lava se extiende desde la margen derecha hasta la izquierda del río Atuel. Se identifica que este escurrimiento de lava ha sido disectado por la erosión hídrica del río hasta presentar las vertientes abruptas actuales. Las cotas o niveles altitudinales de este cuerpo presentan alturas de 1360 m.s.n.m. Es posible que en tiempos pretéritos este cuerpo de lava haya provocado un endicamiento natural puesto que supera el nivel de base de 1345 m.s.n.m. de la paleo laguna.

3. Resultados Parciales o Avances

Retomando lo planteado por Groeber en 1939 sobre la existencia de un paleolago que vinculaba posiblemente Llanquanelo con el Nihuil, [2], el geólogo indica que (...) “En lo que se refiere a los depósitos lacustres Platenses, que, como se dijo, han sido depositados en aguas dulces a juzgar por la presencia de Littoridina, espículas de esponjas y diatomeas, (...) [4].

Sobre estas observaciones, y trabajos de campo recientes dan indicios de depósito lacustre a 10 metros del actual nivel de base de la laguna de Llanquanelo, se trabajó y se realizaron análisis visual y digital imágenes satelitales, operaciones de álgebra sobre el DEM para derivar perfil topográfico, cotas y segmentación de cuencas hidrográficas.

La extensión del área proyectada, abarca un área considerablemente mayor a la actual y conforma un solo cuerpo de agua que abarca desde la laguna de Llanquanelo hasta el actual embalse de El Nihuil. En este escenario, el sistema hidrográfico de la cuenca Llanquanelo volcaría sus aguas por el sector norte a la cuenca del río Atuel.

Actualmente, superficialmente existe una divisoria de agua poco perceptible entre los ríos Atuel/Salado y el sector del río Malargüe y de la Laguna de Llanquanelo, pero no subterráneamente [5].

La presente exposición es solo un esbozo inicial. Un trabajo de mayor profundidad en gabinete y campo sería necesario para responder a las inquietudes planteadas por investigadores que han realizado trabajos en el área de la Laguna de Llanquanelo.

Bibliografía

- [1] Seitz, V. P. ab, Soria, N. D. (2019) Variaciones temporales de la superficie de la Laguna de Llanquanelo (MENDOZA, Argentina): Aspectos Climáticos, Hidrográficos y Antrópicos. En: Actas del E-ICES 14. Los Reyunos. San Rafael.
- [2] Groeber, P. (1939). Informe geológico sobre la zona del Embalse del proyecto Dique El Nihuil. (Provincia de Mendoza). Pag. 72.
- [3] Instituto Geográfico Nacional (2014). Modelo Digital de Elevaciones de la República Argentina MDE-Ar. – Dirección General de Servicios Geográficos Dirección de Geodesia. Bs.As
- [4] Gil, A., Neme, G.; Durán, D.; Giardina, M.; Novellino, P.; De Santis, L. y Miguelissi, D. (2007) Exploraciones Arqueológicas en Laguna Llanquanelo. Punta Arenas; p. 453 - 466
- [5] Chiodi, Victoria (2014). Análisis de Vulnerabilidad Ambiental del Acuífero de La Laguna de Llanquanelo, En el área del Bloque de Concesión Llanquanelo. Universidad Nacional de Córdoba. Llanquanelo, En el área del Bloque de Concesión Llanquanelo. Universidad Nacional de Córdoba.



Área Ambiente

Estudios arqueométricos aplicados a la tecnología prehispánica: primeros resultados de Arbolito (El Nihuil, San Rafael, Mendoza)

Nuria Sugrañes¹; María de la Paz Pompei²; María Laura Salgán^{1,3}

¹ Instituto de Evolución, Ecología Histórica y Ambiente (CONICET - UTN)

² Instituto Superior de Estudios Sociales (CONICET - UNT)

³ International Center of Earth Sciences - Malargüe - FFyL (UNCuyo)

nuria30@gmail.com

Resumen

En esta comunicación presentamos la metodología aplicada a piezas arqueológicas vinculadas a la tecnología prehispánica (rocas y cerámicas), disponibles en colecciones del Museo de Historia Natural de San Rafael y de excavaciones arqueológicas. El análisis arqueométrico de la tecnología prehispánica, particularmente los estudios geoquímicos de Activación Neutrónica y Fluorescencia de Rayos-X, junto con los análisis tecno-morfológicos, aportan información de la procedencia y movimiento de los materiales, de la variedad de instrumentos líticos y vasijas cerámicas, de los espacios dónde se confeccionaron y utilizaron a través del tiempo, en los sitios arqueológicos. La localidad arqueológica Arbolito, se encuentra emplazada en el sector sureste del actual embalse El Nihuil, en la cuenca media del río Atuel. Esta localidad es de interés arqueológico y cuenta con los trabajos iniciales del Dr. Lagiglia, desde mediados de 1950. En 2015, se retomaron los estudios sistemáticos con el objetivo de establecer cómo fue la adaptación humana en el Monte desde la organización tecnológica, y su interacción con otros ambientes. Los resultados permitieron detectar el uso de diversas fuentes de obsidiana, tanto locales como exóticas, además del uso de distintas arcillas para la manufactura de estilos cerámicos regionales. Se destaca la ventaja de los métodos geoquímicos aplicados a los estudios tecnológicos. Además, estos estudios junto con los análisis tecno-morfológicos posibilitan la integración de datos procedentes de las colecciones de museos, colaborando con la puesta en valor del patrimonio.

Palabras Clave: Arqueología-Tecnología Prehispánica-Análisis Arqueométricos-Cazadores Recolectores-Sur de Mendoza

1. Introducción

El registro arqueológico permite reconstruir el comportamiento humano del pasado. Para ello, interactúa y se nutre de diversas herramientas metodológicas de distintas disciplinas que aportan información complementaria a las desarrolladas por la Arqueología. En el presente trabajo se explora el potencial de dos técnicas de análisis Arqueométricos, los Análisis de Activación Neutrónica (NAA) y la Fluorescencia de Rayos X (XRF). Ambas son aplicadas a restos de materiales arqueológicos de cerámica y líticos (vidrio volcánico u obsidiana) de la localidad arqueológica Arbolito depositadas en las colecciones del Museo de Historia Natural de San Rafael (MHNSR) y de recientes excavaciones arqueológicas. La aplicación de estas herramientas

metodológicas nos provee información acerca de la procedencia y circulación de dichos materiales en el espacio geográfico, los lugares de confección y de uso de instrumentos líticos y vasijas cerámicas, y la movilidad de las poblaciones humanas, entre otros. Además, ofrece la oportunidad de revalorizar las colecciones de museos que se encuentran descontextualizadas, e integrarlas a las problemáticas arqueológicas de la región [1], [2], [3].

La localidad arqueológica de Arbolito se ubica en el sector oeste de la cuenca media del río Atuel, próximo a la actual represa de El Nihuil (Departamento San Rafael), en el sur de la provincia de Mendoza (Fig. 1). Se encuentra en un área de planicie extracordillerana donde confluyen distintas unidades biogeográficas [1] y rasgos del paisaje: el piedemonte (al oeste), la planicie oriental (al este), la cuenca del río Diamante (al norte) y el campo volcánico La Payunia (al sur). Es una zona de antiguos salitrales próximos al cauce original del río Atuel que, en este tramo, se encuentra sumergido bajo las aguas del embalse. Las fluctuaciones anuales del nivel del lago generan la inmersión y la erosión de la antigua planicie de inundación del río, donde se encuentran la mayoría de los sitios arqueológicos aquí analizados. Recientemente, se realizaron las primeras excavaciones sistemáticas de este sector (Fig. 2), con el propósito de contextualizar las colecciones superficiales colectadas por Lagiglia y aficionados, entre las décadas de 1950 y 1970; que se encuentran depositadas en el MHNSR. La cronología disponible para esta localidad fue obtenida a partir de un fechado radiocarbónico sobre restos óseos humanos, y señalan una ocupación desde *ca.* 1700 años AP (antes del presente), en el Holoceno tardío final [4], [5].

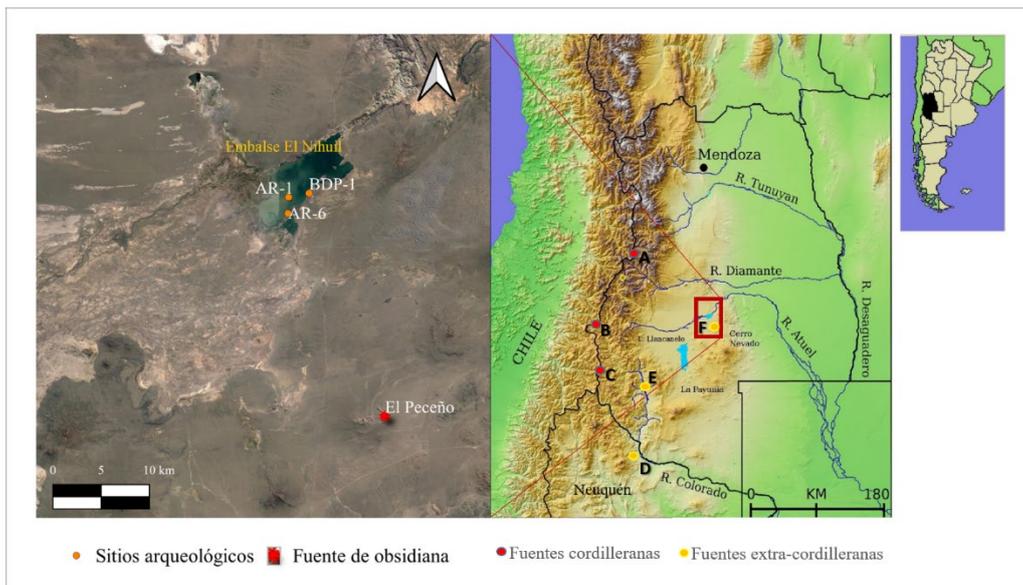


Fig. 1. Ubicación geográfica de los sitios arqueológicos y la fuente de obsidiana El Peceño (izquierda). Ubicación geográfica de las fuentes de obsidiana identificadas en Mendoza: A: Laguna El Diamante, B: Las Cargas, C: El Maule, D: Cerro Huenul, E: Coche Quemado, F: El peceño

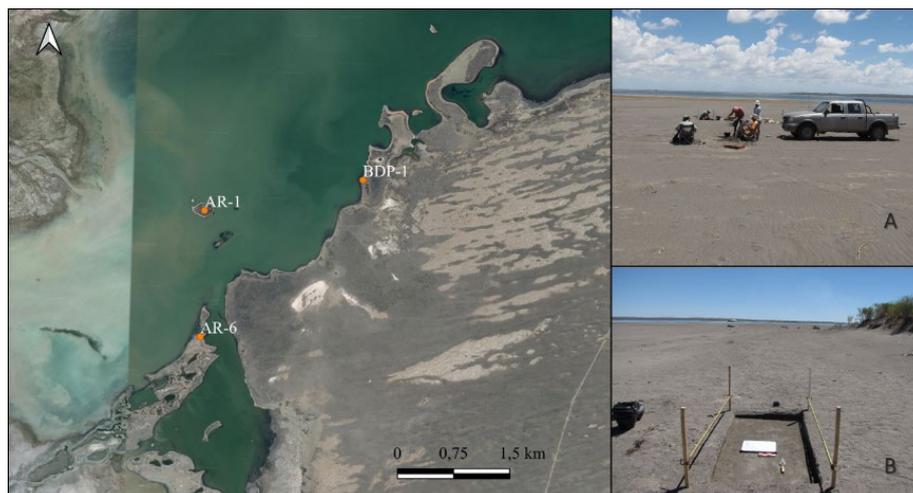


Fig. 2. Detalle de la localización de los sitios arqueológicos. A) sitio arqueológico Barrancas de Piedra 1; B) sitio arqueológico Arbolito 6

2. Materiales y Métodos

Para el presente estudio se seleccionaron piezas procedentes de colecciones del MHNSR y de las excavaciones arqueológicas de los sitios Arbolito 1 (AR-1), Arbolito 6 (AR-6) y Barranca de Piedra 1 (BDP-1) (Fig. 1 y 2), las cuales fueron sometidas a análisis tecno-morfológicos y arqueométricos. Para la evaluación del registro lítico se seleccionaron en total 120 piezas que se analizaron por XRF, mientras que para el caso del material cerámico la muestra fue de 25 fragmentos cerámicos, que se analizaron por NAA. Un primer acercamiento al material lítico y cerámico de Arbolito fue realizado a través de estudios tecno-tipológicos clásicos de la disciplina arqueológica (para mayor información ver [6], [7], [8], [9], [10], [11]). El examen del conjunto lítico incluye piezas de obsidiana de colecciones del MHNSR ($n = 115$) y de las excavaciones arqueológicas ($n = 5$). El registro cerámico corresponde a fragmentos que cuentan con un registro de referencia de vasijas enteras pertenecientes a museos de la región [12].

Entre las piezas de obsidiana seleccionadas, las cinco piezas procedentes de estratigrafía son lascas angulares recuperadas en el sitio BDP-1 (Fig. 1 y 2). De los 115 artefactos de la colección del MHNSR, el 12 % son instrumentos, el 84 % son lascas y 4 % núcleos. En ambos casos, las piezas cumplieron con los criterios de selección del material lítico, que establecen ciertos requisitos de tamaño y forma, como ser: superficie y espesor regulares, además de dimensiones igual o mayor a 5 mm^3 ; variación de las características macroscópicas (color, opacidad/traslucidez, presencia/ausencia de veteado, etc.), con el fin de aumentar las posibilidades de detectar fuentes de procedencia distintas.

Por su parte, para las piezas cerámicas el criterio de selección consistió en que los fragmentos tuvieran un tamaño mayor a 5 cm^2 , una muestra mínima de 20 fragmentos y se consideró la variabilidad de estilos cerámicos presentes en los sitios¹. La muestra se conformó con los siguientes estilos cerámicos: Arbolito: $n = 12$; Atuel Cepillado: $n = 7$; Nihuil: $n = 5$; Marrón Pulido: $n = 1$.

¹ Los estilos cerámicos corresponden a diferentes formas de manufacturar las vasijas cerámicas que integran la forma y tamaño del contenedor, los tratamientos de superficies, decoración, entre otros. Estas son decisiones no sólo técnicas sino también sociales, culturales y económicas del grupo humano en que se encuentra inserto el/la artesano/a.

Los estudios de NAA fueron realizados en el Laboratorio de Arqueometría del MURR (Missouri University Research Reactor, EE.UU.). Por su parte, los realizados por XRF fueron procesados con un equipo portátil del MURR en la Universidad Nacional de Cuyo y, de forma complementaria, por el equipo portátil de la Universidad de Nevada, en el Laboratorio de Arqueología del Instituto de Evolución, Ecología Histórica y Ambiente (IDEVEA – CONICET - UTN) en el Centro Tecnológico de Desarrollo Regional Los Reyunos de la Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional San Rafael (CTDR – UTN - FRSR).

2.1 Técnicas arqueométricas: Análisis de Activación Neutrónica y Fluorescencia de Rayos X

Las técnicas arqueométricas han aportado a la disciplina arqueológica y, en particular, a los estudios tecnológicos, una vía de contrastación independiente y confiable para estudios sobre composición de cerámica y procedencia de obsidiana. La información geoquímica generada posibilita inferir estrategias involucradas en la obtención de los recursos, los patrones de asentamiento y los rangos de acción frecuentes, los circuitos de movilidad de los grupos humanos y la posible interacción entre poblaciones, entre otros. Asimismo, estas técnicas poseen determinadas potencialidades y limitaciones en la aplicación sobre el registro arqueológico.

En XRF, se destacan las siguientes potencialidades: es un método rápido, económico, no destructivo, que permite el procesamiento de grandes cantidades de material en poco tiempo y dispone de equipos transportables, que suelen utilizarse en estudios geológicos, mineros y agroindustriales. Es sensible para identificar elementos traza, propuestos como clave para la identificación de fuentes de obsidiana (*e.g.* Rb, Sr, Y, Zr y Nb) [13], [14]. Entre las limitaciones se señala que los resultados obtenidos por los distintos instrumentos de medición (*e.g.* ElvaX, Bruker, ThermoScientific) presentan dificultades para ser comparables entre sí o con otros métodos. No es recomendable para piezas pequeñas que no cumplan con los requerimientos descritos anteriormente, lo cual restringe la cantidad de material arqueológico posible de ser analizado. No es apropiado para medir elementos químicos minoritarios, por lo cual, presenta problemas cuando los elementos mayoritarios de dos fuentes distintas son similares geoquímicamente.

El NAA es un método que tiene una gran sensibilidad y precisión [15]. Esta técnica se aplica en arqueología sobre materiales líticos (obsidiana, rocas silíceas, entre otros) y cerámicos. Es utilizada para rastrear los perfiles químicos composicionales de los artefactos y requiere muestras muy pequeñas (hasta 5 miligramos). Sin embargo, es una técnica destructiva que requiere mayor tiempo de preparación de las muestras y para la obtención de resultados. Por otro lado, es costosa y genera residuos radiactivos. La información obtenida es usada para responder acerca de lugares de producción y para caracterizar las fuentes de procedencia de rocas y arcillas, la identificación de rutas de interacción humana, patrones de movilidad de grupos humanos, entre otros [13], [16], [17].

El instrumental utilizado para el análisis de la obsidiana por XRF fue el espectrómetro portátil Bruker Corporation (Tracer III-V, serial number K0557), que permite cuantificar la presencia de 13 elementos: rubidio (Rb), estroncio (Sr), itrio (Y), circonio (Zr), niobio (Nb), potasio (K), titanio (Ti), manganeso (Mn), hierro (Fe), zinc (Zn), galio (Ga), plomo (Pb) y Torio (Th). El instrumento posee un tubo de rayos X a base de rodio (Rh) que funciona a 35 kV y un detector de silicio enfriado termoeléctricamente. El equipo es calibrado en base a la información de 40 diferentes

muestras de distintas fuentes de obsidiana, caracterizadas previamente por NAA y por la técnica inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS), pertenecientes a la colección de referencia del MURR. Las concentraciones de los elementos se calcularon en partes por millón (ppm) y sus resultados fueron comparados directamente con aquellos de las fuentes de obsidiana conocidas para la región [18], [19]. La determinación de procedencia se realiza a través de tablas de medidas de concentraciones y diagramas bivariados de dispersión de elementos. Los artefactos fueron asignados a las fuentes cuyos elementos diagnósticos (Rb-Sr, Rb-Zr y Sr-Zr) (Fig. 3) caían en las elipses de confianza con un 90 % de probabilidad y dentro de los límites de la variabilidad química registrada para cada fuente [17].

De modo complementario y, gracias a un convenio de colaboración con investigadores de la Universidad de Nevada, los artefactos fueron analizados por un espectrómetro portátil Olympus Delta DP-6000 GeoChem Analyzer en el CTDR-UTN-FRSR (Fig. 3). En este espectrómetro, cada muestra seleccionada, demora en ser analizada 3 minutos, dado que el instrumental está configurado para emitir tres haces de rayos X (10 KeV y 40 KeV) en un tiempo de haz de 60 segundos cada uno. Lo que permite procesar entre 80 y 100 muestras diarias. Para el instrumental se utilizaron los métodos de calibración geoquímica predeterminada, proporcionada por INNOV-X [20] y una colección de muestras de obsidiana de las fuentes conocidas del sur de Mendoza, disponible en el IDEVEA. Los datos de los elementos traza de cada artefacto fueron recopilados en una computadora portátil conectada a la unidad XRF. Después de cada caracterización, los datos se exportaron automáticamente a un archivo Excel. Al igual que con el espectrómetro Bruker, los datos son procesados a través del software gratuito GAUSS, desarrollado por el MURR. Este programa permite generar múltiples diagramas de dispersión bivariados de distintas combinaciones de elementos traza y calcular rápidamente elipses de confianza [16].



Fig. 3. Espectrómetro portátil Olympus Delta DP-6000 GeoChem Analyzer para análisis de XRF de la Universidad de Nevada utilizado en el Laboratorio de Arqueología en el CTDR – FRSR – UTN

Pilloud y colaboradores [20] dan cuenta que los elementos que se consideran diagnósticos para la obsidiana son: Rb (rubidio), Sr (estroncio), Y (itrio), Zr (circonio) y Nb (niobio), elementos conocidos como del medio Z, por tener un número atómico entre 19 y 41. Estos se caracterizan por detectar poco efecto de fondo, haciendo que sus tasas de error sean predecibles [13].

En el caso de la cerámica, la potencialidad del NAA consiste en que permite estudios cuantitativos y cualitativos de los elementos mayores, menores y de las trazas presentes en las matrices de las muestras [15]. Se obtiene la medición de 33 elementos químicos que componen a la cerámica, permitiendo la conformación de grupos que responderían a “recetas” de manufactura cerámica [16]. Desde este enfoque, para la cerámica, se considera que un perfil

químico (*fingerprint*) es un promedio de todos los componentes mineralógicos de un espécimen cerámico. Por lo tanto, es posible diferenciar grupos y establecer especímenes que sean de diversa manufactura. La preparación de la muestra es sencilla y sólo requiere pequeñas cantidades (0,01 mg). Los resultados son comparables entre instituciones ya que existen protocolos de prueba que respaldan y certifican los laboratorios involucrados; aunque, entre sus limitaciones, encontramos que la muestra extraída no se recupera porque es convertida en polvo e irradiada. En el análisis de los datos, es necesario tener bien definido el objetivo para poder seleccionar correctamente los tipos y cantidad de fragmentos. Para la interpretación de los resultados se utilizan técnicas estadísticas multivariadas como los componentes principales, análisis clúster, y gráficos bivariados. De esta manera, se conforman los agrupamientos cerámicos [15].

El procedimiento técnico para NAA, es similar para el material cerámico y lítico. Consiste en un conjunto de procedimientos que comienzan con la reducción a polvo de las muestras. El material resultante es separado en dos tubos de muestras, dado que implica dos irradiaciones y tres conteos de rayos gamma. Los procedimientos se inician con una irradiación corta a través del sistema de irradiación en tubos neumáticos. Las muestras se irradian en secuencia, dos por vez, durante cinco segundos con un flujo neutrónico ($8 \times 10^{13} \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$). El conteo de 720 segundos produce un espectro de rayos gama que contiene picos para los elementos de vida corta: aluminio (Al), bario (Ba), calcio (Ca), disprosio (Dy), potasio (K), manganeso (Mn), sodio (Na), titanio (Ti) y vanadio (V). Las muestras de 200 mg se irradian durante 24 horas con un flujo neutrónico de $5 \times 10^{13} \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Esta irradiación larga es análoga a la irradiación única utilizada en la mayoría de los laboratorios. Después de la irradiación larga, se dejan las muestras durante siete días y, luego, se cuenta la irradiación durante 2000 segundos (el conteo medio) en un detector de germanio de alta resolución acoplado a un cambiador automático de muestras. El conteo medio produce determinaciones de siete elementos de vida media, específicamente arsénico (As), lantano (La), lutecio (Lu), neodimio (Nd), samario (Sm), uranio (U) e iterbio (Yb). Después de unas tres o cuatro semanas adicionales, se hace un conteo final de 9000 segundos para cada muestra. La última medición produce datos de 17 elementos de vida media larga: cerio (Ce), cobalto (Co), cromo (Cr), cesio (Cs), europio (Eu), hierro (Fe), hafnio (Hf), níquel (Ni), rubidio (Rb), antimonio (Sb), escandio (Sc), estroncio (Sr), tantalio (Ta), terbio (Tb), torio (Th), zinc (Zn) y circonio (Zr) [16]. Los resultados se calculan en partes por millón y se procesan en el software GAUSS u otro estadístico según grupos composicionales.

3. Resultados y Discusiones

En el sur de Mendoza, los estudios geoquímicos sobre obsidiana tienen un desarrollo de más de veinte años [1], [18], [21]. Estos estudios previos permitieron diferenciar hasta el momento siete fuentes naturales de obsidiana, ubicadas en ambientes de cordillera (Laguna del Diamante, Paramillos, Las Cargas y Laguna del Maule) y de planicie (El Peceño y Coche Quemado) [3], [18], [22], [23], [24]. Pese a estos esfuerzos, aún se registran artefactos con señal geoquímica desconocida, lo que se traduce en la existencia de fuentes aún no localizadas.

Estudios previos en Arbolito señalan un mayor uso de fuentes de obsidiana no cordilleranas, que tienen la ventaja de estar disponibles todo el año y ser de fácil acceso [9]. Entre estas, El Peceño (Fig. 1) fue la fuente local más utilizada (Fig. 4 y 5 F), con una frecuencia en el conjunto del 74 % del total analizado. Le sigue en frecuencia los artefactos procedentes de la fuente cordillerana Las Cargas (13 %), que se encuentra a *ca.* 160 km de distancia lineal entre la fuente y los sitios

(Fig. 4). Los artefactos procedentes de la excavación de BDP-1 (n = 5) señalan que todos ellos proceden de El Peceño (Fig. 4), disponible a una distancia de ca. 20 km de distancia lineal al sitio (Fig. 1), destacando el uso de los recursos locales. También fue registrado el uso de fuentes ubicadas a más de 40 km de Arbolito, distancia considerada como límite para el desplazamiento diario de una sociedad con modo de vida cazadora recolectora. Este es el caso de las fuentes ubicadas en el norte y centro de la provincia de Neuquén, denominadas Cerro Huenul (1 %, ubicada a ca. 220 km de distancia lineal entre el sitio y la fuente) y Portada Covunco (6 %, ubicada a ca. 360 km de distancia lineal a los sitios) (Fig. 4). Los artefactos procedentes de estas fuentes lejanas o exóticas corresponden a puntas de proyectil (Fig. 5 E), cuyo acceso podría corresponder a distintos mecanismos de interacción social, como el intercambio [9].

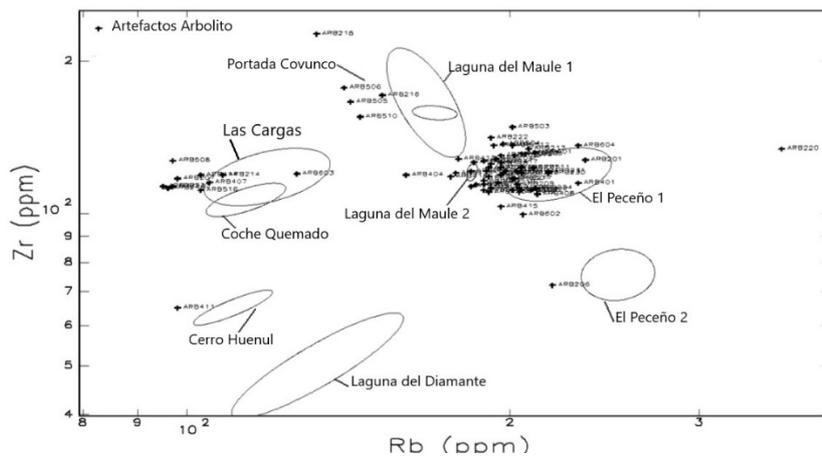


Fig. 4. Caracterización química de las muestras de Arbolito y de las fuentes de obsidiana del sur de Mendoza y norte de Neuquén a partir de la distribución de rubidio (Rb) y circonio (Zr)

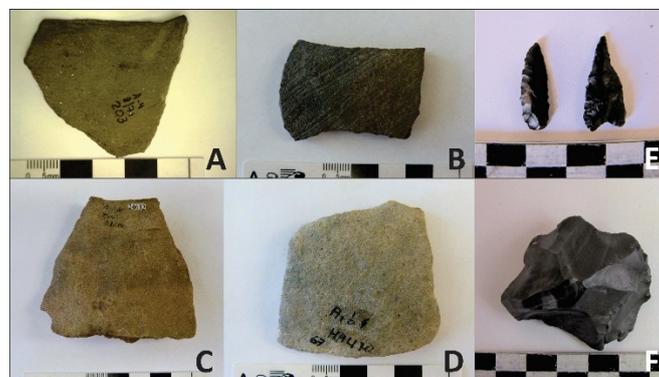


Fig. 5. Piezas arqueológicas cerámicas y líticas que se aplicaron los análisis Arqueométricos. A) Atuel Cepillado (G-1); B) Atuel Cepillado (G-2); C) Nihuil (G-3); D) Arbolito (G-5); E) Puntas de proyectil de obsidiana de la fuente de Las Cargas (Derecha) y desconocida (izquierda); F) Núcleo de obsidiana de la fuente El Peceño

Por otro lado, los resultados de NAA sobre los fragmentos cerámicos, inéditos para la región, muestran una importante variabilidad química en la localidad. De acuerdo a los test estadísticos de componentes principales se determinaron cuatro agrupamientos químicos (Fig. 6). Sagrañes y colaboradores [2] denominaron a estos grupos G-1 (n = 3), G-2 (n = 4), G-3 (n = 6) y G-5 (n = 12) (Fig. 6). Los dos primeros nuclean a los fragmentos definidos como Atuel Cepillado (Fig. 5 A y B). Lagiglia [25] consideraba a este estilo como una variación de otro estilo denominado Atuel. Sin embargo, estos análisis muestran que constituyen una agrupación aparte manufacturado con

diferentes arcillas, conformándose como un estilo independiente (Fig. 6). El G-3 nuclea a cuatro fragmentos determinados como Nihuil (Fig. 5 C), uno como Marrón Pulido y otro como estilo Arbolito (Fig. 6). Se considera que este grupo fue manufacturado en la zona altoandina [2], lo que es coherente con el agrupamiento de estilos procedentes de esa zona. Finalmente, el G-5 (Fig. 6) agrupa a once fragmentos determinados como Arbolito (Fig. 5 D), y uno solo, como Nihuil.

Esta distribución de agrupamientos indica que la cerámica utilizada por los grupos humanos que ocuparon la localidad de Arbolito fue diversa. Los agrupamientos alcanzados por NAA evidencian una manufactura local (G-5: Arbolito) (Fig. 5 D) y un acceso a tecnología cerámica de áreas alejadas, al menos, a 100 km de distancia (G-3: Nihuil, zona altoandina) (Fig. 5 C). Lo mismo señalan los análisis geoquímicos sobre obsidiana, cuyo aprovisionamiento se dio a una distancia local (El Peceño) (Fig. 1) y no local (Las Cargas, Cerro Huenul y Portada Covunco) (Fig. 6). Además, se pudo establecer la existencia de un agrupamiento independiente, el estilo Atuel Cepillado, el cual habrá que determinar, en futuros análisis, si es de procedencia local o de zonas cercanas, dadas su mínima presencia. Los resultados de NAA y XRF muestran que se puede obtener información con resolución para determinar grupos de manufactura cerámica y la obtención de obsidiana procedentes de fuentes de aprovisionamiento de distintos ambientes y una particular distribución geográfica.

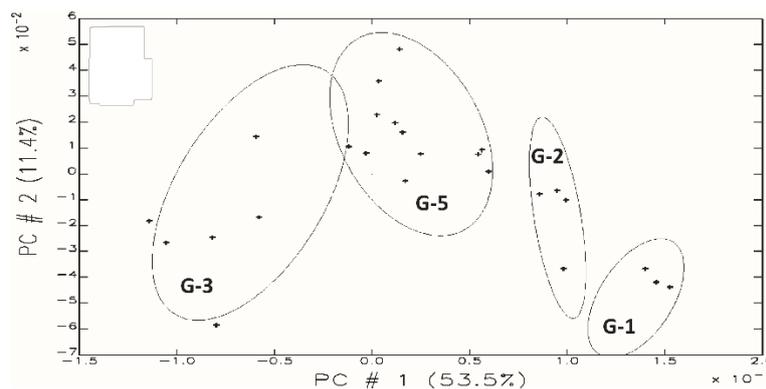


Fig. 6. Análisis de componentes principales. Distribución de los fragmentos cerámicos analizados de la localidad de Arbolito en los CP1 y CP2, por grupo composicional discreto. Las elipses de confianza muestran el grado de dispersión de las muestras con respecto a su centro (95 %)

4. Conclusiones

La integración de los estudios arqueométricos sobre restos materiales de la tecnología prehispánica del sur de Mendoza, tales como las técnicas de NAA y XRF sobre cerámica y obsidiana, respectivamente, permitieron reconocer en la localidad arqueológica Arbolito, el uso de recursos cercanos y de producción local (obsidiana El Peceño y cerámica de estilo Arbolito, G-5). Los circuitos de movilidad frecuentes presentan una dirección este-oeste, hacia ambientes de cordillera (obsidiana Las Cargas y cerámica G-3 Nihuil). A esto se suma la presencia de obsidiana procedente de los ambientes de planicie sur, a 220 y 360 km (Cerro Huenul y Portada Covunco).

La aplicación en arqueología de herramientas metodológicas de precisión, generalmente utilizadas en estudios geológicos y agroindustriales, como son los equipos portátiles de XRF y los estudios de NAA, generan un potencial de información sin precedentes. Es de destacar el

potencial de la técnica al permitir el estudio de colecciones de museos; sobre todo de aquellas que provienen de donaciones o incautaciones del tráfico ilícito de bienes patrimoniales, que no cuentan con información contextual y sólo hacen referencia al área de hallazgo, logrando así incorporar los datos de estas colecciones a las discusiones y problemáticas arqueológicas de la región.

La integración de estos resultados a aquellos obtenidos previamente a través de proyectos arqueológicos destinados a evaluar cómo fue el modo de vida prehispánico en el sur de Mendoza [1]. Permiten ampliar nuestro conocimiento acerca de los rangos de acción y circuitos de movilidad de las poblaciones que habitaron el sur de Mendoza, e inferir mecanismos de interacción con otros grupos de la misma región y/o de regiones vecinas, como el norte y centro de la provincia de Neuquén, y la cordillera de los Andes. A futuro, a través de análisis específicos de los conjuntos líticos y cerámicos de Arbolito, esperamos poder dar cuenta de la importancia que significó para los grupos prehispánicos que habitaron allí la implementación de estas tecnologías en su adaptación a los ambientes áridos-semiáridos del sur mendocino.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado en parte por el PICT 2013-0881 y PICT 2014-3270. Además, contamos con el apoyo del Archaeometry Lab a través de la National Science Foundation (# 1415403). Los resultados forman parte de las Tesis Doctorales de las tres autoras.

Expresamos nuestro agradecimiento a los Dres. Neme y Gil por su acompañamiento. Al Dr. Michael D. Glascock del laboratorio de Arqueometría del MURR y al Dr. Christopher Morgan de la Universidad de Nevada por brindar la posibilidad de realizar los análisis de XRF. A la UTN -FRSR por la colaboración con el albergue y el espacio para la realización de parte de los análisis de XRF.

Bibliografía

- [1] Neme G. y Gil, A. (2008). Biogeografía humana en los andes meridionales: tendencias arqueológicas en el sur de Mendoza. *Chungara, Revista de Antropología Chilena*, 40 (1), 5-18.
- [2] Sugrañes, N., Neme, G., Glascock, M.D., Eerkens, J. y MacDonald, B.L. (2020). Pottery conveyance in North Patagonia, Argentina: Implications for human mobility across the region. *Journal of Archaeological Science* 114.
- [3] Salgán, M. L., M. P. Pompei, S. Dieguez, M. D. Glascock, G. Neme and A. Gil. 2020 Geoarchaeology and Spatial Distributions of the “Coche Quemado” Obsidian Source in Northwestern Patagonia. *Archaeometry*, 62 (2): 232-246
- [4] Gil, A., Neme, G., Ugan, A. y Tykot, R. (2011). Oxygen isotopes and human mobility in central-western Argentina. *International Journal of Osteoarchaeology*,. doi: 10.1002/oa.1304.
- [5] Gil, A., Giardina, M., Neme, G. y Ugan, A. (2014). Demografía humana e incorporación de cultígenos en el Centro Oeste Argentino: explorando tendencias en las fechas radiocarbónicas. *Revista Española de Antropología Americana*, 44 (2), 523-553.
- [6] Aschero, C. 1975 *Ensayo para una clasificación morfológica de artefactos líticos aplicados a estudios tipológicos comparativos*. (Informe a CONICET). Manuscrito no publicado, disponible en el IDEVEA-CONICET, San Rafael, Mendoza.

- [7] Aschero 1983 *Ensayo para una clasificación morfológica de artefactos líticos aplicada a estudios tecnológicos comparativos*. Apéndice A-C. Revisión para la cátedra de Ergología y Tecnología (FFyL, UBA). Manuscrito no publicado, disponible en el IDEVEA-CONICET, San Rafael, Mendoza.
- [8] Orton, C., P. Tyers y A. Vince. 1993 *La cerámica en Arqueología*. Barcelona. Ed. Crítica.
- [9] Salgán, M.L., Gil, A.F. y Neme, G.A. (2012). Obsidianas en La Payunia (sur de Mendoza, Argentina): patrones de distribución e implicancias en la ocupación regional. *Magallania*, 40 (1), 263-277.
- [10] Sugrañes, N. A. (2017a). *La tecnología cerámica y su relación con las estrategias de subsistencia y movilidad de poblaciones humanas en la cuenca del Atuel (sur de Mendoza), durante el Holoceno tardío*. Tesis doctoral inédita. Facultad de Ciencias Sociales, Universidad del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Olavarría.
- [11] Pompei, M. P. (2019). *Organización de la tecnología lítica en la cuenca del río Atuel (sur de la provincia de Mendoza) durante el Holoceno tardío*. Tesis doctoral inédita. Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata. La Plata.
- [12] Sugrañes, N. A. (2017b). Análisis de Formas sobre Vasijas Enteras de Museos del sur de Mendoza. *Revista del Museo de Antropología*, 10 (1), 37-42.
- [13] Shackley (1998) *Archaeological Obsidian Studies: Method and Theory*. En: *Advances in Archaeological and Museum Sciences Series 3*, New York: Springer / Plenum Publishing.
- [14] Glascock, M.D. (2002). Obsidian provenance research in the Americas. *Acc. Chem. Res.* 35, 611-617.
- [15] Glascock, M., Neff, H., 2003. Neutron activation analysis and provenance research in archaeology. In: *Meas. Sci. Technol.* 14, 1516-1526.
- [16] Glascock, M.D., 1992. Characterization of archaeological ceramics at MURR by neutron activation analysis and multivariate statistics. In: Neff, H. (Ed.), *Chemical Characterization of Ceramic Pastes in Archaeology*. Monographs in World Prehistory No. 7. (11-26). Prehistory Press, Madison, WI, pp. 11-26.
- [17] Glascock, M.D. y Ferguson, J.R. (2012). Report on the analysis of obsidian source samples by multiple analytical methods. Report on file at the Archaeometry Laboratory, University of Missouri-Columbia.
- [18] Giesso, M., Durán, V., Neme, G.A., Glascock, M.D., Cortegoso, V., Gil, A.F. y Sanhueza L. (2011). Application of a Portable XRF to Study Obsidian Use in the Central Andes region of Argentina and Chile. *Archaeometry*, 53 (1), 1-21.
- [19] Cortegoso, V., Neme, G., Giesso, M., Durán, V. y Gil, A. (2012). El uso de la obsidiana en el sur de Mendoza. En G. Neme y A. Gil, *Paleoecología humana en el sur de Mendoza: perspectivas arqueológicas* (pp. 181-212). Buenos Aires: Sociedad Argentina de Antropología.
- [20] Pilloud, M. A., Reaux, D. J., Smith, G. M. y Wiggins, K. M. (2017). Using Fordisc software to assign obsidian artifacts to geological sources: Proof of concept. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 13, 428-434.
- [21] Durán, V., Giesso, M., Glascock, M., Neme, G., Gil A., y Sanhueza, L. (2004). Estudios de redes de aprovisionamiento y redes de distribución de obsidiana durante el Holoceno Tardío en el sur de Mendoza (Argentina). *Estudios Atacameños*, 28, 25-43.

[22] Salgán, M. L., Garvey, R., Neme, G., Gil, A., Giesso, M., Glascock, M. y Durán, V. (2015). Las Cargas: Characterization of a Southern Andean Obsidian Source and Its Prehistoric Use. *Geoarchaeology. An International Journal*, 30 (2), 139-150.

[23] Salgán, M. L. y Pompei, M. P. (2017). Fuente de obsidiana El Peceño: primeros resultados de su abordaje tecnológico, geoquímico y espacial. *Revista del Museo de Antropología*, Suplemento Especial, 1, 51-58.

[24] Barberena R, Fernández MV, Rughini AA, Borrazzo K, Garvey R, Lucero G, Della Negra C, Romero G, Durán V, Cortegoso V, Giesso M, Klesner C, MacDonald BL, Glascock MD (2019) Deconstructing a complex obsidian 'source-scape': a geoarchaeological and geochemical approach in northwestern Patagonia. *Geoarchaeology* 34:30–41

[25] Lagiglia, H. (1977). *Arqueología y ambiente natural de los valles del Atuel y del Diamante*. 2 tomos. Tesis Doctoral Inédita. Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata. La Plata.

Reglamentación del arbolado público en el Departamento de San Rafael

Carolina Martínez¹; Cecilia Soengas¹; Ivana Villaroel^{1,2}; Izaak S. Borkert¹

¹ Facultad Regional San Rafael, Universidad Tecnológica Nacional

² Municipalidad de San Rafael, Área Ambiental

c.soengas@hotmail.com

Resumen

El arbolado público, en cualquier urbe, es un pulmón necesario no solo para los habitantes de ella sino para el ambiente en general. En particular en zonas como la provincia de Mendoza donde las ciudades están fundadas en los oasis, la vida de los árboles depende estrechamente de la calidad y cantidad de agua que pase o no por las acequias, de la sanidad, de la antigüedad, de las interferencias urbanas (caminos, cables, etc.) entre otras razones. Esta comunicación tiene la finalidad de difundir el estudio de la normativa vigente referida a la gestión de la infraestructura verde en el Departamento de San Rafael. También es un objetivo específico del proyecto de investigación al cual los autores pertenecen. La legislación referida al arbolado público está presente a nivel nacional, provincial y municipal a través de Leyes, Ordenanzas y Códigos. Es importante saber de ella para poder contar con un diagnóstico general a la hora de relevar los especímenes de la ciudad. Además, analizar la legislación nos facilita establecer las especies plantadas, la distribución en el área urbana, el estado sanitario de los árboles, ubicar los espacios verdes (plazas, parques, etc.) con el fin de definir si la densidad es acorde al área utilizada como tal. Hasta el momento se tiene una visión general sobre la legislación para prontamente poder abordar al relevamiento del arbolado público del Distrito Ciudad de San Rafael.

Palabras Clave: arbolado público – infraestructura verde – legislación – distrito de San Rafael

1. Introducción

En todas las ciudades del mundo el arbolado público es un tema importante a tener en cuenta no solo para los habitantes de ella sino también para los visitantes. Las plazas, parques, espacios verdes en general no solo dan vida a los pájaros, peces (cuando existe un espejo de agua) o animales semi urbanos, sino que también son un espacio utilizado para recreación de los habitantes, turistas, y porque no, de las mascotas.

La provincia de Mendoza posee la particularidad de tener un clima semi desértico, con una precipitación anual de 250 mm. Posee tres grandes oasis, Norte, Centro y Sur, que concentran el 97 % de la población en una superficie equivalente al 3 % del total provincial [1]. Esto se debe a que en los oasis reinan las acequias y los canales por las veredas urbanas. Desde la existencia de los Huarpes, nativos de la zona, los canales eran el único sistema que utilizaban para la agricultura [2]. Esos canales hoy se continúan utilizando, algunos modificados en su geometría, ubicación y revestidos ya no tanto para la agricultura sino para la vida forestal de las urbes.

Históricamente los espacios verdes de las ciudades, en general se diseñan teniendo en cuenta las especies forestales acorde al clima y suelo del lugar. En el caso de San Rafael la primera Ordenanza sobre el arbolado público data de 1986. Desde el año 2010 entra en vigor la Ordenanza 9 814 [3] basada en la Ley Provincial 7 874 [4] y la Ley Nacional 13 273 [5] y sus modificatorias. En la Ordenanza vigente se establecen las características de las especies a plantar, quien está a cargo de realizar la poda, la erradicación, la conservación de las especies, la plantación de nuevos ejemplares, entre otras particularidades.

Poder desarrollar las distintas temáticas se plantearon objetivos parciales y metodologías distintas acorde a éstos. Uno de los objetivos era el estudio de la reglamentación y el otro era diseñar una ficha para realizar el relevamiento.

La presente Comunicación tiene como fin último capacitar en la reglamentación vigente, a quienes van a realizar el relevamiento del arbolado público del Distrito Ciudad de San Rafael. Este relevamiento forma parte de un trabajo en conjunto con varias instituciones. Todas tienen como punto en común el arbolado público por lo cual, para hacer el relevamiento se debían tener en cuenta varios tópicos. El principal de ellos fue la legislación o reglamentación vigente.

2. Desarrollo

La sistemática para el estudio de la reglamentación fue dividida a nivel nacional e internacional esto último con el fin de conocer qué está planteado en otros países en referencia al arbolado público.

2.1 Análisis de la Reglamentación y acciones en Mendoza

La Ley 7 874 [4] en su Capítulo II, considera arbolado público al existente en calles, caminos, plazas, parques y demás lugares o sitios públicos, y al que exista plantado en las márgenes de ríos, arroyos y cauces artificiales o naturales del dominio público y privado al servicio de la irrigación y la vialidad.

El mismo Capítulo, hace responsable a los municipios del mantenimiento del arbolado público en su jurisdicción, excepto aquel que vegete en terrenos provinciales y nacionales.

Una de las estrategias y objetivos de la Ley es *“colaborar con la protección del medio ambiente de la Provincia de Mendoza, a través de la conservación y preservación del arbolado público y sus sistemas de riego”*

En particular en el Capítulo IV, Art. 21 encontramos *“... elaborar un informe anual con la información que le provean las autoridades competentes y el Consejo Provincial de Defensa del Arbolado Público, el que deberá como mínimo especificar el tipo y cantidad de especies, infraestructura, riego, estado de situación individual, por zona o departamento, tanto del patrimonio existente como el que se va a desarrollar”*

Este punto fue uno de los más importantes a tener en cuenta, ya que alimenta la planilla de relevamiento que está confeccionando otro grupo de trabajo, dentro del mismo proyecto.

En otros artículos se citan las prohibiciones propiamente dichas de los especímenes y de su infraestructura (sistema de riego, nicho, sistema de contención o protección). Todos estos elementos a tener en cuenta para la planilla de relevamiento.

En cuanto a la Ordenanza 9 814 [3] en el Anexo I se detalla el listado de especies que están permitidas plantar, y las que no, además de las condiciones que deben cumplir los ejemplares a plantar. Este tema es importante para etapas futuras, del proyecto de investigación.

En el artículo 7 de la Ordenanza estipula la uniformidad de especies por cuadra y por calles. En el artículo 8 se explica el distanciamiento y la ubicación de la línea de plantación del arbolado público.

2.2 Infraestructura verde en otros países

Luego de la caída de la Cortina de Hierro que dividía el bloque oriental y occidental de Alemania, y Europa, se puso en marcha un proyecto de infraestructura verde de ámbito transnacional con fines de conservar la naturaleza y con el objetivo de construir un corredor ecológico que cruzase Europa desde el Mar de Barents al Mar Negro (Fig. 1) a través de 23 países [6].

Se trata de una red ecológica que conecta parques nacionales, parques naturales, reservas de la biosfera, zonas protegidas transfronterizas y zonas no protegidas. La iniciativa es más que un simple proyecto de conservación de la naturaleza, ya que persigue también la mejora de las condiciones socioeconómicas de numerosas regiones fronterizas.



Fig. 1. Mapa del Corredor Ecológico. Fuente: <http://www.europeangreenbelt.org/>

El Plan del Verde y de la Biodiversidad de Barcelona define objetivos, líneas estratégicas y acciones a realizar hasta el año 2020 en relación con la conservación del verde y de la diversidad biológica. Uno de los objetivos del Plan es que la naturaleza y la ciudad interactúen. El Plan se refiere a una red denominada “infraestructura ecológica” [7].

El *Ayuntamiento de Madrid* está avanzando en la integración de los postulados de la infraestructura verde en el planeamiento urbanístico del municipio, concretamente en la

propuesta de Revisión del Plan General de Madrid (RPG). Para ello los objetivos plantean redefinir y enriquecer las categorías de espacios libres, las redes y los elementos estructurantes, recogiendo nuevas categorías no contempladas en planes anteriores, en reconocimiento a la diversidad de funciones que desempeñan y también, establecer una regulación tendente a conseguir los objetivos pretendidos [8].

3. Resultados Parciales o Avances

De toda la información recabada y analizada se desprendieron tópicos a seguir considerando como el Plan de Ordenamiento Territorial de Mendoza.

De la reglamentación examinada se estudió sobre los ítems a tener en cuenta para hacer el relevamiento del arbolado público. Los ítems serían: ubicación del forestal, identificación de la especie, características físicas (altura, perímetro e inclinación del tronco, estado de la copa, entre otras), presencia de plagas o nidos, estado de la acequia, etc. Estos son los aspectos más importantes desprendidos de la reglamentación, pero también útiles no solo para este proyecto de investigación sino también para el interés de las demás instituciones que en forma conjunta abordarán el relevamiento del arbolado público del Distrito Ciudad de San Rafael, Mendoza.

Agradecimientos

A la Universidad Tecnológica Nacional por el financiamiento del Proyecto de Investigación y Desarrollo "Infraestructura verde en la planificación urbana. Estudio de caso: Ciudad de San Rafael" Código MSRENSR 7825 al cual pertenecen dos de los autores del presente trabajo.

Bibliografía

- [1] Clarín Atlas Total de la República Argentina, Tomo 17 Mendoza (2008). Buenos Aires, Argentina. 1ª edición ISBN 978-987-07-0103-3. Arte Gráfico Editorial Argentino S.A.
- [2] Argentina Pueblo a Pueblo, Tomo 14 (2006). Buenos Aires, Argentina. 1ª edición ISBN 978-950-782-841-6. Arte Gráfico Editorial Argentino S.A.
- [3] Honorable Concejo Deliberante de San Rafael (2010). Ordenanza 9 814 "Normas que Rigen la Plantación, Erradicación y Mantenimiento del Arbolado Público en el Departamento de San Rafael". San Rafael, Argentina: Digesto Municipal.
- [4] Cámara de Senadores y Diputados de la Provincia de Mendoza (2008). Ley Provincial 7 874 "Régimen de Preservación y Control del Arbolado Público de Mendoza". Mendoza, Argentina: Digesto Provincial.
- [5] Cámara de Senadores y Diputados de la Nación Argentina (1948). Ley Nacional 13 273 "Defensa, Mejoramiento y Ampliación de Bosques" Buenos Aires, Argentina: Digesto Nacional.
- [6] European Green Belt (2020). Recuperado el 16/06/2020. www.europeangreenbelt.org/
- [7] Plan del Verde y de la Biodiversidad de Barcelona 2020 (2013). Gobierno Municipal de la Comisión de Hábitat Urbani i Medi Ambient. Ajuntament de Barcelona. Recuperado el 10/05/2020 https://ajuntament.barcelona.cat/ecologiaurbana/sites/default/files/PlanVerde_2020.pdf
- [8] Revisión del Plan General (2012). Área de Gobierno de Urbanismo y Vivienda, Ayuntamiento de Madrid. Recuperado el 23 de junio de 2020 https://www.madrid.es/UnidadesDescentralizadas/UrbanismoyVivienda/Urbanismo/PGOUM/Ficheros/Preav2012/pre_PRESENTACION_Firmado.pdf

Infraestructura verde urbana: metodología de relevamiento en la Ciudad de San Rafael

María Luisina Biondi; María Itatí Villatoro; Agustina Gisel Sanchez; Fernando Fabian Castro;
Hugo Alfredo Reviglio
Grupo de Estudios sobre Desarrollo Territorial (GEDT), Universidad Tecnológica Nacional
lbiondi@frsr.utn.edu.ar

Resumen

La infraestructura verde es entendida como una red interconectada de espacios verdes que conservan ciertas funciones y valores de los ecosistemas naturales; su importancia deviene de su incidencia en la calidad de vida de la población y en la sustentabilidad económica, social y ambiental de la comunidad. En áreas urbanas aporta beneficios como: aminoramiento de la intensidad de las islas de calor, secuestro de gases de efecto invernadero, reducción de la contaminación ambiental y atenuación del viento. De esto se desprende que la planificación y gestión ambiental asociada a la infraestructura verde urbana es un aspecto relevante del desarrollo territorial. La etapa inicial de los procesos de planificación incluye la descripción de la situación actual; en este marco, el presente trabajo se propone desarrollar un relevamiento del arbolado público de la Ciudad de San Rafael, como insumo para el diagnóstico integral de la infraestructura verde urbana de la zona de estudio. Se plantea una metodología de relevamiento de barrido territorial por cuadrillas, utilizando como instrumento una ficha de tangibles a observar. Las herramientas a emplear en campo incluyen: aplicación para terminales *Android* y vademécum de especies arbóreas. El trabajo de gabinete se complementa con imágenes satelitales, bases de datos y planillas de cálculo. El procesamiento y análisis de datos se efectuará a partir de Sistemas de Información Geográfica. Con la iniciativa se espera constituir una herramienta de diagnóstico en tiempo real, sistematizada y actualizable, para ser transferida a los organismos con injerencia en la toma de decisiones de la temática.

Palabras Clave: infraestructura verde – arbolado público – relevamiento – planificación territorial – zona urbana

1. Introducción

La infraestructura verde urbana de la Ciudad de San Rafael (Mendoza, Argentina) está conformada por el arbolado público de alineación, las plazas, los parques y los espacios verdes en general, que en conjunto constituyen una red interconectada que conserva funciones y valores de los ecosistemas naturales [1].

El uso de vegetación en las ciudades se ha distinguido por responder a necesidades relacionadas con las características climáticas, socioculturales y económicas de las mismas. 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 [2].

Sin embargo, una gestión ineficiente del arbolado urbano puede conducir a problemáticas que opaquen las ventajas mencionadas, con consecuencias como: ocultamiento de carteles indicadores, roturas de veredas, obstrucción de desagües, caída de ejemplares, interferencia 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 [3]. Como parte del proceso de planificación resulta necesario efectuar un diagnóstico de la situación actual del objeto de estudio. En función de lo mencionado, el objetivo del trabajo que se expone es desarrollar un relevamiento del arbolado público (de alineación y de espacios verdes) en la Ciudad de San Rafael.

La presente línea de acción conforma una de las etapas del Proyecto de Investigación y Desarrollo *MSRENSR0007825* de la Universidad Tecnológica Nacional *"Infraestructura verde en la planificación urbana. Estudio de caso: Ciudad de San Rafael"*, que surge como respuesta a un requerimiento formal de la Municipalidad de San Rafael.

Vastos antecedentes confirman la importancia de la planificación del bosque urbano, tanto a nivel nacional [4], [5] como internacional [6], [7], [8], [9]. En el plano local, el marco conceptual y legal que encuadra la planificación y la gestión presente de la infraestructura verde urbana se conforma principalmente por la Ley Provincial N° 7874 *"Régimen de preservación y control de arbolado público"* y la Ordenanza N° 9814 del Honorable Concejo Deliberante de San Rafael. En lo referente a antecedentes de relevamiento y diagnóstico de la situación actual, entrevistas con el Director de Ordenamiento Territorial de Municipio nos permitieron saber que se han efectuado algunos trabajos previamente, pero no de forma integral ni especializada.

Con esta iniciativa se espera construir una herramienta de diagnóstico en tiempo real, sistematizada y actualizable, para ser transferida a los organismos con injerencia en la toma de decisiones de la temática. Al tener georreferenciados los forestales en conjunto con sus condiciones, será más fácil detectar a tiempo posibles problemáticas asociadas a su estado general. La concreción del trabajo permitirá establecer el punto de partida para diseñar estrategias innovadoras de conservación, mejora, planificación y control de la infraestructura verde urbana en la Ciudad de San Rafael.

2. Desarrollo

Para el abordaje del trabajo se ha conformado un equipo multidisciplinario e interinstitucional, en el que se encuentran representados: la Municipalidad de San Rafael, el Museo de Historia Natural de San Rafael, la Dirección de Recursos Naturales de Mendoza, la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional de Cuyo, la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Mendoza y la Facultad Regional San Rafael de la Universidad Tecnológica Nacional.

Se propone alcanzar el objetivo establecido a partir de una metodología con enfoque mixto (cuanti-cualitativo), que puede subdividirse en cuatro etapas: etapa de diseño, etapa de apropiación, etapa de ejecución y etapa de análisis (Fig. 1). Todas las fases se acompañan en forma transversal con la comunicación de avances y resultados parciales a las instituciones involucradas, colegas y comunidad en general.



Fig. 1. Infografía de etapas metodológicas (elaboración propia).

3. Resultados Parciales o Avances

Hasta el momento, se ha trabajado en el desarrollo de los instrumentos comprendidos en la etapa de diseño. Los avances obtenidos son:

- **Vademécum de especies arbóreas:** caracterización de acacia visco, acer negundo, fresno, morera híbrida, paraíso y plátano (especies permitidas actualmente como arbolado público en San Rafael [10]).
- **Ficha de relevamiento:** selección de variables a relevar, en función del análisis de la información necesaria para determinar el estado de la vegetación urbana (Tabla 1).

Tabla 1. Ficha de tangibles a relevar

N°	Variables	Categorías		
1	Ubicación	Latitud	Longitud	Altitud
2	Especie	(lista desplegable con las 15 especies más usuales)		
3	Altura	menor a 3 m	entre 3 m y 6 m	mayor a 6 m
4	Perímetro del tronco	(valor en cm)		
5	Inclinación del tronco	aprox. 90°	entre 45° y 90°	menor a 45°
6	Estado de la copa	muy bueno	bueno	regular
7	Presencia de plagas	sí	no	observaciones
8	Presencia de nidos	sí	no	observaciones
9	Acequia	permeable	impermeable	no posee
10	Nicho	reglamentario	no reglamentario	no posee

- **Aplicación para terminales Android:** desarrollo de una aplicación (software) para uso en teléfonos “inteligentes” y tabletas, que permite al personal que efectúa el relevamiento cargar los datos en campo, los que son volcados de forma inmediata a una base de datos que recopila la información de todos los usuarios. A su vez, valiéndose del GPS del *Google Satellite*, la aplicación georreferencia el relevamiento del ejemplar con su ubicación en el terreno. El funcionamiento del software fue validado a través de una prueba piloto efectuado en un espacio verde del área de estudio, presentando resultados satisfactorios.
- **Método de relevamiento:** definición del barrido territorial sectorizado, con avance en forma de anillo, comenzando desde el microcentro hacia la periferia. El relevamiento de cada cuadra o espacio verde se iniciará desde su extremo norte u oeste (según corresponda). Las cuadrillas estarán conformadas por 2 relevadores. Se cuenta con aproximadamente 50 personas afectadas a la labor.

Las acciones futuras planificadas comprenden las etapas de apropiación, ejecución y análisis anteriormente detalladas. Se espera que la aplicación de la metodología propuesta conduzca a resultados exitosos, que permita ser replicada en territorios similares.

Agradecimientos

Se agradece a la Universidad Tecnológica Nacional, institución que financia este trabajo como parte del Proyecto de Investigación y Desarrollo PID MSRENSR0007825.

Bibliografía

- [1] Vásquez, A. E. (2016). Infraestructura verde, servicios ecosistémicos y sus aportes para enfrentar el cambio climático en ciudades. *Revista de Geografía Norte Grande*, 63, 63-86.
- [2] Unión Europea (2014). Construir una infraestructura verde para Europa. ISBN: 978-92-79-39996-1. DOI: 10.2779/2738.
- [3] Martínez, C. F. [et al] (2014). Incidencia del déficit hídrico en el crecimiento de árboles de uso urbano en ciudades de zonas áridas. *Interciencia*, 39(12), 890-897.
- [4] Municipalidad de Posadas (2012). Plan Urbano Ambiental Posadas. Recuperado de <https://posadas.gov.ar/planurbano/plan-urbano-ambiental-posadas>
- [5] Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires (2002). Plan Urbano Ambiental de la Ciudad de Buenos Aires. Recuperado de <https://observatorioplanificacion.cepal.org/es/planes>
- [6] Ajuntament de Barcelona (2014). El Plan del Verde y de la Biodiversidad de Barcelona 2020. Recuperado de <https://ajuntament.barcelona.cat/ecologiaurbana>
- [7] Vargas, M. A. y Balmaceda N. (2011). Forestación urbana mediante compensación ambiental. *Centro de Políticas Públicas Universidad Católica de Chile*, 3 (43), 1-12.
- [8] Quiroz Benítez, D. E. (2018). Implementación de infraestructura verde como estrategia para la mitigación y adaptación al cambio climático. Ciudad de México, México: SEDATU.
- [9] Moreno, O. [et al] (2014). La infraestructura verde como espacio de integración. XI Simposio de la Asociación Internacional de Planificación Urbana y Ambiente (UPE 11), 1, 148-156. ISBN: 978-950-34-1133-9. URI: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/53434>
- [10] Honorable Concejo Deliberante de San Rafael (2010). Ordenanza N° 9814. San Rafael, Argentina: Digesto Municipal.

Determinación de la K_H del sustrato suelo – cenizas en Biorreactores

Adalgisa Scotti; Juan Cerioni; Mauricio Visciglia; Sol Cerioni; Roberto Biondi; Juliana Turano;
Jaqueline Bianchini; Gustavo Osisnaldi
Laboratorio BioAmbiental para Escalamiento Ingenieril, FRSSR UTN – ICES – CNEA
scotti@cnea.gov.ar

Resumen

En el siguiente trabajo presentamos Biorreactores en el Laboratorio Bioambiental como herramientas para el escalamiento de ensayos de laboratorio. Los mismos están situados en la UTN FRSSR y se utilizan para escalamiento de pruebas de concepto de TRL 1 a TRL 3 en ensayos de biorremediación. Para tal fin se definen variables físicas, químicas, biológicas e hidráulicas que competen al funcionamiento eficiente de los biorreactores. En este proyecto se busca profundizar en las variables hidráulicas definiendo la ley que sigue el modelo, los caudales, el tipo de riego, el tiempo de retención y la K_H de los distintos estratos de relleno. El tiempo de retención hidráulica del fluido es importante para los ensayos de biogeoquímica y se relaciona con la partición entre percolación a cámara colectora y tiempo de permanencia en la matriz sustrato para ser afectada por el sistema físico-químico-biológico. El objetivo de este trabajo es determinar la K_H del sustrato suelo (limoso, arcilloso, arenoso) con el agregado de cenizas volcánicas, identificando el modelo físico adecuado que prediga el comportamiento hidráulico. Para ello se construyeron 4 biorreactores, 2 para tratamiento y 2 para control. En el control tomamos los caudales de ingreso y egreso, sólo con relleno de filtro de piedra sin biofilm de experimentos anteriores. En el tratamiento agregamos el sustrato suelo-cenizas volcánicas sobre el filtro de piedra. Como resultados parciales obtuvimos que, siguiendo algunas restricciones en cuanto a flujo, caudales, sustrato y tipo de riego, el modelo sigue la ley de Darcy y fueron identificados los componentes de la ecuación que rige el modelo para obtener la K_H .

Palabras Clave: Biorreactores – riego flujo vertical – hidráulica - K_H del sustrato - ley de Darcy.

1. Introducción

1.1. Nivel de maduración tecnológica (TRL)

La maduración de una tecnología tiene 9 niveles (Technology Readiness Levels: TRL), que se extienden desde los principios básicos de la nueva tecnología hasta llegar a sus pruebas con éxito en un entorno real [1]. Los tres primeros niveles (TRL 1-3) abordan la investigación tecnológica más básica hasta llegar a una primera prueba de concepto. El desarrollo tecnológico se lleva a cabo desde los niveles siguientes hasta llegar a un primer prototipo (TRL 4-6). El TRL 6 establece la validación del sistema o subsistema en un entorno relevante (con condiciones que se aproximan o simulan suficientemente las condiciones de operación en un entorno real), mientras que el TRL 7 establece la validación y certificación completa en un entorno real. El TRL 8 aborda un sistema completo y certificado a través de pruebas y demostraciones, y el TRL 9 establece un sistema probado con éxito en un entorno real. Actualmente, se utilizan estos criterios para cuantificar la madurez de la transferencia tecnológica en diversos programas

internacionales, tanto de la Unión Europea como de EE. UU (por ejemplo, Horizon 2020, Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE), etc.).

1.2. Laboratorio BioAmbiental

El Centro Tecnológico de Desarrollo Regional Los Reyunos, San Rafael, Mendoza, la Facultad Regional San Rafael (FRSR) de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN) junto al Centro Internacional de Ciencias de la Tierra (International Center for Earth Sciences, ICES) de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), pusieron en marcha el Laboratorio Bioambiental de Escalamiento Ingenieril. En este laboratorio, se pueden escalar ensayos realizados a nivel de laboratorio inicial de comprobación de prueba de concepto (Fig. 1 y Fig. 2) para llevarlos a escala de prototipo o prueba piloto y, posibilitar el desarrollo a nivel industrial [2]. A través de este laboratorio, es posible probar una tecnología dada en un entorno real con menor riesgo de fracaso. El uso del laboratorio permite establecer las variables de caudal, rellenos, pH, Eh, retención hidráulica, entre otras, que hacen posible la calibración del proceso para llevar el protocolo a territorio [3].



Fig. 1. Armado de biorreactores en escalamiento de pruebas de concepto a TRL 3.

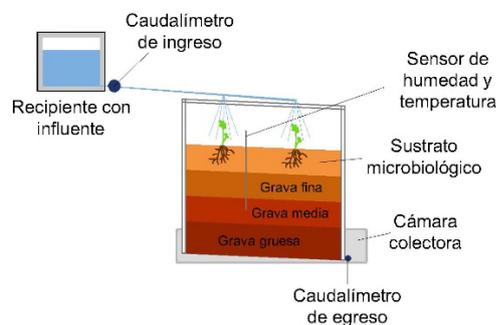


Fig. 2. Esquema de los componentes de los biorreactores.

Los biorreactores tienen una pendiente de fondo del 6% y están compuestos por tres estratos de gravas de distintas granulometrías formando un filtro, sobre el mismo se ubica el sustrato que contiene al sistema biorremediador (Fig. 2) teniendo en cuenta las experiencias de otros investigadores para el diseño hidráulico de humedales artificiales [4].

El sistema biorremediador está conformado por una especie vegetal de girasol (HIBRIDO DK 4045), que crece en una mezcla de suelo y ceniza al 50% V/V. Este suelo contiene metales pesados y para mejorar la eficiencia de bioacumulación de la planta se incorporan hongos micorrízicos arbusculares, bacterias y un catalizador enzimático. Además, se diseñó un sistema de control de riego, consistente en un reservorio de agua, del cual se conecta un conducto que posee un regulador de caudal permitiendo la adecuación del sistema a las necesidades propias de la especie vegetal, como también el riego constante a caudal controlado.

Es necesario establecer el coeficiente de conductividad hidráulico del estrato de suelo-ceniza debido a que esto afecta directamente al tiempo de retención hidráulica que determina la

velocidad de circulación del fluido, la cual si es muy elevada o turbulenta no permite que los sistemas biológicos absorban /adsorban los MP por parte de las raíces y el micelio extra e antirradical. Por otra parte, la mayor velocidad o turbulencia impide que los fenómenos de intercambio físico-químicos (solvataciones, quelaciones, disoluciones, equilibrios) de elementos químicos a nivel de rizósfera se vea perturbado e influya en el ingreso de algunos elementos en detrimento de otros [5].

Una vez finalizada esta etapa se llevará a orden de TRL 6 en Módulos de Depuración Vegetal (MDV) manteniendo las variables del biorreactor como se describe en [6]. Los MDV se encuentran en el LBA FRSR CTDR Los Reyunos, son de 4.60m de largo por 2.5m que van desde una profundidad de 90 cm manteniendo una pendiente de fondo del 6%. Este escalamiento permitirá tener los parámetros hidráulicos para poder llevar a territorio la depuración de suelos y/o aguas, por ejemplo si se quiere descontaminar aguas se tendrá el caudal de agua a depurar ya sea por lixiviación o fitomicoremediación y el tiempo estimado en llevarlo a cabo. En función de estos pondrán en territorio la cantidad de MDV ubicados según distintos procesos, sea en serie o paralelo, necesarios para lograr el objetivo en tiempo conveniente para los interesados.

1.3. Objetivos

Determinar en biorreactores la variable hidráulica, K_H , conductividad hidráulica de una unidad de área del humedal perpendicular a la dirección de flujo, que refleja la velocidad con la que el agua pasa a través del medio. Esto se materializa definiendo modelo, caudales, flujo, tipo de riego y tiempo de retención hidráulica para el estrato suelo-ceniza, componente del sistema biorremediador, con visión de realizar la transferencia de tecnología a mayor escala en el Módulo de Depuración Vegetal.

2. Desarrollo

Se disponen de 4 biorreactores, 2 para tratamiento y 2 para control. En el control se cuenta solo con relleno de filtro de piedra sin biofilm de experimentos anteriores. En el tratamiento agregamos el sustrato suelo-cenizas volcánicas. La pendiente, la protección frente a condiciones adversas, y los sensores de humedad, temperatura y pluviómetros serán dispuestos según un esquema establecido (Fig. 3).

Al ingresar el influente a los biorreactores, se hace una medición de este caudal mediante un caudalímetro. Luego se produce la interacción con el medio biológico y percolación a cámara colectora, donde también se determina este caudal de egreso. Además, se hacen lecturas de los sensores de humedad y temperatura ya que estos afectan al comportamiento del fluido a través del medio.

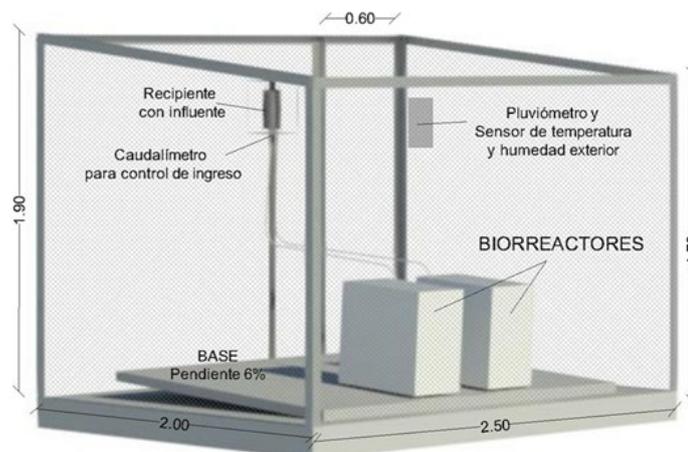


Fig. 3. Esquema metodológico de emplazamiento de los biorreactores.

3. Resultados Parciales o Avances

Se puede establecer que bajo determinadas condiciones y consideraciones simuladas en un biorreactor podemos lograr que el flujo siga el modelo de Darcy que se aprecia en la ecuación 1, donde el flujo es laminar y continuo. Esto se logra estableciendo que el caudal de ingreso es constante y los canales de ingreso de flujo vertical son generados homogéneamente. Se considera que no hay turbulencia debido a que las partículas del estrato son muy finas y el caudal de ingreso es bajo. Además, se estableció la disposición de los componentes del biorreactor para lograr un flujo vertical y constante de influente sobre una matriz saturada.

$$Q = K_H * A_T * S \quad (1)$$

Ecuación donde K_H es la conductividad hidráulica de una unidad de área del humedal perpendicular a la dirección de flujo, A_T es el área de la sección transversal perpendicular al flujo y S es el gradiente hidráulico o "pendiente" de la superficie del agua en el sistema.

Bibliografía

- [1] Mankins, J.C., (1995). Technology Readiness Levels', NASA
- [2] Scotti, A., Cerioni, J., Reviglio, H., Silvani, V., Godeas, A., Saavedra, V., Visciglia, M., Cerioni, S., Biondi, R., Turano, J., Quiroga, C., Genovese, F., and Gomez, M. (2019a). Scaling to Technological Readiness Levels 6 in the Bio-Environmental Laboratory. Case Report, Vol 4: 3. Robotic Automation Engineering Journal. ISSN 2577-2899. DOI: 10.19080/RAEJ.2019.04.555637.
- [3] Scotti, A., Vanesa Analia Silvani, Juan Cerioni, Mauricio Visciglia, Matías Benavidez & Alicia Godeas (2019b). Pilot testing of a bioremediation system for water and soils contaminated with heavy metals: vegetable depuration module, International Journal of Phytoremediation, 21:9, 899-907, DOI: 10.1080/15226514.2019.1583634.
- [4] Lara-Borrero, J. (1999), Depuración de aguas residuales urbanas mediante humedales artificiales [tesis de maestría], Barcelona, Universidad Politécnica de Cataluña, Máster en ingeniería y gestión ambiental.
- María Teresa Alarcón Herrera, Florentina Zurita Martínez, Jaime A. Lara-Borrero, Gladys Vida. (2018). Humedales de tratamiento: alternativa de saneamiento de aguas residuales aplicable en América Latina, 269 pp. ISBN: 978-958-781-235-0. Ed. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá
- [5] García J, Ruiz A, Junqueras X, (1997). Depuración de aguas residuales urbanas mediante humedales construidos, en Tecnología del Agua No. 165, pp 58-65.
- Kadlec R. H, Knight R.L (1996), Treatment Wetlands, CRC Press.
- [6] Scotti A., Cerioni J., Reviglio H., Visciglia M., Cerioni S., Biondi R., Saavedra V., Silvani V., Godeas A., Turano J., Quiroga C., Genovese F., Gómez M. (2020). Escalamiento Ingenieril a niveles de maduración tecnológica (TRL) 3 a 6 en el Laboratorio BioAmbiental. Comisión Nacional de Energía Atómica - CNEA Actas de Trabajos Completos del E-ICES 14. Editado por Martín Pedro Gómez; Dino Filipussi; Luis Lenzano. 1a ed revisada. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. 2020. Libro digital, PDF Archivo Digital: descarga y online ISBN 978-987-1323-64-7. Recuperado de <http://www.uncuyo.edu.ar/ices/upload/actas-e-ices-14final3.pdf>.

Generación de biogás a partir de la vegetación acuática del embalse El Nihuil, Prov. de Mendoza. Manejo sustentable y aplicación tecnológica de nuevas energías renovables

Alejandro J. González¹; Adrián G. Atencio^{1 y 2}; Daniela A. Armijo¹; Jorge C. Saromé¹; Fabio O. Lastra^{1 y 2}

¹Facultad Regional San Rafael, Universidad Tecnológica Nacional

²Departamento General de Irrigación

ajgonzalezcalvo@gmail.com

Resumen

El embalse El Nihuil es el reservorio cabecera sobre el río Atuel construido para la generación de energía eléctrica que cumple una función clave para acumular agua y regular caudales de agua del río Atuel. Posee un vaso típicamente somero que propicia el crecimiento de vegetación acuática. En función del año hidrológico y las precipitaciones níveas, 2/3 de su superficie está cubierta por vegetación sumergida. Las especies que proliferan son *Potamogeton sp.*, *Miriophyllum sp.* y *Chara sp.* Debido al viento y el oleaje, restos de tallos y hojas quedan en la orilla, disponibles como materia orgánica. El objetivo del presente trabajo es construir y evaluar un biodigestor modelo Batch, con una capacidad de carga de 50 kg, utilizando como biomasa la mencionada vegetación para la generación de biogás, a través de la digestión anaeróbica de la misma. Los estudios bioquímicos y microbiológicos realizados hasta la actualidad dividen el proceso de descomposición anaeróbica en cuatro fases: 1-Hidrólisis; 2-Etapa Fermentativa o Acidogénica; 3-Etapa Acetogénica; 4-Etapa metanogénica. La cuarta etapa es la de mayor importancia para el presente trabajo y consiste en la producción de metano (CH₄), a partir de ácido acético, H₂ y CO₂. Los ensayos permitirán calcular la cantidad de metano que se genera con cada especie vegetal como así también con la mezcla de proporciones definidas con cada una de ellas. El proyecto contribuye al manejo sustentable de la vegetación acuática del reservorio como fuente de biomasa y al conocimiento técnico para la producción de biogás.

Palabras Clave: digestor discontinuo – biogás – vegetación acuática – El Nihuil

1. Introducción

El embalse El Nihuil es el reservorio cabecera sobre el río Atuel que fue construido para la generación de energía eléctrica, el cual también cumple la función de regular caudales de agua del río Atuel (Fig. 1) [1].

Posee una morfología de vaso típicamente somero, el cual propicia el crecimiento de la vegetación acuática. Las especies que proliferan son *Potamogeton sp.*, *Miriophyllum sp.* y *Chara sp* [2].

Debido al viento y el oleaje de la zona, restos de tallos y hojas quedan en la orilla, disponibles como fuente de materia orgánica (Fig. 2). La cantidad de materia orgánica extraída del lago es

muy grande. Este residuo generado ocasiona un problema ya que no se sabe qué hacer con él [1][3].



Fig. 1. Embalse El Nihuil



Fig. 2. Vegetación acuática disponible como fuente de materia orgánica.

El objetivo del presente trabajo es construir y evaluar un biodigestor modelo Batch, con una capacidad de carga de 50 kg, utilizando como biomasa la mencionada vegetación para la generación de biogás, a través de su digestión anaeróbica.

Los estudios bioquímicos y microbiológicos realizados hasta la actualidad dividen el proceso de descomposición anaeróbica en cuatro fases: 1-Hidrólisis; 2-Etapa Fermentativa o Acidogénica; 3-Etapa Acetogénica; 4-Etapa metanogénica. La cuarta etapa es la de mayor importancia para el presente trabajo y consiste en la producción de metano (CH_4), a partir de ácido acético, H_2 y CO_2 . [4]

Cabe destacar, que este proyecto surge como la continuación del Proyecto "RELANI": Uso de la Lama del Lago El Nihuil - UTN1058 – Facultad Regional San Rafael – Universidad Tecnológica Nacional, desarrollado entre el año 2009 y el año 2012. Del mismo se recupera parte del Know how y del Equipo de Trabajo. Siendo éste el antecedente más reciente y conocido por este equipo de investigación al respecto.

2. Desarrollo

Los ensayos a realizar permitirán calcular la cantidad de metano que se genera con cada especie vegetal como así también con la mezcla de proporciones definidas con cada una de ellas. El proyecto contribuye al manejo sustentable de la vegetación acuática del reservorio como fuente de biomasa y al conocimiento técnico para la producción de biogás.

Para el realizar los estudios deseados acerca del biogás producido, se propone realizar un biodigestor modelo Batch con una capacidad de carga de biomasa de 50 kg (Fig. 3).

El biodigestor está conformado principalmente por: [5]

1. Cámara de digestión
2. Mangueras, acoples y llaves
3. Acumulador de gas (Fig. 4)

4. Quemador



Fig. 3. Biodigestor Tipo Batch



Fig. 4. Detalle de la construcción del acumulador de gas

Dentro del reactor ocurre el proceso de descomposición anaeróbica de la materia orgánica. Se divide en cuatro fases (Fig. 5) [4].

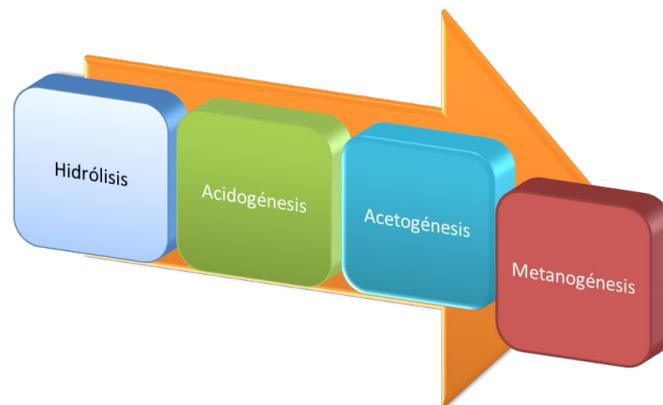


Fig. 5. Fases del proceso de descomposición anaeróbica.

La cuarta etapa es la de mayor importancia para los objetivos del proyecto. Se evaluará mediante ensayos la cantidad de metano que se genera con cada especie vegetal y con la mezcla de proporciones definidas de cada una de ellas.

Para lograr obtener estos datos, se realiza la carga del biodigestor con materia orgánica y agua. Se conoce de los ensayos previos que la materia orgánica posee las bacterias necesarias para realizar el proceso dentro del reactor, por ende, no es necesario agregarlas al momento de cargar el equipo. Luego de completar la carga, deben darse las condiciones anaeróbicas para que inicie el proceso, y luego mantener las condiciones para que el mismo avance. Para ello, así como para conocer la evolución del ensayo se realiza un seguimiento periódico del mismo hasta el momento en que se realice la extracción del biogás a ensayar.

3. Resultados Parciales o Avances

El día 11/12/2019 se armó el biodigestor en las instalaciones de la Facultad Regional San Rafael. Se le dio seguimiento durante el verano hasta que se decretó el Aislamiento Social Preventivo y Obligatorio en marzo del corriente año. Luego el día 07/05/2020 se realizó una purga del mismo, obteniéndose una llama casi imperceptible debido a la baja concentración de metano en el biogás.

Actualmente, se encuentra en etapa de proyecto un nuevo ensayo con digestores de menor escala para intentar cumplir con los objetivos propuesto del presente proyecto.

Bibliografía

- [1] Cerioni G, Cerioni J, Di Césare L, González A., Latorre C., Viano M. y Lastra F., et al. (2012). INFORME FINAL - PROYECTO "RELANI": USO DE LA LAMA DEL LAGO EL NIHUIL - UTN1058 – Facultad Regional San Rafael – Universidad Tecnológica Nacional.
- [2] Atencio, A. (2017). Informe Técnico: Calidad del agua y manejo de la vegetación acuática sumergida en el embalse El Nihuil. San Rafael: Dirección General de Irrigación.
- [3] Cerioni G, Cerioni J, Di Césare L, González A., Latorre C., Viano M. y Lastra F., et al. (2009). Reuso de la vegetación acuática del embalse El Nihuil. HYFUSEN.
- [4] Dipl. Ing. Sanitario Ambiental – Ing. Civil Gabriel Moncayo Romero (2008) – BIODIGESTORES. DIMENSIONAMIENTO, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE BIODIGESTORES Y PLANTAS DE BIOGÁS.
- [5] FAO. (2011). Manual de Biogás. Santiago de Chile.

Disco

Compartido 4.0

Publicación de Ciencia y Tecnología de la
Facultad Regional San Rafael
Año 4 Número 4

Actas del VIII Foro Tecnológico, publicación bianual de la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Facultad Regional San Rafael de la Universidad Tecnológica Nacional.

Los proyectos de Investigación y Desarrollo que se llevan a cabo en el ámbito académico, tienen la posibilidad de dar difusión, a través de la participación de sus docentes investigadores, graduados y alumnos en sus planteos, avances y conclusiones en este Foro. Así mismo los proyectos finales de carrera y los proyectos de cátedra son difundidos por sus autores en este medio.

ISBN 978-987-4998-63-7



9 789874 998637



VIII^o Foro Tecnológico

