CoINI 2019

XIIº Congreso de Ingeniería Industrial

Innovación y Gestión de Productos

UTN FACULTAD REGIONAL SANTA CRUZ
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL

aacini
ASOCIACIÓN ARGENTINA DE CARRERAS DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

edUTecNe

CoINI 2019

XIIº CONGRESO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Innovación y Gestión de Productos

CoINI 2019

XII° CONGRESO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
FACULTAD REGIONAL SANTA CRUZ

COMITÉ DE HONOR

PRESIDENTE HONORARIO
Ing. Héctor Aiassa
Rector de la Universidad Tecnológica Nacional

VICE – PRESIDENTE HONORARIO
Lic. Sebastián Puig
Decano de la Facultad Regional Santa Cruz

COMITÉ ORGANIZADOR

COORDINACIÓN GENERAL
Dr. Ing. Ind. Ruben Mario Lurbé
Esp. Arq. Miguel Rissetto
Lic. Maria Eva Balcazar
Ing. Ind. Alejandro Aroca Babich

EVALUACIONES
Director General Mg. Ing. Iván Barón
Coordinacion General Ing. Juan Sáenz

COMITÉ CIENTÍFICO Y DE PUBLICACIONES
Dr. Ing. Mario Lurbe
Mg. Ing. Iván Barón
Esp. Arq. Miguel A. Rissetto
Dr. Leandro M. Sokolovsky
Mg. Carlos Alberto Vacca
Mg. Ing. Alejandro Mohamad

COORDINADORES POR ÁREA TEMÁTICA:
Mg. Ing. Edgardo Boschín
Ing. Jesica Romero
Mg. Ing. Ariel Morbidelli
Ing. Bruno Romani
Esp. Arq. Miguel A. Rissetto
Ing. Lucas Pietrelli
Esp. Ing. Ángel Quiles

EVALUADORES COINI 2019
Ing. Manuela Mercedes Pendón | Dr. Ing. Caracciolo, Néstor | Ing. Fernando Javier Orozco
Ing. Senn, Jorge | Ing. Jaureguiberry Mario Ernesto | Ing. María De Los Ángeles Puente
Dr. Ing. Serra Diego Gastón | Ing. Laguto Sebastián | Lic. Gallegos María Laura
Lic. Herrería, Elisabeth Ruth | Ing. Cruz Eugenio Ruben | Ing. Cariello Jorgelina Lucia
Ing. Rezzonico Ricardo | Ing. Dos Reis María Rosa | Ing. Walas Mateo, Federico
Lic. Cinalli Marcelo Fernando | Ing. Carrizo Blanca Rosa | Dr. Ing. Michalus Juan Carlos
Ing. Zárate Claudia Noemí | Ing. Toncovich, Adrián Andrés | Ing. Esteban Alejandra María
Ing. Rohvein Claudia | Dr. Ing. Viel Jorge Eduardo | Dr. Ing. Adolfo Eduardo Onaine
Dr. Ing. Salazar Arrieta Fernando | Ing. Urrutia Silvia Beatriz | Lic. Martinez Llaneza, Daniel Jorge Placido
C.P. Bruno, Carolina | Ing. Marcos, Carlos Eduardo | Lic. Blanc, Rafael Lujan
Ing. Morcela, Oscar Antonio | Ing. Corvalan, Soraya | Dr. Ing. Rossetti, German
Lic. Prof. Esteves Ivanissevich María José | Ing. Franco Chiodi | Lic. Noelia Vanesa Morrongiello
Lic. Roseti, Laura Patricia | Ing. Jauré María Florencia | Ing. D´Onofrio María Victoria
Dr. Ing. Fracaro, Anahí Catalina | Dr. Ing. Ferreyra Diego Martín | Dr. Lic. Artola, Eugenia
Lic. Gómez, Daniela Nora | Ing. Aroca Bavich Alejandro Cruz | Dr. Lic. Mansilla, Graciela Analía
Ing. Erck Isolda Mercedes | Dr. Lic. Artigas María Velia

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
FACULTAD REGIONAL SANTA CRUZ

Los Inmigrantes 555
Río Gallegos - Santa Cruz - Argentina

+54 2966 429173

info@frsc.utn.edu.ar

http://www.frsc.utn.edu.ar

@utn.frsc

COINI 2019 : XII Congreso de Ingeniería Industrial / Daniel Jorge Martinez Llaneza... [et al.] ; compilado por Miguel Ángel Rissetto ; Rubén Mario Lurbé ; Iván Barón.- 1a ed . - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : edUTecNe, 2020.
Libro digital, PDF.

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-987-4998-43-9

1. Ingeniería Industrial. 2. Técnicas de Gestión. 3. Control de Calidad. I. Martinez Llaneza, Daniel Jorge. II. Rissetto, Miguel Ángel, comp. III. Lurbé, Rubén Mario, comp. IV. Barón, Iván, comp.

CDD 620.007

Universidad Tecnológica Nacional – República Argentina
Rector: Ing. Héctor Eduardo **Aiassa**
Vicerrector: Ing. Haroldo **Avetta**
Secretaria Académica: Ing. Liliana Raquel **Cuenca Pletsch**
Secretaria Ciencia, Tecnología y Posgrado: Dr. Horacio **Leone**

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Santa Cruz
Decano: Lic. Sebastián **Puig**
Vicedecano: Ing. Pablo **Bahamonde**

edUTecNe – Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional
Coordinador General a cargo: Fernando H. **Cejas**
Área de edición y publicación en papel: Carlos **Busqued**
Colección Energías Renovables, Uso Racional de Energía, Ambiente: Dr. Jaime Moragues.

ISBN 978-987-4998-43-9

Queda hecho el depósito que marca la Ley Nº 11.723
© edUTecNe, 2020
Sarmiento 440, Piso 6 (C1041AAJ) Buenos Aires, República Argentina

Publicado Argentina – Published in Argentina

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.

Índice “Innovación y Gestión de Productos”

Índice “Innovación y Gestión de Productos” 1

Observatorio Tecnológico OTEC: una década de aprendizaje y servicio, para el desarrollo económico local 2

Análisis del proceso de diseño y desarrollo de productos en PyMes del Área Económica Local San Nicolás. Proyecto de investigación. 14

La energía solar fotovoltaica, aplicaciones de las innovaciones tecnológicas en Argentina, la legislación relacionada y sus perspectivas futuras 20

Ejes para el Desarrollo de la Trama Productiva de Equipamiento Eólico de Alta Potencia 27

Aplicaciones de la optimización topológica en ingeniería 36

mecánica 36

Diseño de la envolvente mecánica para un termómetro parlante destinado a personas no videntes 47

Solicitaciones en un acoplamiento cardánico de uso agrícola 57

Análisis estructural de equipo del sector de la construcción para la industria local 67

La función diseño en ingeniería metodología por nodos críticos 75

Planta piloto para la producción y ensayo de biodiesel 79

Tecnologías disponibles para la producción del ácido fosfórico en el Perú 90

Observatorio Tecnológico OTEC: una década de aprendizaje y servicio, para el desarrollo económico local

Morcela, Oscar Antonio*; Petrillo, Jorge Domingo; Cabut, Mercedes

**Observatorio Tecnológico OTEC, Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata.*
Av. Juan B. Justo 4302, (7600) Mar del Plata. otec@fi.mdp.edu.ar

RESUMEN.

El Observatorio Tecnológico - OTEC constituye un espacio de colaboración donde investigadores, docentes, estudiantes, instituciones y empresas, trabajan en conjunto para la producción de conocimiento de interés tanto para la industria y la academia, como para los responsables del diseño e implementación de las políticas públicas.
Su creación en 2008, facilitó establecer el marco organizativo e institucional de actividades, relacionadas con el desarrollo de herramientas de apoyo a la Gestión de la Innovación Tecnológica, que se inscriben en la consolidación de un modelo de universidad innovadora, caracterizada por su compromiso con el desarrollo de su territorio y como aporte a la construcción de un sistema regional, provincial y nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación productiva.
El OTEC se relaciona con el proceso de mejora en la formación de los futuros ingenieros mediante el desarrollo de su espíritu emprendedor, al tiempo que contribuye al desarrollo local y regional. Impulsa la creación de nuevas empresas y el desarrollo de proyectos innovadores por parte de los estudiantes tanto de grado como de posgrado, inclusive a través de sus trabajos de fin de carrera en el área de la ingeniería industrial, apoyados por docentes, investigadores y extensionistas.
Con motivo de cumplirse los primeros 10 años de vida del Observatorio Tecnológico OTEC, se presentan los resultados obtenidos y su impacto en el desarrollo local y nacional.

Palabras Clave: trayectoria, desarrollo local, emprendedorismo, competencias tecnológicas.

ABSTRACT

The Technological Observatory - OTEC is a collaborative space where researchers, teachers, students, institutions and companies work together. The production of the knowledge generated is of interest to both industry and university, as well as to those responsible for the design and implementation of public policies.
Its creation in 2008, facilitated the establishment of the organizational and institutional framework to activities related to develop support tools to Technological Innovation Management. They are part of the consolidation of an innovative university model, characterized by its commitment to the development of its territory. They also contribute to the construction of a regional, provincial and national system of Science, Technology and Productive Innovation.
The OTEC is related to the process of improving the training of future engineers by developing their entrepreneurial spirit, while contributing to local and regional development. It promotes the creation of new companies and the development of innovative projects by students both undergraduate and graduate. This is also achieved through his end-of-career work in the area of industrial engineering, supported by teachers, researchers and extension workers.
Upon completion of the first 10 years of the Technological Observatory - OTEC Technology Observatory, the results obtained and their impact on local and national development are presented.

1. INTRODUCCIÓN

Desde el **Observatorio Tecnológico** (OTEC) se trabaja -con suma modestia y como aporte a la actual realidad- en el diseño de instrumentos y propuestas de aplicación (establecimiento de condiciones idóneas) para lograr la construcción de un territorio (entorno) innovador, competitivo y sistémico con base en el Partido de General Pueyrredon, cuya cabecera es la ciudad de Mar del Plata. Se promueve la creación o consolidación de instrumentos tales como el Parque Industrial y Tecnológico "Gral. Savio" de Mar del Plata, la Incubadora de empresas de la Universidad como parte integrante de un Sistema Regional de Incubadoras de Empresas (SIRIE), la creación de Centros e Institutos tecnológicos sectoriales en áreas de interés regional como alimentos, materiales, metalmecánica, textil, entre otras, y la creación de una Red de Agencias de Desarrollo Local.

Resulta relevante brindar a las empresas del territorio asesoramiento y transferencia de conocimientos en gestión de la innovación y de la tecnología (GIT) y en temas vinculados, con particular aplicación al tejido industrial regional caracterizado por las micro, pequeñas y medianas empresas (MiPyME).

El OTEC se relaciona con el proceso de mejora en la formación de los futuros ingenieros, tanto desde las cátedras a su cargo como en las instancias de trabajo de graduación, impulsando el desarrollo de su espíritu emprendedor, indispensable para actuar en la "Sociedad del conocimiento" y así contribuir al desarrollo local y regional.

En el marco de un desarrollo endógeno se requiere una estrecha vinculación entre los distintos actores sociales involucrados (municipios, empresas, industrias, universidades y centros de I+D+i, banca pública y privada, sindicatos, entre otros) a fin de alcanzar resultados exitosos. El logro de los objetivos mencionados exigió y exige un fuerte compromiso con la formación específica de recursos humanos (capital humano). Tal camino se recorre principalmente a través de la asignatura obligatoria del Plan de Estudios de Ingeniería Industrial denominada "Gestión de la Innovación Tecnológica en la Industria (GITI)", como también desde la asignatura optativa "Economía de la Innovación", y otro conjunto de asignaturas complementarias que, si bien no dependen del Observatorio, completan la oferta formativa relevante para el área.

El presente trabajo tiene por objeto el análisis de la trayectoria del OTEC a lo largo de sus primeros 10 años de vida, en base a los hitos relacionados a sus actividades, y sopesando el impacto evidenciado en relación al desarrollo territorial.

1.1. Breve historia del OTEC.

La creación del Observatorio, dependiente del Departamento de Ingeniería Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata (UNMdP), sucede el 27 de mayo de 2008 con la Resolución de Decano (RD) 1/2008 que aprueba la presentación del Departamento de Ingeniería Industrial referida al Proyecto Institucional que, luego de ser refrendada por el Rector Francisco Morea, fue aprobado por el Ministerio de Educación de la Nación, a través de su Secretaría de Políticas Universitarias – Programa de Calidad Universitaria, como parte del Proyecto de Mejoramiento de la Enseñanza en Ingeniería II (PROMEI II). A posteriori fue constituido por el Consejo Académico de la Facultad de Ingeniería como una de sus Unidades Ejecutoras mediante la Ordenanza de Consejo Académico (OCA) 306/12.

Su creación facilitó establecer el marco organizativo e institucional de sus actividades, relacionadas con el "Desarrollo de herramientas de apoyo a la Gestión de la Innovación Tecnológica", las que se inscriben en la consolidación de un modelo de universidad innovadora, caracterizada por su compromiso con el desarrollo de su territorio y como aporte a la construcción de un sistema regional, provincial y nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación productiva.

2. ENCUADRE TEÓRICO.

Las universidades tienen un propósito y una vocación universales y están insertas en complejos sistemas territoriales de educación superior [1]. Sin embargo, su vinculación con las demandas y las necesidades del territorio concreto, históricamente no han sido muy evidentes. La sociedad actual impone una demanda creciente por desarrollar una vinculación más estrecha y directa entre las instituciones de educación superior y los demás actores de la vida económica, social, cultural y tecnológica.

Es así que en el nuevo escenario mundial las universidades han sido llamadas a colaborar en el desarrollo territorial y del entorno. articulando sus diversas partes en un proyecto de promoción social de principios éticos y de desarrollo social equitativo y sostenible. Así abre el debate acerca de la pertinencia y relevancia de lo que se genera en sus claustros [2]. Por su parte, Burton Clark [3] considera que las universidades emprendedoras o innovadoras, son aquellas que piensan en el futuro y no se regocijan con el pasado; persiguen la frontera del conocimiento y la formación de calidad de sus egresados de grado y de posgrado; son propensas al cambio organizacional para hacer más eficiente el proceso de gestión del conocimiento [4, 5]; han logrado una cultura organizativa (laboral) que motiva a su personal; resuelven sus problemas con mentalidad de largo plazo; han instalado oficinas de gestión tecnológica [6]; han priorizado su vinculación con los

gobiernos a todo nivel y con los restantes actores sociales y considera, además, que los mediadores más eficaces del conocimiento son los parques tecnológicos.
En línea con estos preceptos se han desarrollado parques e incubadoras como nuevas formas de vinculación entre la universidad-sector productivo [7]. La promoción de la cultura emprendedora y el fomento a la creación de nuevas empresas, tanto de base tecnológica como social, es un desafío impostergable para el sistema universitario argentino.
La Universidad Nacional de Mar del Plata inició el camino en esta dirección en 1996 cuando su Consejo Superior aprobó la Ordenanza (OCS) 004/96, reglamentando así el Título VII "Contratos con terceros", de la Sección VI del Estatuto Universitario. Su reglamentación es revisada periódicamente, siendo la Resolución de Rector (RR) 3606/08, la vigente. Todas las actuaciones se enmarcan en la Ley 23.877/90 de Promoción y fomento de la innovación tecnológica.
Puede pensarse que al igual que los parques tecnológicos, las universidades innovadoras son nodos activos globalizados de las nuevas estructuras en red, actuando como radares perceptivos de la tecnología y la innovación, resultando por lo tanto un aporte destacado a la creación del territorio inteligente [8]. Luego, las políticas públicas deben definir el rol que ocupa el Estado nacional, provincial y municipal y en particular los diversos integrantes del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación.
En la Argentina el camino se ha iniciado, aunque resta un largo trecho por recorrer. La jerarquización de la problemática bajo análisis tuvo un fuerte impulso a través de la creación de Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva (MinCyT) en 2007 [9, 10], aunque actualmente ha vuelto sobre sus pasos bajando su rango a Secretaría de Estado, pero sin degradar su relevancia para el sistema. Puede destacarse además el lanzamiento durante los años 2010-11 del Programa VINTEC (Vinculación Tecnológica e Inteligencia Competitiva), el PRONAPTEC (Programa Nacional de Prospectiva Tecnológica), el Programa Nacional de Gestión de la Propiedad Intelectual y de la Transferencia Tecnológica y el de Impulso a la creación de empresas de base tecnológica, entre otros [11, 12, 13 y 14], como reflejo de una construcción territorial enmarcada en las políticas públicas con orientación al desarrollo.
La creación del OTEC entonces, se inscribe en la consolidación del modelo de universidad innovadora, es decir, caracterizada por su compromiso con el desarrollo de su territorio y como aporte a la construcción del sistema de ciencia, tecnología e innovación [15, 16]. Su objetivo es brindar a las empresas del territorio servicios en Gestión de la Innovación Tecnológica - GIT, especialmente a las PyME que caracterizan el tejido industrial regional y, además, aportar a la formación de los futuros ingenieros, promoviendo el desarrollo de su espíritu emprendedor [17 y 18].
Este modelo de universidad implica que es una institución de educación superior cuyos servicios están definidos particularmente por el valor social de los conocimientos que produce, renovando y redefiniendo los vínculos que establece con la sociedad. Se caracteriza entonces por su compromiso con el desarrollo de su territorio y como aporte a la construcción de un sistema regional, provincial y nacional de ciencia, tecnología e innovación productiva [19]. Esta definición conceptual está estrechamente relacionada con el pleno ejercicio de la Responsabilidad Social Universitaria (RSU) [2] y también con la formación de los futuros ingenieros, promoviendo el desarrollo de su espíritu emprendedor, para actuar en la sociedad del conocimiento y así contribuir al desarrollo local y regional.
En consecuencia, impulsa la creación de nuevas empresas de base tecnológica y de base social, como también proyectos innovadores por parte de los estudiantes, como contribución al desarrollo territorial y se posicionan dentro los diversos agentes especializados en proporcionar servicios en I+D+i para la industria.
Su papel en los sistemas territoriales de innovación como agentes de transferencia de tecnología para las empresas, generalmente se encuentra asociado a las actividades que formalmente se encuadran dentro de lo que se denomina extensión universitaria o actividades de transferencia de tecnología o servicios. Cabe mencionar que dichas actividades, junto con la docencia, la investigación y la gestión constituyen los pilares fundamentales del concepto de Universidad reformista que ha marcado el rumbo de la educación superior en la Argentina del último siglo.
Generalmente la docencia, y el fruto que de ella deriva, no se incluye dentro del producto transferible, aunque sí se incluyen las actividades socio-comunitarias y las prácticas profesionales, entendidas como una devolución a la comunidad, signo del compromiso social universitario y factor diferenciador de la calidad académica de la formación del profesional. Formalmente, aunque puede ser discutido, la principal fuente de productos transferibles deriva de las actividades de investigación que las Universidades realizan desde los grupos, institutos y laboratorios que forman parte del sistema científico nacional [19].
La transferencia tecnológica se define como el movimiento de tecnología y/o conocimiento, desde una institución de ciencia y tecnología o empresa, hacia un receptor, generalmente una empresa, que adquiere la tecnología, a cambio de una contraprestación habitualmente económica [20 y 21], aunque no obligatoriamente.
Los mecanismos e instrumentos de transferencia utilizados por las universidades corresponden a acuerdos de confidencialidad, contratos de licencia, cooperación conjunta en programas de I+D+i y

alianzas, acuerdos de asistencia técnica, consultoría o servicios a terceros, transferencia de personal, creación de empresas (spin off) y producciones bibliográficas o presentaciones en congresos [4 y 21].
Inmersas en una economía dinámica dirigida por desarrollos disruptivos, las universidades buscan cumplir un rol como soporte regional a la industria, dentro del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva. Del Águila Obra [22] interpreta en las últimas décadas una nueva generación de transferencia tecnológica, potenciada a nivel político e instrumentalizada en el fomento y la creación de empresas.
Según Callagan [23], el número de spin off generadas en una economía es entendido como un indicador de la habilidad del sector público de desarrollar conocimiento relevante comercialmente, de su capacidad emprendedora y de la profundidad de transferencia de conocimiento entre el sector público y privado. Además, reconoce un aumento de los estudios de este fenómeno desde distintas miradas como la innovación abierta, los ecosistemas innovadores o el emprendedorismo [22 y 24] pero remarca la persistencia de niveles bajos de creación de empresas, licencias y patentes y de barreras culturales e institucionales.
Vale la pena dedicar unas líneas al uso de los conceptos que definen las nuevas empresas según su origen. Al respecto, Eric Ries plantea que una start up “es una institución humana diseñada para crear un nuevo producto o servicio bajo condiciones de extrema incertidumbre” [25], mientras que son numerosas las definiciones que se pueden encontrar del término spin off en la literatura. Beraza y Rodríguez observan algunos elementos comunes en el estudio que realizan sobre la conceptualización de ambos términos [26]. La OCDE define las spin off como empresas creadas por investigadores del sector público; empresas emergentes que disponen de licencias de explotación de tecnologías creadas en el sector público; e incluso empresas emergentes sostenidas por una participación directa de fondos públicos, o que fueron creadas a partir de instituciones públicas de investigación [27].
También se distingue el concepto de “spin off universitaria”, con múltiples definiciones, y en algunas ocasiones confusiones con otros conceptos, como spin off académica, institucional, spin out y start up, que en ciertos momentos se utilizan para definir los mismos fenómenos y en otros se mencionan para distinguir fenómenos diferentes [28], aunque se observa una suerte de consenso en que una spin off universitaria, en sentido amplio y en un contexto de transferencia de conocimiento, debería satisfacer simultáneamente la independencia respecto de la universidad de la que ha surgido y que su objetivo es la explotación de conocimientos desarrollados por la actividad de investigación en la universidad [21, 28].
Según puede leerse en la convocatoria, los proyectos PICT Start Up están orientados a promover la transformación de los conocimientos y habilidades acumuladas por un grupo de investigación, en nuevas competencias tecnológicas aplicables en el mercado de productos, procesos o servicios, para los cuales exista una demanda social o un mercado comprobable, por lo que se observa una correspondencia conceptual en el armado del instrumento con la definición dada de spin off universitaria [21]. Cabe destacar que no existen referencias ni encuadre normativo que posibilite la conformación de una Spin off dentro o a partir de la estructura institucional.
Respecto de las empresas que conforman el ejido industrial territorial, existe consenso en que las MiPyME presentan fortalezas y debilidades para la innovación. Entre las primeras se puede mencionar su flexibilidad, la velocidad de respuesta ante cambios externos y una comunicación interna efectiva. Entre las segundas: la débil infraestructura de I+D+i y su limitada cultura de la innovación, escaso poder de mercado, frágiles canales de distribución, falta de recursos financieros para emprender actividades de investigación de mercados y tecnologías, escasa capacidad para la fabricación y el diseño/rediseño de maquinaria y equipo, y para la organización de la producción, para sostener programas de entrenamiento continuo y para la introducción de los sistemas de información y gestión [29]. En respuesta a la realidad de la industria local y regional, las universidades tienen por delante la tarea de facilitar la incorporación de innovación tecnológica y organizativa como factor de competitividad en las MiPyME, promoviendo la gestión de la innovación tecnológica como aporte sustantivo al desarrollo territorial.

3. RESULTADOS

La presentación de resultados se realizará resaltando los logros principales, desagregados en tres apartados, que concentran las actividades académicas, las de I+D y finalmente las de transferencia, haciendo la salvedad que en este último apartado se incluyen las actividades de extensión y de difusión de conocimiento, ya que constituyen una verdadera transferencia de conocimiento hacia el sector productivo y hacia la comunidad toda, y se asume que esa realidad es independiente de la forma contractual que le da origen, como se menciona en el encuadre teórico del trabajo.
Como primera aproximación, se muestra de manera agregada la distribución porcentual de los productos asignados a cada ítem (ver gráfico 1), que por lo dicho podrá resultar funcional para la presentación de los datos, aunque el agrupamiento resulte quizás caprichoso.

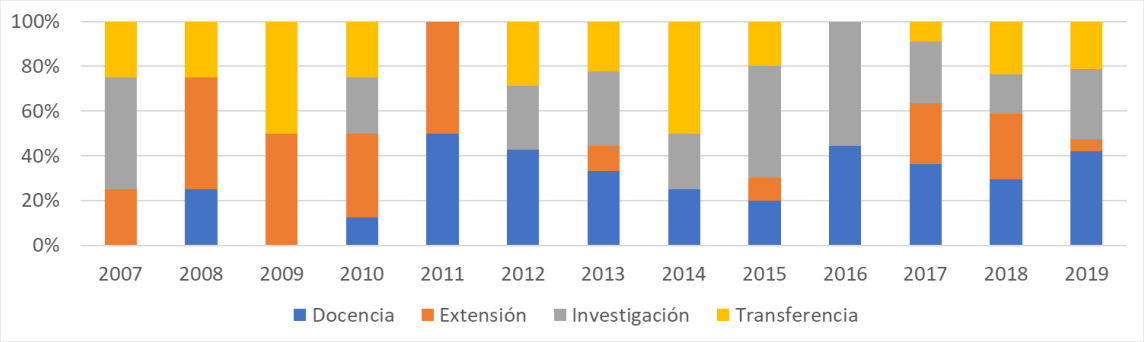


Gráfico 1 *Distribución porcentual de la producción (académica y/o técnica) del OTEC, considerando frecuencia de los eventos, sin considerar relevancia relativa de los mismos.*

Puede observarse que durante los primeros años de vida del OTEC, los esfuerzos de producción estuvieron concentrados en actividades de extensión y transferencia tecnológica, y a partir de 2012 las actividades de I+D se incrementaron frente de las actividades de extensión.
Asimismo, es evidente que la actividad académica es inicialmente incipiente, pero tiene mayor incidencia a partir de 2011, representando más del 40% de la producción en la actualidad.
En los apartados siguientes se relacionarán estas variaciones con los hitos que le dan origen.

3.1. Académicos (Grado y Posgrado)

Los argumentos sobre los que se sustentó la necesidad de la creación de la carrera de grado de Ingeniería Industrial en la UNMdP, fueron esencialmente de orden socioeconómico. En 1990 se iniciaron las gestiones y en 1999 se aprueba como segundo título de grado para comenzar en 2000.
La experiencia recogida junto a los requerimientos sociales amerita su transformación como carrera de primer título, ya que la universidad tiene un amplio territorio de influencia y debe dar respuesta a los problemas que este plantea. En particular debe dar solución a la problemática industrial, que abarca desde su reconversión hasta la creación de nuevas empresas. Por ese motivo el 29 de noviembre de 2001 (OCA 550/01) el Consejo Académico de la Facultad de Ingeniería aprueba la carrera desde primer año y en la actualidad concentra 1/3 de la matrícula de la Facultad y se ha consolidado como la única oferta académica en un radio de 300 km.
Se espera del Ingeniero Industrial que pueda actuar como integrador de las funciones de la empresa, impregnadas en mayor o menor grado de contenido tecnológico. Para cumplir tal cometido, debe ser competente para comprender y dirigir los correspondientes sistemas tecnológico-administrativos de producción y servicios, y desarrollar las técnicas necesarias requeridas por la empresa para satisfacer tal fin.
Desde el primer momento, la asignatura "Gestión de la Innovación Tecnológica e Industrial" formó parte de la estructura obligatoria del plan de estudios, y dio origen al Área de Gestión de la Innovación, semilla precursora del actual OTEC.
Las necesidades crecientes de incorporar nueva oferta académica para fortalecer la orientación hacia los nuevos modelos de negocios, derivaron en la creación de una segunda asignatura denominada “Economía de la Innovación” (OCA 1441/15), que se ofrece como optativa tanto para la carrera como para Ingeniería Informática. Ambas carreras concentran en conjunto, aproximadamente 2/3 de los estudiantes de la Facultad.
Además de la creación de asignaturas propias, se incorporaron otras asignaturas disponibles para ampliar la oferta de formación complementaria, por iniciativa y gestión del OTEC, las asignaturas “Técnicas de creatividad aplicada” y “Organizaciones desde la perspectiva de la psicología social” (OCA 1541/15), “Emprendimientos Tecnológicos” (OCA 683/17) y “Gestión de Patentes y Propiedad Intelectual” (OCA 879/17).
En el marco del Programa de Formación de Gerentes y Vinculadores Tecnológicos (GTEC 2008), del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, la UNMDP junto a la UNICEN crean la carrera de “Especialización en Gestión de la Tecnología y la Innovación”, con el fin de exponer las herramientas para mejorar la competitividad de la producción local, fortalecer las capacidades tecnológicas y de aprendizaje de las empresas, y unificar el lenguaje entre empresarios y universitarios, fomentando la formación de profesionales capaces de apuntalar a las empresas que quieran innovar o que estén en condiciones de desarrollar emprendimientos de base tecnológica (Acreditada por CONEAU, Res. 1049/10).
La principal producción académica relacionada con la formación de grado y posgrado, es sin duda la elaboración de trabajos finales de carrera relacionados con temáticas afines al área de conocimiento, y dirigidos por docentes del Observatorio. En estos diez años se hay dirigido 12 trabajos finales de grado y 5 de especialización, de elevada pertinencia temática e impacto en el desarrollo territorial, a través de su relación con los diversos actores del sistema regional de innovación [20].

La muestra analizada es censal sobre las actividades del OTEC, ya que se ha incluido la totalidad de los casos, pero no se ha analizado la representatividad de la misma respecto de las características globales de los trabajos finales del conjunto de los actores del Departamento de Ingeniería Industrial o de la Facultad misma.
Una mirada integral de los trabajos finales de grado y de las tesinas de posgrado permite observar una mayor orientación al desarrollo de políticas públicas e institucionalización, en los trabajos finales de posgrado, frente a una prevalencia de trabajos orientados al desarrollo de productos y procesos innovadores, en los estudiantes de grado (ver gráfico 2).

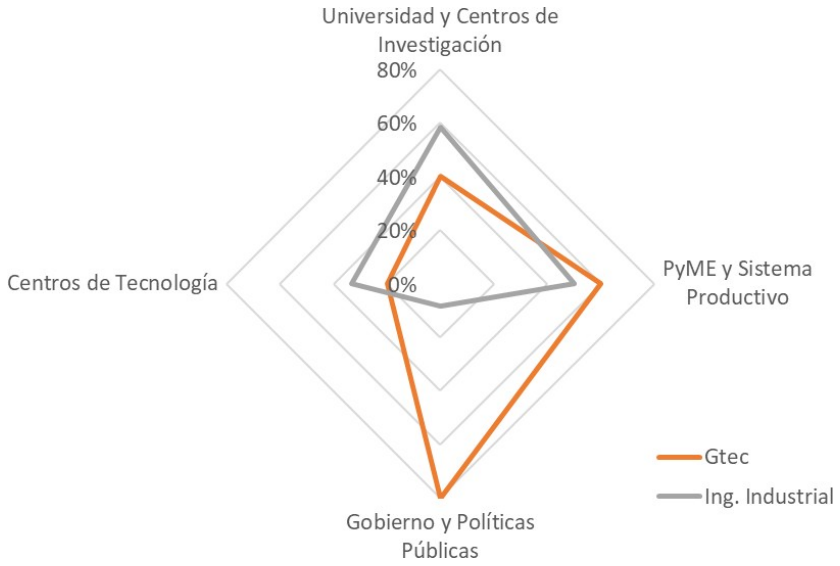


Gráfico 2 *Afinidad temática de los trabajos finales de grado y posgrado, en relación a cuatro ejes seleccionados.*

A priori puede afirmarse [20] que el impacto de las actividades académicas desarrolladas por el OTEC en referencia a la formación académica, ha provocado un incremento en el logro de la competencia “gestión de la tecnología”, evidente y significativo, orientado al desarrollo de herramientas y actitudes propias de la disciplina, tanto en estudiantes de grado como de posgrado, con fuerte sesgo hacia el análisis intra firma en los estudiantes de grado, frente a un interés marcado por el desarrollo local y sectorial, con análisis de políticas públicas, en los estudiantes de posgrado.

3.2. Investigación y Desarrollo

En el período considerado, los integrantes del OTEC han participado en ocho proyectos bianuales de I+D acreditados por la UNMdP y la Secretaría de Políticas Universitarias (SPU), relacionados con problemáticas que van desde el estudio de las dinámicas de aprendizaje y formación de competencias (2 proyectos: ING412/14 y ING526/18), el análisis de la cadena de valor y la competitividad sistémica, para industrias regionales (2 proyectos: 15-G474 y 15/G518) el análisis de las cadenas de valor (1 proyecto: ING571/19) y las dinámicas de desarrollo de productos tecnológicos (software) en el contexto de la industria TIC, fuertemente basada en el conocimiento (3 proyectos: SPU: 2016/17; ING526/18 y ING526/18).
Al momento de presentar este trabajo, se encuentran vigentes dos proyectos. Uno de ellos lleva por título “Ingeniería económica, competitividad e innovación para el desarrollo regional” (15/G518 – ING523/18), cuyo objetivo general es promover el fortalecimiento de las cadenas industriales a través de la incorporación de innovación tecnológica y la mejora continua de la productividad, a fin de lograr una mayor competitividad, inserción y posicionamiento de los productos manufacturados de la región en el contexto nacional e internacional, y es dirigido por el Dr. Adolfo Onaine.
El otro proyecto vigente lleva por título “Modalidades de agregado de valor para el desarrollo sostenible de las organizaciones regionales” (15/G567 – ING571/19), donde el propósito de la investigación consiste en analizar la contribución de las actividades que agregan valor en las cadenas productivas a nivel sistémico y en los procesos internos de las organizaciones regionales. Se busca la generación de valor económico, social y ambiental mediante la mejora de los procesos y las actividades de innovación, tendientes a aumentar la productividad, eficiencia y rentabilidad de las organizaciones en un marco que garantice la sostenibilidad. La directora del proyecto es la Dra. Alicia Zanfrillo.
Las temáticas abordadas en las publicaciones pueden verse en el gráfico 3, donde se presenta la evolución de la producción académica en relación a las preocupaciones centrales de los campos estudiados.

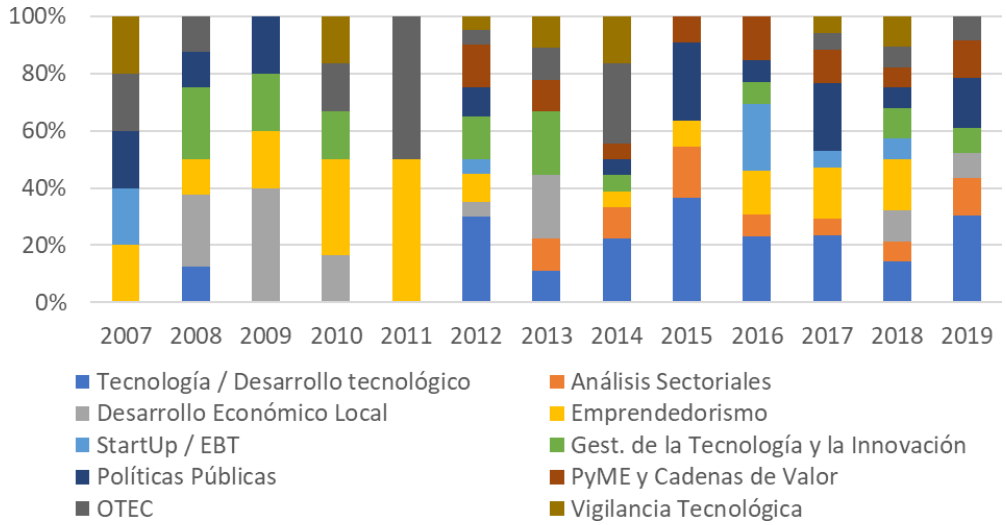


Gráfico 3 *Distribución porcentual temática, de los trabajos académicos publicados por el OTEC, considerando frecuencia de aparición de los eventos y agrupamiento en ejes seleccionados.*

El principal indicador de gestión para los procesos de investigación básica y aplicada, es por excelencia el número de publicaciones. En el período considerado se ha registrado la publicación de 5 artículos en revistas indexadas, 8 capítulos de libros y más de 75 presentaciones en congresos, publicadas en los anales respectivos.

3.3. Transferencia de conocimientos

La UNMdP canaliza su vinculación con en medio socio productivo a través de diversas vías, en su recorrido para consolidarse como universidad emprendedora, y ha dado recientemente sus primeros pasos en el estímulo a la creación de spin off universitarios [1], siguiendo las tendencias internacionales y en fase con las buenas prácticas de transferencia tecnológica impulsadas por la SECyT (ex MinCyT).

Si bien la Incubadora de la UNMdP está realizando una interesante labor sobre los emprendedores industriales, hasta 2018 canalizaba mediante el OTEC los servicios de apoyo a las EBT, aunque en el presente año ha realizado convocatorias específicas para el desarrollo de emprendimientos tecnológicos, cuyos resultados no es posible dimensionar al momento de escribir este trabajo.

Por una vía separada lleva adelante un programa de extensión para el acompañamiento de emprendedores sociales, que se posiciona como un centro de emprendedorismo, pero todas estas acciones no han logrado integrarse plenamente bajo una única unidad de gestión central, integración que resultaría a priori beneficiosa, para la coordinación y sinergia de las acciones.

En los siguientes apartados se presentarán las principales actividades de transferencia realizadas por el OTEC en el período considerado.

3.3.1. Consultoría Internacional

A través del "Programa para Promover la Innovación Productiva y Social", el entonces MinCyT financió el Proyecto "Estudios de Consultoría en el Sector Nanotecnológico", encuadrado en el Préstamo BIRF (Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento) Nº 7599/AR, Licitación Nº 05/09 – Expediente Nº 2042/09.

El proyecto fue ejecutado por el Observatorio Tecnológico (OTEC), dependiente del Departamento de Ingeniería Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata – Argentina, el Instituto de Bioingeniería de Cataluña (IBEC) y la *Fundació Hospital Universitari Vall D´Hebron* – Instituto de Recerca (VHIR). Las dos últimas instituciones integrantes del Consorcio tienen sede en la ciudad de Barcelona, España. El desarrollo del proyecto contó con el apoyo técnico permanente de la empresa IALE TECNOLOGÍA, desprendimiento spin-off de la Universidad Politécnica de Cataluña (Barcelona, España).

Los estudios prospectivos requirieron consultas a expertos en esta área estratégica, pertenecientes a los sectores académico, de ciencia y tecnología, empresarial y gubernamental, sobre el futuro del desarrollo de las Nanociencias y Nanotecnologías (NyN), sobre sus aplicaciones en el mundo y sobre las oportunidades y amenazas que las mismas presentan a la Argentina [30].

Esta tarea también estuvo estrechamente relacionada con otras actividades del proyecto. Se investigó a fin de poner a disposición del MinCyT, la mayor gama posible de medios de anticipación reflexiva al servicio de la acción, sin pretender avanzar sobre las decisiones de políticas públicas futuras [31]. Se implementó una encuesta a grupos de investigación (81) y empresas (25), y talleres de trabajo entre los equipos técnicos y especialistas.

Para su concreción resultó de particular interés la información diagnóstica sobre la situación de las NyN, la síntesis documental que incluyó trabajos internacionales de carácter prospectivo y se incluyó

además un estudio de benchmarking sobre países líderes. Se utilizaron los resultados de la aplicación del Método Delphi en el que participaron 47 expertos y de los ejercicios de aplicación de la Matriz de Impactos Cruzados, como también los grafos de influencias y de interdependencias de los segmentos seleccionados por los expertos en las cuatro áreas cuatro áreas seleccionadas por el MinCyT.
Para esta tarea se contó con la inestimable colaboración de destacados expertos en cada una de los sectores estudiados, quienes participaron de talleres presenciales específicos. Este intercambio fue complementado por encuentros de síntesis y validación con el consejo asesor y las instancias de decisión política y equipo técnico del Ministerio.
El informe final de la consultoría ha sido publicado por el MinCyT, se encuentra disponible en el sitio web de la Secretaría de Estado de Ciencia y Tecnología, y el presupuesto de transferencia ejecutado fue de U$S 253.000 (Director: Mg. Ing. Jorge Domingo Petrillo).

3.3.2. Start Up universitarias.

La generación de EBT permite la aplicación intensiva del conocimiento generado en la academia sobre el entorno productivo. El OTEC lleva adelante estrategias para impulsar la creación de nuevas empresas de base tecnológica y de base social, como también proyectos innovadores por parte de los estudiantes, como contribución al desarrollo territorial.
La principal fuente de financiamiento disponible para los emprendimientos intensivos en conocimiento corresponde a los Proyectos de Investigación Científica y Tecnológica (PICT) Start UP, que desde 2014 son un instrumento del Fondo para la Investigación Científica y Tecnológica (FONCYT) orientado al desarrollo de nuevas competencias tecnológicas en el mercado de bienes y servicios, y se gestiona a través de la ANPCyT (SECyT), y destinados a las instituciones argentinas, públicas o privadas, sin fines de lucro, a las que pertenecen los grupos de investigación ejecutores de los proyectos.
En el período considerado se ha trabajado en la consolidación y formulación de 5 proyectos tecnológicos, motorizados por diversos Grupos de Investigación de la UNMdP, y realizados por el equipo de trabajo del observatorio [20]. Las modalidades de transferencia han variado entre trabajos finales realizados bajo la dirección de docentes del OTEC (2 casos), otros 2 proyectos en los cuales los docentes han formado parte del grupo colaborador (GC), y un proyecto que se realizó bajo la modalidad de consultoría (contrato de servicio).
En toda la trayectoria de ejecución de esta línea de financiamiento (desde 2005 a la fecha), han sido presentados 15 proyectos tecnológicos radicados en instituciones de la ciudad de Mar del Plata, pero sólo 12 corresponden al período temporal considerado. En la Tabla 1 se muestran los resultados de los proyectos que han recibido asistencia del Observatorio en alguna de las modalidades de vinculación, en contraste con el resto de los proyectos de asiento en la ciudad.

Tabla 1 *Distribución de ideas proyectos presentadas en el Programa PICT Start Up, con radicación en la ciudad de Mar del Plata, por instituciones participantes y para el período 2008-2019. Fuente: elaboración propia en base a datos suministrados por la ANPCyT.*

PICT Start Up 2008-2019	Presentados	Financiados	Con asistencia del OTEC
UNMdP	7	6	4
CONICET	5	3	0

El monto total financiado, correspondiente a los proyectos que recibieron asistencia del OTEC asciende aproximadamente a $3.450.000, lo que representa más de 65% del monto total financiado por esta línea de crédito, en emprendimientos con asiento en la ciudad.

3.3.3. Servicios a empresas.

El trabajo en relación con el medio socioproductivo, ha permitido al OTEC participar en formulación de proyectos y realización de otros servicios como capacitaciones en tecnologías de gestión y en sistemas de información.
Las modalidades usuales de transferencia han sido contratos de corta duración u órdenes de compra directa. En cualquier caso, no se avanzará en el presente trabajo en el detalle de dichas transferencias, por tratarse de vinculaciones específicas a demanda.

3.3.4. Extensión.

El rol de las Universidades en la contribución al desarrollo local y particularmente el desarrollo emprendedor, requiere una evaluación permanente de su impacto para la adecuación de los programas que respondan a las necesidades de los emprendedores.
El primer proyecto ejecutado desde el Observatorio, fue la “Pre-incubación de emprendimientos en la Facultad de Ingeniería”, financiado por la SPU en 2008. El objetivo principal del mismo era el estímulo a la cultura emprendedora en el ámbito de la Facultad. En esos años, el contexto local de la universidad no fé propicio para la consolidación de emprendimientos de este estilo, y de hecho el proyecto de Incubadora no prosperó hasta el año 2015. La estrategia de consolidación entonces

migró desde las actividades de extensión hacia la intensificación de la oferta académica, como se ha mencionado en el apartado 3.1., hasta el nacimiento de la Incubadora, que permitió trabajar en conjunto para el desarrollo de actividades de tutoría de emprendedores.
El OTEC ha participado del Programa “Acompañando Emprendedores”, en la formación de tutores y la atención de emprendedores sociales. El programa ha mostrado una efectividad sostenida de alrededor del 53% para el logro de los objetivos de los emprendedores más innovadores y superior al 35% para los emprendedores que buscan desarrollar sus negocios actuales [32]. En todos los casos, la opinión general frente al Programa es positiva, sin distinción de perfil.
El proceso de acompañamiento es oneroso en disponibilidad de recursos humanos, por lo que la tasa de deserción es tanto o más importante que la tasa de éxito, ya que el tiempo dedicado a un emprendedor que abandona el programa, es un tiempo virtualmente desaprovechado. El OTEC ha trabajado en la construcción de tecnologías de gestión para el proceso de acompañamiento, y se ha observado que la incorporación de modificaciones al proceso de acompañamiento, ha permitido reducir la tasa de abandono a niveles del 7,5% promedio en 2017, frente al 32% promedio observado en 2016.
Una vez analizados los resultados, se verificó que el Programa de Acompañamiento ha sido más efectivo para los aspirantes de perfil innovador (con una tasa de logro de objetivos del 53% y un 6% de abandono), frente a los de perfil tradicional (con una tasa de logro del 35%, y una tasa de abandono del 8%). Un dato de particular interés, cuya tendencia parece sostenerse, es que el público objetivo del Programa en el contexto local está compuesto por una relación 3 a 1 de tipo tradicional frente al tipo innovador, y sin embargo, el Programa parece mejor adaptado a cubrir las necesidades de los segundos.
A la luz de estos hallazgos, el OTEC ha diseñado una estrategia mixta de atención de emprendedores. Recientemente se ha presentado un proyecto de extensión para el establecimiento de un “Consultorio Tecnológico para emprendedores socioproductivos”, destinado a atender las demandas del medio emprendedor local.

3.3.5. Difusión

La difusión social de las actividades académicas y científicas se produce mediante flujos de información y conocimiento (contenidos) que ocurren en un determinado ámbito (geográfico, cultural, administrativo, etc.) y en un tiempo determinado. El sistema queda formado por dos tipos de elementos, los agentes (o emisores) y los receptores. Los agentes actúan en virtud de unas motivaciones y, haciendo uso de los medios de los que disponen, transmiten unos contenidos (información y conocimiento) al público receptor [33]. La transmisión de esos contenidos ejerce unos efectos que no tienen por qué corresponder a las motivaciones que impulsan estas actividades. En el OTEC se ha considerado que no sólo es valioso el aporte de los desarrollos científicos y tecnológicos, para ser difundido al medio, sino que también los trabajos académicos de considerable originalidad y pertinencia, que muchas veces realizan los estudiantes en su proceso de formación.

Figura 1 ***QR para acceder a la información de contacto con el OTEC***

Con esa perspectiva nace la colección “Pre-textos, para pensar en innovación” (ISBN 978-987-544-762-2), editada en conjunto por el Observatorio y la editorial EUDEM de la UNMdP. Esta publicación periódica busca revalorizar la producción académica de los estudiantes de la carrera de Ingeniería Industrial, realizada en el marco de la asignatura “Economía de la Innovación”.
Para la selección de trabajos se ha convocado un Comité editorial integrado por un grupo interdisciplinario de docentes e investigadores del Departamento de Ingeniería Industrial (UNMdP), con trayectoria reconocida tanto en las áreas temáticas de interés como en las técnicas de comunicación académica. A la fecha se han editado tres números de la colección, con más de 34 trabajos evaluados, de los cuales se han publicado 18 entre los tres tomos.

Adicionalmente, desde el año 2018 el OTEC cuenta con su propio sitio web (www3.fi.mdp.edu.ar/otec/) alojado en el servidor institucional de la Facultad de Ingeniería y registrada con el ISSN: 2683-6750, donde se brinda información sobre novedades académicas y tecnológicas, estudios y notas de opinión, se pone a disposición y libre acceso la producción realizada y se ofrece como interfaz para la atención de consultas y servicios para la comunidad en general. Acceda a la información completa de contacto, sitio web y redes sociales, desde el QR de la Figura 1.

4. DISCUSIÓN Y PERSPECTIVAS.

Para el desarrollo de la presente sección, se ha preparado una línea de tiempo con los hitos significativos relacionados con las actividades del OTEC en su contexto institucional y territorial (ver Figura 2).

Figura 2 *Línea de tiempo de hitos significativos para el OTEC en el período 2008-2019.*

El nacimiento del Observatorio encuentra sus raíces en el proyecto SIRIE, que tiene por objeto el fortalecimiento del sistema de incubación regional, por lo que no resulta extraño que sus primeros pasos se vieran orientados hacia la formación de la cultura emprendedora en el ámbito institucional, primero sustentado desde la oferta de actividades de extensión y posteriormente relacionado con la diversificación y orientación de la oferta académica en el marco de la formación de grado y posgrado. Con el surgimiento de la Incubadora de la UNMdP, que cuenta como antecedente inmediato al programa “Acompañando Emprendedores”, el OTEC retoma su participación en actividades de extensión hasta llegar a la actualidad con una oferta propia orientada a satisfacer nichos de emprendedores que se encuentran parcialmente vacantes en la oferta actual institucional.

Paralelamente, ha trabajado en forma sinérgica y simultánea, atendiendo las necesidades de asistencia de los emprendedores tecnológicos, con productos intensivos en conocimiento, y que en general son investigadores con asiento en diversos institutos de la UNMdP. El impacto de la asistencia ha conseguido muestras concretas en los elevados niveles de efectividad en la obtención de financiamiento.

El proyecto de mayor envergadura, por su alcance internacional y por su impacto en el desarrollo de políticas públicas, le ha permitido construir capacidades de asociación con actores de primera línea en el ámbito científico y tecnológico, administrando un presupuesto que al momento de su otorgamiento se ubicó segundo en escala de relevancia, en la historia de la Facultad.

Finalmente, es necesario hacer referencia a la evolución del indicador de producción científica, que a cada paso del desarrollo del OTEC ha acompañado coherente y prolíficamente al conjunto de sus actividades. En referencia al panorama actual, puede afirmarse que el Observatorio encuentra su oferta académica consolidada al igual que su actividad de investigación, con un ritmo de publicaciones que da cuenta de un nivel de actividad óptimo. Se observa un desarrollo de las actividades de transferencia adecuado al tenor de los desarrollos tecnológicos generados.

Si bien se evidencian niveles comparativamente bajos en lo que respecta a actividades de extensión, se cuenta con un pool de proyectos en etapa de evaluación, que es posible que permitan balancear estos indicadores en el corto plazo.

5. REFERENCIAS.

[1] Morcela, O. A.; Cabut, M.; Petrillo, J. D. (2018). "La gestión de la tecnología como competencia de egreso en estudiantes de grado y posgrado".*IV Encuentro Nacional de Gestores Tecnológicos*: MinCyT. CABA: Argentina.

[2] IESALC - UNESCO (2008). "El movimiento de responsabilidad social de la universidad: una comprensión novedosa de la misión universitaria". *Educación Superior y Sociedad*. Venezuela.

[3] Clark, B. (2000). *Creando universidades innovadoras. Estrategias organizacionales para la transformación*. México D.F. Porrúa Librero Editor – UNAM.

[4] Escorsa, P. y J. Valls, J. (2005). *Tecnología e innovación en la empresa.* (2o ed). México. Alfaomega - Universidad Politécnica de Catalunya.

[5] Hidalgo, A., Pavón, J., y León, G. (2002). *La gestión de la innovación tecnológica en las organizaciones*. Madrid. Editorial Pirámide, pp. 107.

[6] Morin, J. y R. Seurat, R. (1998). *Gestión de los recursos tecnológicos*. Madrid. Clásicos Fundación COTEC, pp 32.

[7] Martínez Pavez, C. (1993). *Universidad - sector productivo. Nuevas formas de vinculación. Parques tecnológicos e incubadoras*. Santiago de Chile. CINDA.

[8] Petrillo, J.D.; Doumecq, J.C.; Morcela, O.A.; Alvarez, F.J. (2009). "La universidad innovadora como instrumento del desarrollo local y regional". *III Congreso Nacional de Extensión Universitaria*. Santa Fe: Univ. Nac. del Litoral.

[9] PILA-Network (2009). *Gestión de Propiedad Intelectual en Instituciones de Educación Superior*. Programa ALFA III. UNICAMP, Brasil.

[10] Sierra, P. H. (2003). *Derechos de Propiedad Intelectual en los Organismos Nacionales de Ciencia y Tecnología.* SeCyT – MECyT, Argentina.

[11] Unión Europea (2009). Recomendaciones sobre la gestión de la PI en las actividades de transferencia de conocimiento y código de buenas prácticas para las universidades y otros organismos públicos de investigación. Disponible en: eur-lex.europa-eu/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:146:0019:0024:ES:PDF.

[12] OMPI (2006). *La propiedad intelectual y las empresas*. Colección integrada por: El secreto está en la marca; Lo atractivo está en la forma; Inventar el futuro; Expresión creativa. Disponible es: www.wipo.int/ebookshop.

[13] OCDE (2009). *Turning science into business: patenting and licensing at public research organisations.* Resumen en español disponible: www.oecd.org/dataoecd/18/2/16231061.pdf

[14] Condom, P. Valls, J. (2002). "La gestión de una oficina universitaria de licencia de patentes. Lecciones de una experiencia americana". *Revista del CEPADE*. UPMadrid, número 27, pàg. 182-192, 2002. España.

[15] COTEC. (1999). *Pautas metodológicas en gestión de la tecnología y la innovación para empresas. Temaguide*. Fundación COTEC. España.

[16] COTEC. (2001). *Gestión de la innovación tecnológica en la empresa. Recomendaciones*. Fundación COTEC. España.

[17] Solé Parellada, F. (2001). *Creación de empresas innovadoras de base tecnológica*. Madrid. Fundación COTEC, pp. 16.

[18] Sánchez Asiaín, J. A. (1998). La llamada paradoja europea: globalización, regionalización einnovación. *Revista Valenciana d´estudis autonómics. Número 22*, España, www.pre.gua.es/argos/rvea/libro_22/9-22pdf. Libro del citado profesional, publicado por la Fundación COTEC: La tecnología y la innovación como soporte al desarrollo. 2005. Versión pdf en www.cotec.es.

[19] Lundvall, B. (2009). *Sistemas nacionales de innovación. Hacia una teoría de la innovación y el aprendizaje por interacción*. UNSAM, Argentina.

[20] Morcela, O. A.; Cabut, M.; Petrillo, J. D. (2018). "Participación del Observatorio Tecnológico OTEC en la formulación de proyectos PICT Start Up de la UNMdP". *XI Congreso de Ingeniería Industrial y I Congreso Internacional de Ingeniería – COINI 2018*, Edutecne. Menduza: Argentina.

[21] MinCyT (2013). *Guía de buenas prácticas en gestión de la transferencia de tecnología y de la propiedad intelectual en instituciones y organismos del sistema nacional de ciencia, tecnología e innovación.* 1ª ed. Buenos Aires: MinCyT.

[22] Del Águila Obra, A.R; Padilla Meléndez, A; Fuster Martín, E.; Lockett, N. (2017). "Universidad Emprendedora. El caso de las spin-offs universitarias ¿Nuevas teorías para los mismos obstáculos?". *Revista Economía Industrial, Nro 404*. Disponible en: http://www.minetad.gob.es/es-ES/servicios/Documentacion/Publicaciones/Paginas/detallePublicacionPeriodica.aspx?numRev=404

[23] Potter, J.(ed.) (2008). *Entrepreneurship and Higher Education*. OECD. Paris. http://dx.doi.org/10.1787/9789264044104-en

[24] Guerrero, M.; Urbano, D.; Fayolle, A.; Klofsten, M.; Mian, S. (2016). “Entrepreneurial universities: emerging models in the new social and economic landscape”. *Small Business Economics. Vol. 47, Nº 3*, 2016.

[25] Ries, E. (2012). *El método Lean Startup: Cómo crear empresas de éxito utilizando la innovación continua*. Barcelona: Deusto S. A

[26] Beraza, J. M.,y Rodríguez, A. (2012). “Conceptualización de la spin-off universitaria: revisión de la literatura”. *Revista Economía Industrial, (384), 143-152*.

[27] OECD. (2015). *Introduction: The New Spin on Spin-offs*. OECD Betterpoliciesforbetterlives. Disponible en: http://www.oecd.org/sti/sci-tech/introductionthenewspinonspinoffs.htm

[28] Gómez Zuluaga, M. E.; Botero Morales, J. C. (2016). “Startup y spinoff: una comparación desde las etapas para la creación de proyectos empresariales”. *Revista Ciencias Estratégicas. Vol. 24, No. 36*, julio - diciembre 2016, pp. 365-378. Medellín - Colombia

[29] Ortiz, F. (2006). “Gestión de innovación tecnológica en PYMES manufactureras”. *I Congreso iberoamericano de ciencia, tecnología, sociedad e innovación (CTS+I).* Universidad de Carabobo, Venezuela.

[30] Morcela, O. A.; Petrillo, J. D.; Doumecq, J.; Petrillo, M. I. (2015). “Experiencia de aplicación del método Delphi en el marco de un estudio prospectivo nacional”. *COINI 2014: VII Congreso Argentino de Ingeniería Industrial,* EduTecne. Argentina. ISBN 978-987-1896-39-4

[31] Morcela, O. A.; Cabut, M.; Petrillo, J. D. (2017). "Determinación de políticas públicas en ausencia de participación ciudadana. El caso de las políticas públicas sobre Nanociencia y Nanotecnología en Argentina". *III Jornadas de Investigación en Educación Superior*, JIES. Montevideo: Uruguay. ISBN: 978-9974-0-1580-7

[32] Morcela, O. A.; Cabut, M.; Petrillo, J. D.; Bertone, B. (2018). “Evolución del proceso de acompañamiento a emprendedores en la Universidad Nacional de Mar del Plata”. *VI Jornadas de Extensión Universitaria.* UNICEN. Tandil: Argentina.

[33] Ramírez Nava, J. (2017). Difusión y divulgación: la organización de la información científica. *Ciencia Ergo Sum, vol. 24, núm. 3*, Universidad Autónoma del Estado de México: México

Análisis del proceso de diseño y desarrollo de productos en PyMes del Área Económica Local San Nicolás. Proyecto de investigación.

Meretta Javier*, Bárbaro Laura, Estrella Vélez Lucas

Facultad Regional San Nicolás, Universidad Tecnológica Nacional
Grupo de investigación en tecnología de las organizaciones GITO.
Colon 332, 2900 San Nicolás
jmeretta@frsn.utn.edu.ar

RESUMEN:

El presente trabajo describe un proyecto de investigación de carácter exploratorio centrado en el análisis del proceso de diseño y desarrollo de productos, en pequeñas y medianas empresas de la región delimitada por el sur de la provincia de Santa Fe y norte de la provincia de Buenos Aires, espacio productivo denominado Área Económica Local San Nicolás. Utilizando análisis cualitativo, mediante estudio de casos, se intentará determinar el grado de difusión de herramientas de gestión del proceso de diseño, contar con información empírica sobre sus etapas constitutivas, reconocer si el proceso es caótico o sistematizado, identificar estímulos o inhibidores de este proceso y analizar su influencia en la productividad y los resultados de las organizaciones.
Los resultados de este estudio podrían contribuir a mejorar el conocimiento sobre las organizaciones del área productiva de la zona y brindar posibilidades de transferir al medio, conclusiones y evidencias sobre los problemas de implementación de mejores prácticas de diseño y desarrollo de productos.

Palabras clave: Diseño; Desarrollo; Producto; Mejores Prácticas.

ABSTRACT:

This paper describes an exploratory research project focused on the analysis of the process of product design and development, in small and medium enterprises in the region delimited by the south of the province of Santa Fe and north of the province of Buenos Aires, productive space called San Nicolás Local Economic Area. Using qualitative analysis, through case studies, try to determine the degree of diffusion of management tools of the design process, have empirical information about its constitutive stages, recognize if the process is chaotic or systematized, identify stimuli or inhibitors of this process and analyze their influence on the productivity and results of organizations.
The results of this study could contribute to improve the knowledge about the organizations of the productive area of the zone and offer possibilities to transfer to the environment, conclusions and evidences about the problems of implementation of best practices of design and development of products.

1. Introducción

El buen diseño de los productos aporta beneficios tanto a los clientes, quienes los utilizan, como a los fabricantes que los producen. El diseño y desarrollo de productos, aplicado en forma sistemática y con metodología adecuada, contribuye de manera significativa a la competitividad de las organizaciones, facilitando la introducción de innovaciones y reduciendo los tiempos de lanzamiento de nuevos productos al mercado; lo que resulta de gran importancia al momento de aumentar la cuota de mercado y reducir el tiempo que un producto de la competencia ostenta una posición dominante del mercado en solitario.

Por otro lado, el consumidor, que se ha tornado más exigente con el paso del tiempo y el aumento de la oferta de productos, es más difícil de satisfacer y fidelizar; razón por la cual, para superar sus expectativas, agregando valor al producto, las organizaciones deberán incorporar al diseño y desarrollo de productos como herramienta estratégica en sus procesos productivos.

En pos de incorporar mejoras en el proceso de diseño y desarrollo en las empresas ha surgido un creciente interés en el tema de investigación por parte de las mismas, sumado al apoyo de entidades como el Instituto Argentino de Tecnología Industrial [1], para incorporar herramientas que permitan detectar e implementar oportunidades de mejora en su gestión del diseño.

Las empresas de manufactura, los clientes y los organismos gubernamentales pertinentes coinciden en la importancia del diseño y desarrollo de productos, esto se debe a que el éxito económico de las empresas depende de su habilidad para identificar las necesidades de los clientes, crear rápidamente los productos que puedan satisfacer estas necesidades y producir los mismos a bajo costo; lograr estos objetivos es una tarea conjunta de tres funciones centrales en las organizaciones: mercadotecnia, diseño y manufactura [2].

En primer lugar, mercadotecnia resulta ser el mediador entre la organización y sus clientes, definiendo los segmentos de mercado, identificando las necesidades de los clientes, encargándose de la comunicación, lanzamiento y promoción de los productos.

En segundo término, diseño es la función de la organización que define la forma física del producto y comprende al diseño de ingeniería ya sea este mecánico, eléctrico, etc.; y al diseño industrial quien se encargará de la estética del producto, la ergonomía y las interfaces de usuario.

Finalmente manufactura es la encargada del diseño y operación del sistema de producción, asumiendo además el rol de compra, distribución e instalación.

El diseño aporta importantes ventajas a la organización tales como la posibilidad de innovar en sus productos y procesos, diferenciarse de la competencia, generar nuevos productos, introducir mejoras estéticas y funcionales en productos existentes, y facilitar y optimizar los procesos productivos entre otros [1].

Ante todas estas ventajas, surge el interrogante acerca de cuan difundida se encuentra esta práctica en las organizaciones de nuestro país, en particular en nuestra zona: norte de la provincia de Buenos Aires y sur de Santa Fe, la cual presenta algunas particularidades locales por pertenecer a una micro región denominada Área Económica Local San Nicolás Figura1. Este espacio productivo ha sido denominado así en un estudio socio económico realizado por Mazzorra, Filippo y Schleser [3], donde se define a lo local como el ámbito geográfico de referencia inmediata, el lugar donde las relaciones cotidianas se producen en un contexto de proximidad, pero no tiene un límite determinado lo cual indica que no necesariamente debe coincidir con los límites políticos de municipios o provincias. La región queda delimitada por las relaciones sociales que se constituyen y desarrollan a lo largo del tiempo. Quedando el territorio demarcado por los denominados “movimientos diarios pendulares”, en referencia a los desplazamientos diarios que realizan las personas para ir de su casa al trabajo; es decir que este concepto refiere al ámbito geográfico donde la gente vive y trabaja, porciones de territorio que se definen por relaciones económicas cotidianas, especialmente por relaciones laborales, que unen a una ciudad nodo con su área de influencia. Estas áreas no necesariamente coinciden con los límites geopolíticos preexistentes.

Figura 1. Macro localización Área Económica Local San Nicolás (AEL)

El Área Económica Local San Nicolás o AEL San Nicolás, está conformado por los municipios de San Nicolás y Ramallo en el norte de la provincia de Buenos Aires y Villa Constitución en el sur de la provincia de Santa Fe (Figura 2), quienes constituyen un espacio geográfico industrial unificado, una micro región, con identidad socio-productiva propia centrada en el sector siderúrgico y metalmecánico. Esta estructura productiva presenta una serie de rasgos particulares: mientras la producción del sector siderúrgico se realiza principalmente en dos grandes establecimientos [Ternium Argentina S.A y Acindar Grupo Arcelor Mittal], la producción metalmecánica se concentra en una gran cantidad de pequeñas y medianas empresas. Este conglomerado de pequeñas y medianas empresas metalmecánicas, junto a los dos grandes establecimientos siderúrgicos, localizados en la misma micro-región, conforman un verdadero “cluster” sidero-metalmecánico, cuyo aporte al desarrollo regional es esencial.

Figura 2. Micro localización Área Económica Local San Nicolás (AEL)

La zona de estudio presenta una alta especialización en metalurgia. Dada la creciente importancia que adopta el territorio en la construcción de ventajas competitivas, y la importancia central del trabajo como actividad económica en el territorio, es que se ha decidido realizar el estudio en esta área; región productiva, que tiene una larga tradición industrial, que ha transitado cambios importantes en su estructura en diferentes períodos históricos y que en los últimos años ha experimentado importantes cambios.

Una vez presentadas ciertas particularidades locales que justifican la región de estudio, se presentarán algunas definiciones acerca del tema de investigación.

En el presente trabajo se entiende por diseño y desarrollo de productos al conjunto de actividades que se inician con una oportunidad de mercado y finalizan con la producción, venta y entrega del producto.

Existen diferentes formas de iniciar el proceso de diseño y desarrollo de productos, puede comenzar a partir de la detección de una oportunidad de mercado y surgir desde la propia organización o puede comenzar a partir del pedido de un cliente. En ambos casos el proceso de diseño y desarrollo cumplirá las mismas etapas secuenciales. Se habla de proceso de diseño y desarrollo porque así está definido por los actores involucrados y sus relaciones, las metodologías y herramientas de trabajo, las etapas del proceso y la información y conocimiento generado durante el mismo [4].

El diseño de producto contempla todas las características del producto, ergonómicas y estéticas, además de su proceso de fabricación y comercialización. A lo que podría agregarse el diseño de la comunicación del producto y la proyección de la imagen corporativa [5].

Es preciso aclarar que estas etapas del proceso pueden no ser necesariamente secuenciales, sino que pueden darse en forma simultánea; para el presente estudio se han analizado etapas que se inician con la identificación de las necesidades del cliente, la generación del concepto, su selección, prototipado y producción.

No se encuentran en la literatura muchos trabajos que analicen empíricamente los factores críticos del proceso de diseño y desarrollo de productos en las pequeñas y medianas empresas de nuestro país, en particular en la región de estudio. Este trabajo busca avanzar en este sentido tratando de encontrar evidencia objetiva acerca de los factores que inciden en este proceso.

En el exterior de nuestro país se pueden encontrar algunos trabajos que presentan modelos para el diseño y desarrollo de productos, algunos autores como Bobrow [6] y McGrath [7] remarcan algunos elementos críticos para el proceso como la rapidez de salida al mercado, el trabajo en equipo y la gestión de calidad. Bobrow [6], destaca una clara dirección estratégica y una cultura organizacional alineada a la innovación.

Los factores críticos, identificados en la literatura, que inciden en el proceso de diseño y desarrollo de productos se agrupan en tres conjuntos: la planificación del desarrollo de productos, el análisis de los requerimientos de mercado y el compromiso y apoyo de la gerencia. Con respecto al primer conjunto se pueden citar factores como: la participación de un equipo interdisciplinario, una buena planificación del proceso y la superposición de etapas del proceso entre otros. En referencia al análisis de los requerimientos de mercado, se pueden mencionar como ejes centrales a la identificación de mercados objetivos y potenciales clientes. En cuanto al compromiso y apoyo de la alta dirección, los factores a tener en cuenta son: una dirección estratégica clara, la provisión de recursos humanos y financieros, y por último una clara visión de la industria.

Este trabajo de investigación pretende explorar el proceso de diseño y desarrollo de productos en pequeñas y medianas organizaciones de la región, para intentar determinar el grado de difusión de herramientas de gestión del proceso de diseño, contar con información empírica sobre sus etapas constitutivas y prácticas de gestión de este proceso en empresas de esta región.

Resulta de interés, por ejemplo, identificar si en las empresas se encuentran más desarrolladas las actividades del proceso de diseño relacionadas con el dominio de la ingeniería o las de índole más creativa del dominio del diseñador; a la vez que se busca identificar si predomina la búsqueda de soluciones de tipo funcional o se hace centro en la temporalidad del proceso, al intentar resolver rápidamente el problema de diseño [8]. O en otro caso, analizar si se realiza el desarrollo del concepto del producto y la validación del diseño a partir de un prototipo o maqueta como paso previo al diseño de detalle, el cual requiere una coordinación entre el área de diseño y el área de producción asegurando el orden y la comunicación de la información (Schwabe-Neveu, Fuentes-Stuardo, Briede-Westermeyer, 2016).

El presente proyecto nos permitirá conocer mejor a nuestras organizaciones y aportar datos empíricos a la discusión más amplia acerca de este proceso en algunos aspectos claves: Cuáles serían las prácticas de gestión que estimulan el proceso de diseño y desarrollo de productos; qué tipo de problemas de aplicación o adaptación local tienen las etapas constitutivas de este proceso en comparación con otras regiones o países, ya sea por condicionamientos culturales, la ausencia de una masa crítica de profesionales o de mentalidades empresariales que no ayudan a su impulso.

Se busca información que nos permita analizar el grado de sistematización existente en el proceso de diseño y desarrollo de productos con especial énfasis en los siguientes aspectos:

- Reconocer si el proceso es caótico o sistematizado.
- Identificar y reconocer etapas del proceso como la identificación de necesidades del cliente, generación de conceptos, prototipado, realización de ensayos, etc.
- Identificar los factores que incidan en el proceso de diseño y desarrollo, ya sean estímulos o inhibidores.
- Identificar posibles cuellos de botella del proceso.
- Efectuar evaluaciones fiables sobre su influencia en la productividad y los resultados de las organizaciones.

Un aporte local importante, en referencia al cluster en estudio, podría consistir en información fiable sobre las consecuencias de las crisis económicas y sociales sobre las organizaciones: si influyen en la capacidad de diseñar y desarrollar nuevos productos y lanzarlos al mercado y como afectan los tiempos de este proceso.

Para analizar el proceso de diseño, se obtendrá información de carácter cualitativo mediante estudios de casos que puedan ser identificados como emblemáticos en la región, con el propósito de analizar lo que realmente ocurre desde el inicio de la relación con el cliente que requiere un determinado producto, o desde el momento en que la empresa decide iniciar un nuevo proyecto al detectar una oportunidad de mercado; hasta su lanzamiento al mercado.

2. Metodología

La presente investigación es de carácter exploratorio, orientada a obtener información sobre el proceso de diseño y desarrollo de productos y los factores que inciden sobre el mismo en la región elegida para realizar el estudio. Se utilizara la metodología cualitativa y el instrumento fundamental para obtener la información será la entrevista en profundidad, utilizando una guía para entrevistas, ya que como sugiere Patton [10], la guía suministra “cuestiones o áreas temáticas dentro de las cuales el entrevistador tiene libertad para explorar, profundizar y hacer preguntas que aclaran e iluminaran un tema particular”, contendrá preguntas abiertas y adicionalmente algunas semi-estructuradas, fundamentalmente estas últimas se utilizarán para evaluar de una manera más precisa el grado sistematización del proceso de diseño y desarrollo de productos. El interés fundamental estará centrado en comprender la experiencia de los entrevistados en relación a este proceso.

Se ha estimado realizar inicialmente entrevistas en organizaciones a responsables del área de mercadotecnia, manufactura y diseño, las tres funciones componentes del proceso de diseño y desarrollo de productos. Adicionalmente se tendrá en cuenta una adecuada representación de actividades profesionales y funcionales dentro de cada empresa, así como la antigüedad y experiencia de los entrevistados. El número de entrevistas será función de la información obtenida, pudiendo ampliarse en una misma organización para obtener información de contraste en caso de tener alguna evidencia de sesgo por parte de algún entrevistado o seleccionar adicionalmente a otras organizaciones si es necesario para confirmar ciertas tendencias en un sector de actividad específico. En cualquier caso se interrumpirán las entrevistas cuando se considere que las mismas ya no aportan información adicional en función de los objetivos de la investigación, evitando el riesgo de “saturación de información”, tal como los metodólogos denominan a aquella etapa en la que los entrevistados no aportan ya elementos originales a la investigación. Se tratara la información con todos los recaudos que los especialistas recomiendan para este tipo de metodología:

Se solicitara a los entrevistados una autorización para la grabación de las entrevistas, desgravándolas digitalmente y utilizando un software específico (Atlas ti) para tratamiento de textos en entrevistas cualitativas, ya que parece haber un consenso entre los expertos en investigación cualitativa acerca de la importancia de las transcripciones textuales como “materia prima” fundamental del análisis cualitativo. En caso de no ser factible la grabación se tomara nota de la entrevista intentando reconstruir posteriormente lo más fielmente posible la información.

Previamente a las entrevistas se explicaran los objetivos de la misma a los entrevistados y se le entregara un protocolo de confidencialidad por el cual se acuerda no mencionar a la empresa por su razón social cuando se presente el informe final, salvo que los interesados lo permitan, aclarando que se trata de una investigación independiente con fines científicos.

Finalmente para analizar los datos recogidos se tratara la información siguiendo las recomendaciones de McCracken [11] sobre el proceso de análisis en cinco etapas. Cada etapa del

proceso representa un movimiento hacia un mayor grado de generalidad, desde los detalles particulares de las entrevistas a conclusiones académicas más generales. Las primeras cuatro etapas implican el análisis de las transcripciones de las entrevistas y la identificación de los aspectos que pueden considerarse los elementos más destacables sin determinar como esos aspectos podrían ser combinados. La quinta y última etapa es cuando las conclusiones de todas las entrevistas individuales se ponen en conjunto transformándose en un todo cohesionado.

En la muestra de las empresas a entrevistar se tendrá en cuenta dos aspectos fundamentales, su sector de actividad y su tamaño, la capacidad para disponer recursos humanos, financieros e institucionales para acceder con cierto éxito al lanzamiento de nuevos productos.

3. Conclusiones

La presente investigación tiene como objetivo prioritario la transferencia al medio de sus investigaciones de manera de contribuir a mejorar el conocimiento sobre las organizaciones del área productiva de la zona, mediante conclusiones y evidencias sobre los problemas de implementación de mejores prácticas de diseño y desarrollo de productos en las empresas, sus consecuencias locales, limitaciones, y las posibilidades reales de mejorar la productividad general de las organizaciones a través de nuevas prácticas organizativas. El estudio sería el primer proyecto de este tipo en la región y podría constituir una oportunidad para mejorar las posibilidades de implementación de diversas técnicas de gestión del diseño y desarrollo de productos. Los resultados del estudio podrían ser presentados a las empresas que han brindado información al mismo con el fin de mejorar la gestión del diseño, reducir los costos del proceso, disminuir los tiempos de desarrollo y evitar los ciclos repetitivos en el proceso de diseño y desarrollo de productos. En términos académicos constituir una base de información sólida sobre las modificaciones en la orientación de las estructuras y procesos organizativos de las empresas.

4. Bibliografía

[1] INTI (2009). Proceso de diseño, fases para el desarrollo de productos. Boletín informativo N°141.

[2] Ulrich, K.; Eppinger, S. (2016) “Diseño y desarrollo de productos” Sexta edición Mc Graw-Hill. ISBN 978-0-07-802906-6

[3] Mazzorra, Filipo, Schleser; (2005). “Áreas Económicas Locales y Mercado de Trabajo en Argentina: Estudio de Tres Casos” CEPAL, Serie Desarrollo Productivo N° 157.

[4] Ariza, R.; Ramirez, R. (2007). “Herramientas para mejorar la gestión del diseño en PyMEs”. INTI | PROGRAMA DE DISEÑO. 6º Jornadas de Innovación y Desarrollo, noviembre 2007

[5] Chacón Murillo, J. E. 2018 “Plan de mejora del proceso de diseño de producto en una empresa del sector calzado” Facultad de Educación permanente y avanzada. Especialización en Gerencia de la Calidad. Bogotá.

[6] Bobrow, E. (1997). "The complete idiot´s guide to new product development". Macmillan, New York.

[7] McGrath, M. (1996). "Setting the pace in product development: a guide to product and cycle time excellence". Butterworth Heinemann, Woburn, MA.

[8] Guerrero Valenzuela, M. A. 2016 “Propósitos y argumentos en el proceso de diseño, el diseño conceptual en torno a la representación formal del producto”. Universidad Politécnica de Valencia. Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño.

[9] Schwabe-Neveu, Jimmy; Fuentes-Stuardo, Paulina; Briede-Westermeyer, Juan Carlos. 2016. “Caracterización del proceso de diseño de productos de una empresa prestadora de servicios de diseño. Propuesta basada en un enfoque de procesos”. Dyna, vol. 83, núm. 199, 2016, pp. 148-156 Universidad Nacional de Colombia. Medellín.

[10] Patton, M. (1990). Qualitative evaluation and research tools.Pag. 283. Newberry Park:SAGE

[11] McCracken, D. Grants (1988). The Long Interview (Qualitative Research Methods, Vol. 13). Newbury Park: Sage.

La energía solar fotovoltaica, aplicaciones de las innovaciones tecnológicas en Argentina, la legislación relacionada y sus perspectivas futuras

Ramírez, Oscar *; Fernández, Marcelo; Camblong, Jorge

*Instituto de industria, Universidad Nacional de General Sarmiento.
J. M. Gutiérrez 1150, Los Polvorines, Pcia. de Bs. As.
oramirez@ungs.edu.ar

RESUMEN.

Este trabajo en su primera etapa describe el desarrollo tecnológico de los sistemas de generación de energía eléctrica a partir de celdas de transformación solares fotovoltaicas.
La innovación de esta tecnología y sus aplicaciones es de vital importancia dados los más de 6000 documentos científicos que afirman (según OMS) el complejo panorama del planeta en relación a la contaminación, el cambio climático y el efecto invernadero.
Posteriormente, en una segunda etapa, se reseña la evolución en el tiempo de la utilización de estas tecnologías en el ámbito nacional en referencia a la generación individual y centralizada. Finalmente se investigó el devenir de la legislación relacionada con la aplicación de esta tecnología alternativa.
Como conclusión se plantea un posible escenario que brinda el mercado argentino.

Palabras Claves: Energía solar fotovoltaica, Energías renovables, Matriz energética.

ABSTRACT.

This paper in its first stage describes the technological development of electric power generation systems from photovoltaic solar transformation cells.
The innovation of this technology and its applications is of vital importance given the more than 6000 scientific documents that affirm (according to WHO) the complex panorama of the planet in relation to pollution, climate change and the greenhouse effect.
Subsequently, in a second stage, the evolution in time of the use of these technologies in the national scope in reference to the individual and centralized generation is outlined. Finally, the evolution of legislation related to the application of this alternative technology was investigated.
In conclusion, a possible scenario offered by the Argentine market is predicted.

1. INTRODUCCIÓN.

La Energía Solar, como alternativa energética, constituye una línea relevante para un desarrollo sostenible cuidando a la vez el medio ambiente del planeta. Podríamos considerar que el sol es una fuente inagotable, calificándola entonces como un recurso energético renovable y esencialmente no contaminante o limpio.

En función del método de transformación y aprovechamiento puede clasificarse de dos maneras: i) Energía Solar Térmica para los casos en que la radiación electromagnética proveniente del sol se utiliza para calentamiento (conversión fototérmica); y ii) Energía Solar Fotovoltaica cuando se produce la conversión directamente en electricidad a través del efecto fotovoltaico. Esta última modalidad de conversión puede derivar en dispositivos de generación aislada (no conectadas a la red eléctrica) para autoconsumo o en plantas conectadas a la red que se integren a la matriz energética.

1.1. Un poco de historia de la utilización de la energía solar.

En lo que hace a la energía solar, las civilizaciones antiguas no estuvieron exentas de su utilización. Puede decirse que el surgimiento de la energía solar comenzó en la antigua Grecia, el dios Helios o del sol, era adorado y tenía varios templos. Alrededor del año 400 ac, los griegos fueron los primeros en idear construcciones para aprovechar la luz y el calor del sol. Posteriormente los romanos aprendieron a usar invernaderos con ventanas de cristal para hacer que los alimentos crecieran adecuadamente utilizando la luz del sol. Se trataba en esos tiempos de la utilización de la Energía Solar Térmica.

Siglos después, el efecto fotovoltaico fue reconocido en 1839 por el físico francés Alexandre Edmond Becquerel (1820-1891) que observó este efecto en una solución conductiva expuesta a la luz [1]. Sus estudios sobre el espectro solar, magnetismo, electricidad y óptica son el pilar científico de la energía fotovoltaica.

En 1883 el inventor norteamericano Charles Fritts construye la primera celda solar con una eficiencia del 1%. Esta celda solar fue construida utilizando como semiconductor el Selenio con una muy delgada capa de oro. Debido al alto costo de esta celda se utilizó para usos diferentes a la generación de electricidad, sus aplicaciones se centraron en la elaboración de sensores de luz como una aplicación para las cámaras fotográficas.

La celda de Silicio que se utiliza en la actualidad proviene de la patente del inventor norteamericano Russell Ohl. Fue desarrollada en 1940 y patentada en 1946.

La época moderna de la celda de Silicio llega en 1954 en los laboratorios Bells. Accidentalmente, experimentando con semiconductores se encontró que el Silicio con algunas impurezas era muy sensitivo a la luz. Los avances logrados con este tipo de celda contribuyeron a la producción comercial, lográndose una eficiencia del 6%.

El dispositivo fotovoltaico actual por excelencia es la celda solar de silicio cristalino (material semiconductor), consistente esencialmente en un diodo que transforma la radiación solar en corriente continua [2].

1.2. Aplicaciones aeroespaciales.

Las primeras prácticas relevantes de la generación de energía con celdas fotovoltaicas fueron aplicaciones en los satélites geoestacionarios.

La primera aplicación de celdas solares en el espacio fue la realizada en el satélite Vanguard I, lanzado por Estados Unidos en el año 1958, esta nueva fuente de energía le permitió seguir transmitiendo durante siete años pues las baterías químicas solo fueron utilizables durante 20 días.

Estos desarrollos y aplicaciones en los vehículos espaciales fueron de gran importancia, lo cual estimuló la investigación y búsqueda de paneles solares cada vez más eficientes. El primer mercado de los paneles fotovoltaicos fue entonces dirigido al sector aeroespacial. Los módulos de alta eficiencia para uso aeroespacial llegaron a niveles del 20%.

La crisis del petróleo de inicios de la década del 70, derivó en la aplicación de la tecnología fotovoltaica para usos terrestres. Desde mediados de la década del 90 las actividades en este campo (el fotovoltaico) recibieron un renovado impulso, esta vez gracias a la creciente presión ecologista de la sociedad. Más recientemente, la fuerte reducción de costos de los paneles solares y de los sistemas fotovoltaicos en su conjunto, ha dado lugar a que en varios países se haya alcanzado un costo de generación con energía solar fotovoltaica comparable al costo de generación con fuentes convencionales.

2. EVOLUCION DE LA TECNOLOGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.

Como ya fue dicho, el elemento básico de la industria fotovoltaica es y seguirá siendo, por lo menos en el mediano plazo, el silicio cristalino (c-Si). Este semiconductor es la base de la industria electrónica por lo cual su tecnología está muy desarrollada, ahora bien, en la búsqueda constante por bajar los costos se fueron desarrollando dispositivos de película delgada de diferentes

materiales semiconductores. De ellos, el silicio amorfo (a-Si) es el más difundido en el mercado desde hace años y las celdas de CdTe y de CUInSe2 (CIS) son de reciente aparición. De seguido se mencionan -de modo no exhaustivo- diversas tecnologías fotovoltaicas alternativas que hoy cuentan con diferente grado de madurez:

- películas delgadas (Thin Film, TF), principalmente telururo de cadmio (CdTe), seleniuro de cobre-indio-galio (CIGS) y silicio amorfo (a-Si);
- dispositivos multijuntura basados en semiconductores III-V como el arseniuro de galio (GaAs), de uso habitual en aplicaciones espaciales, pero que han comenzado a utilizarse en los últimos años en usos terrestres en combinación con sistemas ópticos de concentración de la radiación solar (CPV, Concentrating Photovoltaics); y
- tecnologías emergentes, tales como celdas solares de perovskitas, sensibilizadas por colorante y de materiales orgánicos.

Los módulos constituyen el elemento fundamental de un sistema fotovoltaico y se generan conectando en serie un conjunto de celdas fotovoltaicas. Estos módulos se caracterizan en función de la potencia (en Wpico) que pueden entregar al ser iluminados con una radiación de 1 kW/m2, la mayoría de ellos están diseñados para entregar corriente continua a tensiones algo superiores a 12 V dado que la principal aplicación fotovoltaica es la carga de baterías.
El sistema fotovoltaico se completa con el denominado “Balance del Sistema” (BOS, por sus siglas en inglés Balance of System), que incluye según la aplicación, algunos de los siguientes componentes: inversores de corriente continua a corriente alterna, acumuladores (baterías), transformadores, cables, equipo de monitoreo y componentes estructurales para la instalación de los módulos. Estos pueden montarse sobre el piso (caso típico de las centrales de potencia) o en edificios (en terrazas, tejados, fachadas) y además las instalaciones pueden ser fijas o bien contar con un sistema de seguimiento del sol.
Los sistemas fotovoltaicos pueden clasificarse básicamente en dos categorías: (i) sistemas aislados, típicamente ubicados en áreas rurales sin acceso al servicio eléctrico de red, y (ii) sistemas conectados a la red eléctrica pública. Aun cuando en la mayoría de los casos los sistemas aislados son competitivos desde hace años, su tasa de crecimiento anual en los últimos tiempos (a nivel mundial) ha sido fuertemente menor que la correspondiente a los sistemas fotovoltaicas conectados a la red [2].
En lo que respecta a la fabricación de paneles solares en Argentina sólo se realizan a partir de celdas importadas siendo tres empresas las que presentan producción propia: Solartec S. A., LV Energy, y Ledlar Sapem. Actualmente la provincia de San Juan está ejecutando la construcción de una fábrica integrada de lingotes de silicio solar, obleas y celdas cristalinas, y paneles solares fotovoltaicos de 71 MW de producción anual, emplazada en el Departamento de Pocito, Provincia de San Juan.

3. EVOLUCION DE LA UTILIZACIÓN DE TECNOLOGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN ARGENTINA.

En concordancia con la crisis energética mundial de principios de la década del setenta el 3 de junio de 1974 fue creada en Argentina la Asociación Argentina de Energía Solar (ASADES), conformada por equipos de investigación y desarrollo, especializados en la temática de la energía solar, distribuidos en todo el país con el objetivo de coordinar esfuerzos en la adaptación de las tecnologías de generación de energía solar en el contexto local.
En el año 1997 cambió su nombre por Asociación Argentina de Energía Renovables y Ambiente con el objetivo de ampliar la gama de temas tratados a los de energías renovables en general, a pesar de esto ha mantenido las siglas originales. Cuenta con un gran número de miembros representantes de universidades, laboratorios, empresas y ONG ambientales de la Argentina y se encarga de organizar reuniones anuales desde el año 1975 a la fecha.
A partir del año 1978 la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Nación (SeCyT) desarrolló el “Programa Nacional de Investigaciones en Energía no Convencional”, estaba coordinado por un comité integrado por representantes de los equipos de I+D que lo formaban y un director designado por la Secretaría [3]. Este Programa brindaba apoyo a los equipos de I+D, financiaba congresos nacionales y la participación en reuniones internacionales.
En cuanto a energía solar las líneas de investigación desarrolladas fueron las siguientes: relevamiento del recurso, arquitectura solar, colectores planos de aire y agua, conversión fotovoltaica, pozas solares y concentradores solares.
En el entorno de este Programa los equipos de investigación que trabajaron la temática vinculada a la energía solar fotovoltaica pertenecían a la Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales, la Universidad Nacional del Litoral y la Universidad Nacional de Salta, destacándose proyectos como “sistemas solares fotovoltaicos autónomos”, “celdas solares argentinas”, “Elaboración de un

manual de datos característicos del recurso energético solar" entre otros [4]. La SeCyT finalizó este programa en 1992.

En el año 1981 fue creada la "Dirección Nacional de Conservación y Nuevas Fuentes de Energía" (DNCyNFE) en el ámbito de la Secretaría de Energía de la Nación. Esta Dirección ha desarrollado actividades vinculadas a las energías renovables y el uso racional y eficiente de la energía. En este contexto por decreto 2247/85 el PEN puso en marcha el "Programa de Uso Racional de la Energía" {2}, el que se llevó a cabo entre los años 1985 a 1989, dividiéndose en tres subprogramas: Conservación de la Energía, Sustitución de Combustibles y Evaluación, Desarrollo y Aplicación de Nuevas Fuentes de Energía.
También fueron creados Centros Regionales por convenios con las provincias y universidades donde ya existían grupos de I+D con experiencia en cada fuente de energía [5].
En lo que respecta a energía solar se creó el Centro de Energía Solar CRES en la provincia de Salta donde el grupo INENCO dependiente del CONICET y la Universidad de Salta, es un referente en lo que a la temática de energía solar térmica se refiere.
Algunas tareas destacadas del grupo INENCO fue la realización de estudios centrados en aplicaciones relacionadas con el diseño de equipos fotovoltaicos para zonas rurales. Se instalaron equipos fotovoltaicos en escuelas de la Puna y el Chaco Salteño. En la década del 90 asesoró a Naciones Unidas en la instalación de miles de sistemas fotovoltaicos en localidades aisladas del Perú.
A partir de 2002 INENCO participó en nuevos desarrollos y transferencias en relación a sistemas fotovoltaicos en Centros de Salud y Comunitarios en la Puna Argentina.

3.1. El Programa PERMER.

A pesar del alto porcentaje de electrificación existente en el país, una porción de la población en especial la situada en áreas rurales dispersas siempre sufrió la carencia de servicio eléctrico por encontrarse alejada de las redes de distribución.
En 1994 la Subsecretaría de Energía Eléctrica dependiente de la Secretaría de Energía y Minería de la Nación puso en funcionamiento el Programa de Abastecimiento Eléctrico a la población Rural Dispersa de Argentina (PAEPRA). En 1997 para dar cumplimiento al PAEPRA se desarrollaron las bases de un proyecto de alto contenido social denominado "Energías Renovables en Mercados Rurales" (PERMER) mediante el cual se propuso asegurar el abastecimiento del servicio eléctrico a ese segmento poblacional en forma sostenible, brindándole a los futuros usuarios la posibilidad de satisfacer sus necesidades básicas de iluminación y comunicación, preferentemente mediante la utilización de fuentes de generación renovables (sistemas eólicos, sistemas fotovoltaicos y microturbinas hidráulicas).
El Proyecto se financió mediante un préstamo del Banco Mundial, una donación del Fondo Mundial para el Medio ambiente, los usuarios, los concesionarios y las 8 provincias que participaron inicialmente y fue llevado a cabo por la Secretaría de Energía de la Nación a través de la Unidad Coordinadora del Proyecto y de las Unidades Ejecutoras Provinciales, quedando el suministro a cargo de concesionarios públicos y privados.
Contó con cuatro actores principales: el Estado Nacional, los Gobiernos Provinciales, los concesionarios del servicio y los usuarios, todos estos organizados en un sistema de responsabilidades compartidas [6].
El proyecto comenzó en la práctica en el año 1999 y dentro de la variedad de fuentes renovables se contó con la utilización de sistemas fotovoltaicos para uso doméstico y para instituciones de servicios públicos tales como escuelas, hospitales y edificios públicos, concluyendo su ejecución en el año 2012.
El 78,8% del presupuesto correspondiente al equipamiento instalado en este programa correspondió a sistemas de generación fotovoltaica, siendo 52,6% para casos individuales, 22,4% para aplicaciones en escuelas y 3,8% para instalaciones en edificios públicos.
En 2009 la Secretaria de Energía inicio gestiones para implementar una segunda etapa del Proyecto PERMER. En 2015 el Banco Mundial otorgó un crédito de u$s 200 millones que junto a un aporte local de u$s 40,9 millones permitió dar inicio al proyecto PERMER II en octubre de 2015 siendo su fecha de finalización en 2020.
El proyecto PERMER II planteó como objetivos la provisión de energía eléctrica en tres formatos, el primero para iluminación y comunicación en hogares aislados e instituciones públicas dispersas, un segundo para pequeñas comunidades rurales a través de mini-redes y una tercera opción para usos productivos como bombeo de agua entre otros [7].

3.2. Programas GENREN y RenovAr.

En 2006 se aprueba la ley 26.190, esta establecía como objetivo llegar a un 8% de generación de energía en la matriz energética nacional a través de fuentes renovables para el 31 de diciembre de 2017.

Para cumplir con este propósito en 2010 la Secretaría de Energía crea el Programa GENREN con la premisa de instalar centrales de potencia de generación a partir de fuentes renovables. Durante los procesos licitatorios del GENREN I (año 2010) y GENREN II (año 2011) se realizaron ofertas por 1.436,5 MWh. Menos de una cuarta parte de estos proyectos se concretaron, lo cual se atribuyó a la falta de financiamiento que atravesó Argentina en esa época y a la falta de confianza en la capacidad de repago por la mala situación del sector energético nacional [8,9]. A pesar de esto la capacidad de generación eléctrica solar fotovoltaica creció notoriamente.
La primera planta solar fotovoltaica de alta potencia que se puso en funcionamiento en Argentina fue “San Juan I” en la localidad de Ullúm en la provincia de San Juan en el año 2010 con una capacidad instalada de 1,2 MW.
En 2012 se inauguró una planta de 2 MW en “Cañada Honda I”, San Juan y en un predio contiguo en 2013 una segunda planta “Cañada Honda II” de 3 MW. Por último también en San Juan está emplazada la planta “Chimbera I” con una capacidad de 2 MW. Estas tres plantas fueron realizadas en el marco del programa GENREN.
En mayo de 2016 el Ministerio de Energía y Minería (MINEM) a través de la Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico (CAMMESA) en el marco de la ley 27191 da inicio al Programa RenovAr en su versión Ronda 1, licitando a nivel nacional e internacional 1000 MW de energías renovables de las cuales 300 MW correspondían a energía solar fotovoltaica [10]. De los 29 proyectos aprobados por un total de 1143 MW, 4 correspondieron a energía solar fotovoltaica.
Posteriormente a la adjudicación de estos 29 proyectos el MINEM en 2017 lanzó una segunda etapa denominada Ronda 1.5, licitando 600 MW. Se recibieron 47 ofertas por 2486 MW de los cuales 925 MW correspondían a energía solar fotovoltaica. Fueron seleccionados 30 proyectos equivalentes a 1280 MW siendo 20 proyectos de energía solar por un total de 516 MW [11].
Ante los buenos resultados de las dos primeras versiones del Programa RenovAr en el transcurso de 2017 se lanza la Ronda 2.0 con 1200 MW previstos. Las ofertas se dieron a conocer en noviembre de 2017 llegando a 228 proyectos (99 de energía solar) por 9.391,3 MW (5.290,6 MW para energía solar), adjudicándose finalmente 66 proyectos (12 de energía solar) por el equivalente a 1.408,7 MW de los que correspondieron 556,8 MW a energía solar fotovoltaica [12].
En lo que sería la última etapa, denominado Ronda 2.5 el MINEM adjudicó 22 proyectos que quedaron fuera del Ronda 2.0 por acotados márgenes de precios. De esas adjudicaciones 5 correspondieron a parques de energía solar fotovoltaica por 259,5 MW.

4. EL MARCO LEGAL EN ARGENTINA.

En relación a la legislación, la energía fotovoltaica se encuentra incluida en aquellas leyes que tratan la generalidad de energías renovables.
En Argentina, las siguientes leyes están dirigidas a esta temática:

- Ley 26190/2006
- Ley 27191/2015
- Ley 27424/2017

Se realizará a continuación una breve síntesis de cada una de ellas.

La ley 26190/2006, fue aprobada en diciembre del 2006 y publicada en enero del 2007 bajo el título de “Régimen de fomento nacional para el uso de fuentes renovables de energía destinada a la producción de energía eléctrica”
Esta ley estableció que el abastecimiento nacional de energía eléctrica, debía alcanzar un 8% de generación con energía renovable para el 31 de diciembre de 2017, el ámbito de aplicación es nacional y se propone promover la realización de emprendimientos para la producción de energía eléctrica a partir de fuentes renovables.
La misma unifica terminología, potencias, criterios. Establece que será el poder ejecutivo
Quien designe al autoridad de aplicación, las políticas públicas destinadas a promover la inversión en relación
En relación a las política, establece promover la inversión es el campo de las energías renovables, generar un Programa Federal destinado al desarrollo de aspectos tecnológicos, productivos, económicos y financiero para cumplir con la meta establecida. AL mismo tiempo coordinar con Universidades e Institutos de Investigación el desarrollo de tecnologías, celebrar acuerdos de colaboración internacional, promover la capacitación de RRHH
Establece la promoción de un Régimen de Inversiones para la construcción de obras nuevas destinadas a la producción de energía eléctrica, generada a partir de fuentes renovables. Establece quienes serán los beneficiarios (personas físicas y jurídicas inversionistas y concesionarios de obras nuevas de producción de energía generada a partir de fuentes renovables) y cuales los beneficios, los que en general están ligados a beneficios tributarios.

Por último establece las asignaciones del fondo fiduciario de energías renovables.
La ley 27191 fue sancionada en septiembre del 2015 y promulgada en octubre del mismo año.
Fundamentalmente debe interpretarse como una segunda etapa de la ley 26190.
En el primer capítulo se tratan las modificaciones a la ley 26190, en relación a los objetivos, los alcances, las terminologías, las energías primarias aceptadas, límites de potencias, beneficiarios y beneficios del Régimen de Fomento Nacional.
El Capítulo II, establece los nuevos objetivos de producción de energía eléctrica a partir de renovables, los nuevos beneficios para el período 1-2018 al 12-2025; el Capítulo III Crea el Fondo Fiduciario para el Desarrollo de Energías Renovables (FODER) cuyo objetivo es el otorgamiento de préstamos destinados a la ejecución de proyectos de infraestructuras en emprendimientos de producción de energía eléctrica a partir de fuentes renovables. Determina quienes son los beneficiarios del fidecomiso, el aporte de los recursos, la autoridad de aplicación, y los instrumentos para el cumplimiento del objeto.
La ley establece la escala de crecimiento de la generación de energía eléctrica a partir de las energías renovables, los generadores que quedan exceptuados del crecimiento, la penalidad por el incumplimiento.
Adicionalmente establece los incrementos fiscales que podrán aplicar a los precios, el régimen de importaciones de equipos y partes de los sistemas y cuestiones de operativas técnicas referidas al tratamiento de generaciones intermitentes,
En lo referente a la ley 27424, esta ley es la conocida como ley de generación distribuida, específicamente “Ley de Fomento a la generación distribuida de energía renovable integrada a la red eléctrica pública”.
Esta ley fue aprobada en Noviembre del año 2017, y reglamentada en Noviembre del año 2018.
En el Capítulo I define objetivos, conceptos, derechos y requerimientos de los usuarios.
La ley tiene por objeto fijar las políticas y establecer las condiciones jurídicas y contractuales para la generación de energía eléctrica de origen renovable por parte de usuarios de la red de distribución, para su autoconsumo, con eventual inyección de excedentes a la red, y establecer la obligación de los prestadores del servicio público de distribución de facilitar dicha inyección, asegurando el libre acceso a la red de distribución, sin perjuicio de las facultades propias de las provincias.
Define conceptos técnicos a aplicar como por ejemplo Balance Neto de la facturación, Energía demandada, Energía inyectada, los organismos de regulación, control, los prestadores, los equipos de generación, los de medición, los tipos de energía, el concepto de energía distribuida, prestador, usuario generador. Defines los derechos del usuarios, los requerimientos al usuario.
En el Capítulo II, se establecen las autorizaciones necesarias para la conexión al sistema, y el procedimiento básico para realizarla.
En el Capítulo III, se describe el esquema de facturación, los requerimientos necesarios para el mismo, el tiempo máximo de liquidación por parte del distribuidor, el caso de consorcios, la metodología de acreditación.
En el Capítulo IV se definen las autoridades de aplicación competente para cada subsistema, las técnicas, las económicas, las financieras.
El Capítulo V crea el fondo fiduciario para la generación de energías renovables (FODIS), sus objetos, la autoridad de aplicación, su financiamiento, los instrumentos de aplicación.
El Capítulo VI define las promociones para incentivar este tipo de generación.
El Capítulo VII establece el régimen de fomento FANSIGED, establece los plazos de validez, su finalidad y financiamiento.
Por su parte, y previa a la ley Nacional de Generación distribuidas, y dada la necesidad existente, las siguientes provincias disponen de legislación y resoluciones: [13]

Santa Fe	Res. EPE 442/10/2013
Salta	Ley 7824/14 Res. 1315/14
Mendoza	Ley 7549/2006 Res. EPRE 019/2015
San Luis	Ley IX-0921-2014
Neuquén	Ley 9412/2016
Misiones	Ley XVI-N°118
Tucumán	P.L. 93/ 2016
Rio Negro	Res. EPE /2017

5. CONCLUSIONES.
Comparando la matriz energética argentina con los casos de países centrales e incluso países de América Latina como Brasil, Chile, México y Uruguay entre otros, es notorio el atraso en cuanto a la participación de las energías renovables en dicha matriz.

El potencial del recurso solar y la disponibilidad de vientos existentes en el territorio argentino junto con el fuerte consenso en apoyar y fomentar proyectos de inversión que contribuyan a disminuir los efectos adversos del cambio climático, impulsaron la implementación de políticas públicas dentro de las que podemos mencionar la Ley 26.190 (Régimen de fomento al uso de fuentes renovables), su continuidad en la Ley 27.191, la Ley 27.424 (Generación distribuida) y los diversos Programas implementados desde el año 2000 en adelante entre ellos PERMER, GENREN y RenovAr generaron un cambio de tendencia en la proporción con la que participan las energías renovables en la composición de dicha matriz.
La implementación del PERMER registra una gran participación de sistemas de generación solar fotovoltaica, en ellos encontramos una alta proporción de componentes importados, debido a que las celdas, si bien son ensambladas por empresas argentinas, son producidas en Asia debido a la economía de escala.
Otros programas de escala mayor, como el GENREN y el RenovAr, propendieron a la instalación de centrales de alta potencia de fuentes renovables que hicieron aumentar notoriamente la capacidad de generación fotovoltaica en la Argentina.
Las leyes mencionadas están aportando al desarrollo de la generación de electricidad a partir de fuentes renovables y a la vez contribuyeron con herramientas que fomentan la industria nacional del sector. Igualmente importante será el monitoreo de la evolución de dicho sector para acompañar su desarrollo procurando disminuir la proporción de componentes importados. En ese sentido puede destacarse la iniciativa de la provincia de San Juan al crear una empresa (EPSE) que será la primera en fabricar paneles solares íntegramente argentinos.

6. REFERENCIAS.

[1] Becquerel, A. E. (1839). *"Mémoire sur les effets électriques produits sous linfluence des rayons solaires". ".* Comptes Rendus 9, 561-567.

[2] Plá, Juan; Perez, M. D.; Durán, J. C.. (2016).). "Energía solar fotovoltaica", Capítulo 1 del libro "Energía Solar". Ed. M.A.Laborde y R.J.J.Williams, 1ª edición especial CABA. ANCEFN (Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales).

[3] Moragues, Jaime, A. (2017). "¿Cómo fueron las políticas nacionales en energías renovables de los últimos 40 años?". *Energía Estratégica.* https://iresud.com.ar/como-fueron-las-politicas-nacionales-en-energias-renovables-de-los-ultimos-40-anos/#

[4] Secretaría de Ciencia y Técnica. (1988). *Programa Nacional de Invetigaciones en Energía no Convencional – Resúmenes de Proyectos 1985-1988*. Buenos Aires. Primera edición. Editorial SeCyT. Ciudad de Bs. As.

[5] Moragues, Jaime, A. (2018). "Presente y Futuro de las Energías Renovables no Convencionales". *Revista Ciencia e Investigación - Asociación Argentina para el Progreso de las Ciencias. Tomo 68 número 1, páginas 5 a 28*. *http://aargentinapciencias.org/wp-content/uploads/2018/03/tomo68-1/1-Moragues-cei68-1-2.pdf*

[6] Di Caro, Carlos, A.; Perahia, Raquel; Arbore, Luciano. (2017). "Proyecto de energías renovables en mercados rurales". *Revista Argentina de Ingeniería. Año 5, Volumen9, páginas 52 a 65.*

[7] MINEM (2019). "PERMER, Proyecto de Energías Renovables en Mercados Rurales". https://scripts.minem.gob.ar/octopus/archivos.php?file=8005

[8] Fernández, C. (2010). "Energías renovables en Argentina: el caso de la energía eólica y sus avances en materia regulatoria". XVI Jornadas de Epistemología de las Ciencias Económicas, vol. 8. UBA: Buenos Aires.

[9] Boyadjian, C. (2013). "¿GENREN fracasó? Pobre performance del plan de ENARSA". Mining Press, http://www.miningpress.com/nota/249058/genren-fracas-pobre-performance-del-plan-de-enarsa

[10] Fenés, G. (2016). "El acto de presentación de las ofertas de la licitación de energías renovables". Energía Estratégica. Recuperado de http://www.energiaestrategica.com/el-acto-de-presentacion-de-las-ofertas-de-la-licitacion-de-energias-renovables/

[11] KPMG. (2018). "Efectos de la implementación de RenovAr". *Evolución de las energías renovables en Argentina. Energía y Recursos Naturales.* https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/ar/pdf/kpmg-informe-especial-situacion-de-las-energias-renovables.pdf

[12] MINEM. (2017). "Ofertas Adjudicadas RenovAr-Ronda 2". *Boletín Subsecretaría de Recursos Renovables*. Ciudad de Buenos Aires.

[13] Plá, Juan, A.; Bolzi, C.; Durán, J. C. (2018). "Energía Solar Fotovoltaica. Generación Distribuida Conectada a la Red". *Revista Ciencia e Investigación - Asociación Argentina para el Progreso de las Ciencias. Tomo 68 número 1, páginas 51 a 64*.

Ejes para el Desarrollo de la Trama Productiva de Equipamiento Eólico de Alta Potencia

Neuman, Marcelo*, Malco Jorge, Nicolini Jorge

Instituto de Industria, Universidad Nacional de General Sarmiento, mneuman@campus.ungs.edu.ar

RESUMEN

El estudio busca identificar ejes para el desarrollo de la industria nacional de equipamiento y componentes para generadores de energía eólica de alta potencia. Se presentan los avances y primeras conclusiones del proyecto de investigación iniciado en el año 2018 referido a: Estrategias para el Desarrollo de la Trama Productiva de Equipamiento Eólico de Alta Potencia. El proyecto se realiza entre la Universidad Nacional de General Sarmiento y la Cámara de Industriales de Proyectos de Ingeniería y de Bienes de Capital de la República Argentina (CIPIBIC) que agrupa las empresas de capital nacional fabricantes de equipamiento eólico de alta potencia y solar fotovoltaico, entre otras empresas industriales. Dentro de CIPIBIC se encuentra el Clúster Eólico Nacional que congrega a las empresas que se dedican a la ingeniería y fabricación de equipos eólicos.Se ha optado por una metodología de investigación cualitativa instrumentada a través de entrevistas en profundidad con los distintos grupos de interés, básicamente fabricantes, desarrolladores y sus asociaciones, representantes del gobierno en el poder ejecutivo y legislativo, asociaciones civiles y de estudio en la temática y organismos técnicos vinculados.

Palabras Claves: Energía eólica, Marcos regulatorios, Cadena de Valor,

ABSTRACT

The study seeks to identify guidelines for the development of local wind power generators and their components for the wind energy industry. Preliminary conclusions of the research project initiated in 2018 are presented, referring to strategies for the development of wind energy equipment.
The research project is developed by the National University of General Sarmiento and the Chamber of Industrial Projects of Engineering and Capital Goods of Argentina (CIPIBIC), which groups local wind equipment manufacturing companies, among others companies. Within CIPIBIC is the National Wind Cluster that brings together companies that focus on the design and manufacturing of wind energy equipment. The research team opted for a qualitative research methodology implemented through in-depth interviews with stakeholders, manufacturers, developers and their associations, government representatives in the executive and legislative branches, civil associations and related technical bodies.

1. INTRODUCCION

Los objetivos específicos del proyecto de investigación son:
a) Profundizar el estudio de los antecedentes y trabajos previos disponibles y relacionados con el tema a nivel nacional e internacional, incluyendo también aspectos técnicos relevantes del equipamiento de los aerogeneradores y su cadena de valor.
b) Profundizar el análisis del Plan RenovAr y su impacto en el desarrollo de la industria local.
c) Identificar y generar los contactos y accesos a los distintos grupos de participantes que puedan contribuir al desarrollo del proyecto de investigación.
d) Realizar entrevistas en profundidad con los distintos grupos de interés / participantes: empresas fabricantes de equipamiento y desarrolladores de parques eólicos de alta potencia, asociaciones empresarias, autoridades del Poder Ejecutivo y Legislativo, asociaciones civiles e institutos de estudio de la temática y organismos de investigación y certificación.
e) Identificar las herramientas de políticas vigentes más relevantes que promuevan el proceso de sustitución de importaciones, las inversiones y el agregado de valor.
f) Identificar ejes de política pública que ayuden a fomentar la tecnología local.

2. LA EXPERIENCIA INTERNACIONAL

En un estudio realizado por el *International Renewal Energy Agency* (IRENA) [1] se comenta que cada país posee un conjunto diferente de recursos naturales, distintos sistemas eléctricos de potencia, diferentes economías, regulaciones y normativas de planificación, y distintos requerimientos de desarrollo. Y que, en este sentido, está claro que no hay un único método que sirva para todos de manera de maximizar la contribución del viento de la forma más eficiente y económica. Sin embargo, el documento sostiene que, desde la perspectiva industrial hay un conjunto de condiciones que deben ser cumplidas para atraer a las inversiones, aun cuando estas puedan ser alcanzadas de distintas maneras. Las dos más importantes de estas son: una clara señal por parte del gobierno, acerca de la intención de desarrollar la energía eólica, y la claridad y estabilidad del marco político y regulatorio a través del cual los fabricantes, los desarrolladores de proyectos, los operadores de los sistemas, los generadores y los inversores deben operar. Si estas condiciones son suficientes, luego la mayoría de las restantes se acomodarán en su lugar; si estas condiciones no existen, entonces el camino será dificultoso.
El documento de IRENA analiza y reúne las experiencias de 12 países en su camino para desarrollar la explotación de la energía eólica. El objetivo del reporte es proveer un análisis de las fortalezas del diseño de políticas decisoras, a través de los importantes mercados existentes. A su vez identifica y revisa políticas y medidas regulatorias significativas que contribuyeron al desarrollo exitoso de la energía eólica a través de los más importantes mercados en Asia, Europa, América del Norte y América del Sur. La lista de los países estudiados la constituyen Brasil, China, Dinamarca, Alemania, Grecia, India, Irlanda, Italia, Portugal, España, Reino Unido y Estados Unidos.
El informe aclara que la perspectiva de la industria es importante para este ejercicio. El reporte fue desarrollado en conjunto con el Concilio Global de Energía Eólica (de las siglas en inglés GWEC), la Organización Internacional de intercambio para la industria de la energía eólica. Esta Organización está conformada por más de 1500 empresas, organizaciones e instituciones de más de 70 países, incluyendo fabricantes, desarrolladores, proveedores de componentes, institutos de investigación, asociaciones nacionales de energías eólicas y renovables en general, y compañías financieras y de seguros.
La estructura del análisis se basa en que el marco político y regulatorio trata de encontrar un balance entre las necesidades del país para i) la seguridad energética, ii) las oportunidades de crecimiento económico y iii) el impacto en el medio ambiente y costos de todos los tipos seleccionados. Este análisis se origina en el estudio, a través de 30 años de experiencia, de los aspectos fundamentales del crecimiento basado en las políticas, las condiciones de implementación, y una estructura propia para generar un marco común de estudio de los distintos casos. Dentro de las condiciones generales de implementación, el informe menciona siete criterios particulares mencionados como críticos para el desarrollo de la energía eólica. Estos siete criterios se enuncian a continuación:

1. Expresión del compromiso político del gobierno.
2. Estado de derecho eficaz y transparente, como así también su proceso de administración.
3. Estructura de precios clara y eficaz; y un sector financiero en funcionamiento.
4. Acceso a la red, con precisiones para el acceso prioritario a la red eléctrica y disponibilidad de conexión y facilidad de acceso a la red para los parques eólicos y solares.
5. Estrategia de gobierno dirigida a la industria y a los usuarios para la aceptación pública y la toma de conciencia.
6. Estrategia de desarrollo industrial y empleo.
7. Sector financiero en funcionamiento.

El trabajo luego describe algunos de los elementos comunes que se encontraron en la mayoría de los mercados. Por ejemplo, en once de los doce casos estudiados los gobiernos identificaron objetivos nacionales y establecieron planes para energías renovables. Esto fue importante durante el proceso de sensibilización y una fuerte señal de largo plazo para los inversores. También comenta que en varias oportunidades fue necesario sostener las fuentes de energía renovable a través de incentivos o subsidios, pero que de ningún modo esta condición es suficiente. En algunos casos se crearon ministerios específicos para energías renovables (por ejemplo, en Alemania el BMU o en India el MNRE), y fueron los responsables de delinear la legislación, tomando el rol de interlocutor con los otros ministerios y departamentos en cuestiones de energías renovables. Describe que la sensibilidad social y el involucramiento de las comunidades generalmente resulta un factor exitoso en la etapa de desarrollo del plan.
Aclara también, que se observaron diversas estrategias para la creación de valor local, como por ejemplo incentivos impositivos en Dinamarca, programas estatales de I + D (en Alemania e India, con acuerdos con Dinamarca), que estimularon el desarrollo y demanda de tecnologías en energías renovables, durante la iniciación de los procesos. En períodos posteriores, con la tecnología más madura, en otros países como China, Brasil, Portugal y España, se usaron combinaciones de incentivos de mercado con requerimientos de contenido local. En este sentido es importante aclarar que mercados como el brasilero requiere en forma reiterada la integración de fabricación y soporte local en este tipo de implementaciones tecnológicas. El principal propósito de desarrollar la capacidad de fabricación es la de maximizar el beneficio local, asegurando precios razonables, lo cual requiere cierto nivel de competitividad. Para ser exitosos en la creación de una cadena de valor local, la demanda regional y las oportunidades de crecimiento deben ser grandes y relativamente estables para asegurar un suministro sostenido de partes y equipamiento de producción nacional.
El informe analiza las distintas regiones geográficas del mundo. En la parte sobre Latinoamérica manifiesta que Brasil lidera este mercado en energías renovables. Agrega que Argentina instaló en el año 2011 79 MW, que representaba la duplicación de la capacidad instalada para ese entonces. Con sus excelentes recursos eólicos, Argentina podría constituirse en un gran mercado.

3. ENERGÍA EÓLICA DE ALTA POTENCIA EN ARGENTINA

El desarrollo de la energía eólica de alta potencia puede explicarse a partir del marco regulatorio aplicado sobre las energías renovables en Argentina. Se identifican tres periodos donde intervienen diferentes marcos normativos con resultados diversos respecto a las inversiones y los logros productivos y tecnológicos.

3.1 Período 1994 – 2002

A partir de la instalación del primer parque eólico ubicado en Comodoro Rivadavia (Chubut) en el año 1994, el primer régimen nacional para energía eólica y solar fue establecido por la ley Nº 25019 en el año 1998 donde se estimulaba la generación de energías renovables asegurando un precio en Kwh de energía eólica y solar por encima al existente en el mercado por un determinado período (*feed in tariff*). Se utilizaban adicionalmente instrumentos de política fiscal, como por ejemplo la posibilidad de diferir por un periodo de 15 años las sumas correspondientes al Impuesto al Valor Agregado (IVA) sobre las inversiones de capital.
Sin embargo, esta ley no dio los resultados esperados. En el periodo 1994/2002 las inversiones resultaron en una capacidad instalada de 28,88 MW eólicos, además la mayoría de las instalaciones no entraron formalmente al sistema interconectado, sino que destinaban la electricidad generada a la red de distribución local. Los incentivos otorgados por la regulación no mejoraban la competitividad de las centrales para vender la energía al Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) [2]. Las inversiones realizadas se concentraron en general sobre proyectos pequeños (una cantidad de 45 aerogeneradores en total, con una potencia media de 0.63 MW en cada equipo) operados por cooperativas eléctricas en cinco provincias. Todos los equipos instalados fueron de origen extranjero [3].

3.2 Período 2008 – 2016

Uno de los intentos para lograr una diversificación en la matriz energética fue el lanzamiento del Plan Estratégico Nacional de Energía Eólica en el año 2005, cuyo objetivo fue impulsar el desarrollo de infraestructura de generación eléctrica del país a partir de la energía eólica y promover la producción industrial argentina. Este Plan incluía la confección de un mapa Eólico Nacional y la instalación de 300 MW de potencia en diversos puntos del territorio argentino para el año 2012. Desde el aspecto legislativo, en diciembre del año 2006 se sancionó la Ley Nº 26.190 “Régimen de Fomento Nacional para el Uso de Fuentes Renovables de Energía Destinadas a la Producción de Energía Eléctrica”.
Esta Ley declaró de interés nacional la generación de energía eléctrica a partir del uso de fuentes renovables, y estableció como objetivo alcanzar una contribución del 8% del consumo de

electricidad nacional para que sea abastecido por energías renovables en un plazo de diez años a partir de su vigencia. En el marco del régimen de inversiones, daba prioridad para aquellos proyectos que favorecieran la creación de empleo y una integración con bienes de capital de origen nacional. La ley trató de mejorar los instrumentos de promoción establecidos en la ley anterior pero el atraso de su reglamentación fue un obstáculo importante para el sistema de incentivos, dado que la ley se reglamentó casi tres años después mediante el Decreto Nº 562 del año 2009 [4].

Para generar un nuevo impulso a las energías renovables el entonces Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios formalizó el programa GENREN (Generación Eléctrica a partir de Energías Renovables) instruyendo a ENARSA (Energía Argentina S.A.), creada bajo la forma jurídica de una sociedad privada estatal, a que llevara adelante la licitación, adjudicaba los proyectos y adquiriera la energía generada por el programa. En los hechos, actuaba como un intermediario entre las empresas de generación y el comprador final, CAMMESA. La licitación tenía como objetivo cumplir con la meta del 8% del consumo total de energías renovables antes del año 2016 según la Ley Nº 26190. Para el caso de la energía eólica, la potencia a contratar según el pliego fue de 500 MW, de un total licitado de 1.015 MW entre todas las fuentes renovables.

El sistema propuesto fue el de subastas, por el cual a las ofertas más convenientes en cuanto a precio por MWh generado y que cumplieran con los requisitos técnicos especificados en la licitación, se les adjudicaría un contrato de compra de toda la energía producida por un período de 15 años. Todas las centrales debían ser instaladas en el sistema interconectado y los módulos en conjunto debían tener una potencia de 1 MW a 50 MW. Uno de los puntos importantes para la evaluación de las ofertas fue que los equipos y materiales que formasen parte de las centrales generadoras debían ser mayormente fabricados o ensamblados en el país, conforme a los criterios del Régimen de Compre Trabajo Argentino. El incumplimiento del porcentaje del componente local de la obra denunciado, sería plausible de una penalidad de 50 mil dólares por cada MW ofertado, multiplicado por el porcentaje de desviación, o en su caso la rescisión del contrato según el grado de incumplimiento evidenciado [4].

Sobre 500 MW licitados en energía eólica, hubo una oferta de 1.000 MW. En julio del 2010 se publicó el resultado de la licitación, de la cual resultó que se adjudicaron 754 MW en energía eólica, lo que implicaba el 80% del total de energía licitada. Sin embargo las inversiones reales que se dieron a partir de la licitación GENREN fueron de 128,5 MW, tan solo el 17% del total aprobado. Como contrapartida se registraron otras inversiones no contempladas en el Programa GENREN de 70 MW y donde hubo una importante participación del Estado nacional a través de ENARSA y de los estados provinciales. Estas inversiones fueron realizadas a partir de la Resolución Nº108/2011 de la Secretaría de Energía que habilitó a CAMMESA a contraer nuevos contratos de abastecimiento [5].

En este período intervinieron dos fabricantes nacionales (IMPSA y NRG Patagonia) quienes con la colaboración de ENARSA y de gobiernos provinciales instalaron sus equipos en parques eólicos situados en las provincias de La Rioja, Santiago del Estero y Chubut. La fabricación nacional de aerogeneradores implicó una potencia instalada de 61.4MW distribuidos en treinta generadores. Los proyectos comprendidos en el programa GENREN fueron de mayor envergadura que en el período anterior con una potencia media del aerogenerador de 2 MW. Sin embargo, de todos los proyectos aprobados en la licitación solo iniciaron operaciones dos parques eólicos con 130 MW de potencia instalada. Otros siete parques (445 MW) interrumpieron sus obras con el objeto de firmar el contrato de venta de energía con CAMMESA con el nuevo marco regulatorio en el tercer período que se comenta a continuación.

En el año 2013, el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva ofreció un esquema de apoyo específico para el sector eólico que también proveía financiamiento: “FITS 2013 Energía – Desarrollo y Fabricación de Aerogeneradores de Alta Potencia” con la financiación de seis consorcios público - privados con el objetivo de desarrollar capacidades de fabricación y mejoras en los procesos

de producción de aerogeneradores. Esta política tecnológica fue un hito muy interesante, dado que se trataba de desarrollar capacidades tecnológicas autóctonas en un sector de conocimiento intensivo. Los resultados obtenidos por esta política fueron parcialmente aprovechados en el período siguiente.

Como resumen de ambos períodos la potencia instalada total fue de 226.2 MW con 143 aerogeneradores. A diciembre de 2017 se contabilizaban 33 aerogeneradores (33 MW) fuera de servicio [6].

3.3. Período 2016 – Actualidad – Programa RenovAr

El Régimen de Fomento para el Uso de Fuentes Renovables de Energía Destinada a la Producción de Energía Eléctrica se puso en marcha con la Ley 26190, pero tuvo su impulso definitivo con la Ley 27191/2015, en la que se establece el objetivo de que el 20% de la energía

eléctrica consumida en el país proviniera de energías renovables para el año 2025, dando lugar a las sucesivas licitaciones del Programa RenovAr, que actualmente son el principal instrumento de fomento de las energías renovables.
El programa RenovAr se inició en junio de 2016 por la Dirección Nacional de Promoción de Energías Renovables del Ministerio de Energía y Minería (MEyM). Este programa es el resultado de un conjunto de normativas en las que se viene trabajando desde el año 2006 cuando se promulgó el Régimen de Fomento Nacional para el uso de fuentes renovables de energía destinada a la producción de energía eléctrica. Desde princípios de 2016, se llevaron a cabo cuatro rondas licitatorias del Programa RenovAr (Ronda 1, Ronda 1,5, Ronda 2 y Ronda 3 o MiniRen). Se readecuaron contratos (Resolución 202/2016) que habían tenido dificultades de financiamiento durante el marco normativo en la administración anterior y no se habían construido, y además se puso en marcha un marco regulatorio específico para la contratación de energía eléctrica de fuentes renovables entre grandes usuarios industriales y comerciales y generadores y comercializadores denominado Mercado a Término (MATER).
La siguiente tabla 1 sintetiza la potencia adjudicada hasta septiembre de 2018 según los distintos marcos normativos, se excluye la reciente adjudicación en la ronda RenovAr 3 – MiniRen que se comenta a continuación.

Tabla 1. *Potencia adjudicada en Energía Eólica a Septiembre 2018. [7]*

	Potencia Adjudicada o Asignada (MW)	***PROYECTOS: ENERGIA EOLICA***		
		TOTAL	***EN OPERACIÓN***	***EN CONSTRUCCIÓN***
RONDA 1	707	12	2	5
RONDA 1.5	765	10	-	8
RONDA 2	993	12	-	1
Resolución 202/2016	445	7	-	7
MATER	877*	22	1	9
TOTAL	3787	63	3	30

** Se adiciona lo adjudicado en septiembre de 2018.*

En Septiembre de 2018, la Subsecretaria de Energías Renovables presenta la Ronda 3 del programa RenovAr conocida como MiniRen que ofrece 400 MW de potencia en todo el país, para ser conectados en redes de media tensión de 13,2 kV, 33 kV y 66 kV. La potencia máxima permitida por proyecto será de 10 MW, mientras que la mínima de 0,5 MW. La distribución por tecnología será de 350 MW para eólica y solar fotovoltaica, que competirán juntas con cupos por regiones y provincias. El cronograma de la Ronda 3 comenzó en octubre del año 2018 con la publicación de los pliegos, y continuó en marzo 2019 con el período de presentación de ofertas, el proceso de calificación, adjudicación y firma de contratos en agosto de 2019. En total se adjudicaron 38 proyectos con una potencia de 259 MW, en tecnología eólica fueron adjudicados 10 proyectos con un total de 128,7 MW.
El régimen MATER, tiene como objetivo reglamentar un mecanismo de compra de energía eléctrica que permita la adquisición de energía por libre acuerdo entre las partes, para que los Grandes Usuarios del Mercado Eléctrico Mayorista, con demandas de potencia iguales o mayores a 300 kW, tengan una alternativa para adecuarse a la Ley 27.191 por cuenta propia y no necesariamente como parte de la compra conjunta, instrumentada en el Programa RenovAr [7].
Las primeras licitaciones y los resultados obtenidos del plan RenovAr muestran que el proceso está marcando un antes y un después en el sector, ya que si todos los proyectos presentados se realizan efectivamente, para el año 2019 se contaría con 2,4 GW de potencia instalada, multiplicando por 10 la capacidad de generación preexistente. Además, en las sucesivas rondas se busca incrementar a lo largo del tiempo el porcentaje nacional de partes y piezas que componen el aerogenerador, comenzando por aquellas de menor sofisticación tecnológica como las torres eólicas. No hubo presentaciones de fabricantes locales de aerogeneradores siendo la empresa Vestas (Dinamarca) la que más equipos vendió en las rondas licitadas [5].

4. LA INTEGRACIÓN DE PROVEEDORES LOCALES A LA CADENA DE VALOR DE LA ENERGÍA EÓLICA DE ALTA POTENCIA

La participación de empresas líderes globales en el ensamble de aerogeneradores en las licitaciones de RenovAr permitieron integrar en parte una cadena de valor eólica con la participación de algunos proveedores locales. La energía eólica experimenta una expansión global y la mayoría de los fabricantes se han expandido a nuevos mercados [8]. Las empresas europeas Vestas, Enercon, Siemens, Gamesa y Nordex han aumentado el número de mercados atendidos siendo uno de ellos el de la Argentina. Los fabricantes de aerogeneradores se constituyen así en el principal eslabón de la cadena y pueden traccionar y activar toda una cadena de proveedores especializados.

4.1 Segmentación de la Cadena de Valor de un Parque Eólico

Las etapas que intervienen en un proyecto de parque eólico pueden clasificarse en tres fases distintivas: Desarrollo del proyecto, Instalación y Operación del parque (Figura 1).

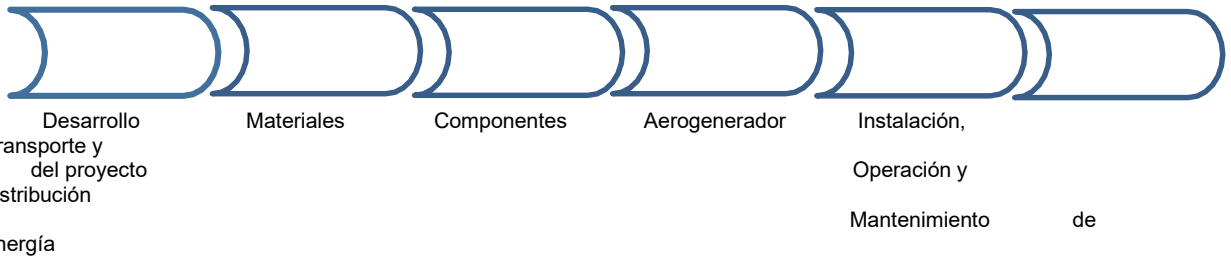


Figura 1 *Cadena de valor de un generador eólico (adaptado de [9])*

Los proyectos incluyen dos elementos principales: los aerogeneradores, que generalmente son suministrados por el fabricante conocido también como OEM (*Original Equipment Manufacturer* – fabricante del equipo original) y el denominado balance de planta (BOP – Balance of Plant) que incluye a toda la infraestructura requerida para el funcionamiento del parque, como obras civiles, fundaciones y equipos necesarios para la conexión a la red eléctrica, tales como: transformadores, subestación, líneas de media/alta tensión hasta el punto de conexión a la red de energía eléctrica. El balance de planta es provisto por compañías muy diversas, incluyendo a consultores, constructoras, fabricantes de equipamiento eléctrico y otras [8]. Los servicios asociados al desarrollo del proyecto eólico comprenden la selección del emplazamiento y la identificación del recurso eólico. Otras actividades se corresponden con los aspectos legales referidos al arrendamiento de la tierra y el conocimiento y acuerdo con las disposiciones provinciales y nacionales vigentes.

El aerogenerador es considerado el elemento crítico del sistema, pues representa generalmente más del 60% de la inversión de un parque eólico y comprende el suministro de materiales, fabricación de componentes, subcomponentes, ensamble y montaje del equipo como una unidad dentro del grupo de aerogeneradores que integran el parque eólico. Constituye una cadena de valor por si misma por la complejidad que representa y la cantidad de partes que lo integran. Cada componente del aerogenerador presenta características y desafíos tecnológicos específicos, así la gestión de la cadena de valor es clave para la fabricación del equipo. Las relaciones entre los OEMs y sus proveedores son cruciales ya que la mayor demanda ha requerido tiempos de producción y de entrega más rápidos con mayores inversiones en un sector en rápido crecimiento. Los fabricantes tratan de lograr el equilibrio más sostenible y competitivo entre una integración vertical del suministro de componentes y la externalización de componentes para adaptar sus diseños de aerogeneradores.

Estas tendencias de adquisición dan lugar a estructuras de mercado únicas para cada segmento de componentes, lo que subraya la complejidad del diseño y la fabricación de los aerogeneradores. Los OEMs, son el último eslabón de la cadena de valor del aerogenerador y los productores finales de las marcas que representan, en consecuencia son las empresas líderes que desempeñan el rol central en la coordinación de las redes de producción (incluyendo sus vinculaciones hacia atrás y hacia delante de la cadena). Esta descripción es característica de las industrias de capital y de tecnologías intensivas tales como la energía eólica de alta potencia [10]. El fabricante de aerogeneradores, o tecnólogo, dispone de la capacidad técnica para realizar internamente el diseño y desarrollo del producto, ejerce el control sobre la integración de los componentes, el funcionamiento y rendimiento del aerogenerador [11]. Establecen relaciones con proveedores a diferentes niveles, los proveedores de nivel 1 son productores de sistemas que se incorporan en el bien final, como por ejemplo el generador, inversor, la caja multiplicadora y los equipos de control electrónico. Los proveedores de nivel 2 son fabricantes de componentes principales, como palas, góndolas, ejes y bujes y transformadores. Los proveedores de nivel 3 fabrican componentes genéricos, como las torres en el sector eólico. Los fabricantes de nivel 4, por su parte, proveen materiales, como metal para forja y fundición, materiales plástico, o componentes genéricos para equipos eléctricos.

Según IRENA Wind [12] se identifican a algunos componentes como críticos en la cadena de suministros como el rotor, palas, rodamientos y la caja multiplicadora. Estos componentes tienen altas barreras de entrada por el tamaño de la inversión requerida y los tiempos de entrega solicitados por el fabricante. Así, el *know-how* tecnológico que implica la fabricación de estos componentes hace que su fabricación sea considerada como estratégica. Por ello, estos componentes se producen en las instalaciones de la empresa OEM o se subcontratan a proveedores altamente especializados. Al mismo tiempo, otros componentes como sistemas de control, generadores, fundiciones y fabricantes de torres tienen barreras de entrada más bajas, con un mayor número de proveedores. La fundición, forja y otros procesos básicos de manufactura

normalmente se subcontratan a múltiples proveedores. Estos proveedores en muchos casos trabajan también para otras industrias.
La etapa de transporte de los diferentes componentes que integran el aerogenerador hasta el emplazamiento del parque eólico para su ensamble final y montaje representa por su lado un desafío logístico ya que requiere el movimiento de piezas con formas especiales, superficies, volúmenes y peso importantes. Generalmente la góndola, las palas y la torre de la turbina se transportan desde la planta de fabricación directamente al sitio de construcción del parque eólico. La conexión a la red de la turbina eólica requiere de instalaciones adicionales como la subestación colectora y líneas de media y alta tensión hasta el punto de conexión. Las actividades de operación y mantenimiento se prolongan a lo largo de todo el ciclo de vida útil del parque eólico. El mantenimiento incluye el mantenimiento preventivo y predictivo, y se corresponde con la planificación de los servicios de prevención (inspecciones periódicas de los equipos, calibración de los sensores electrónicos, limpiezas de palas) así como los servicios orientados a reparar el mal funcionamiento de los componentes donde algunos de ellos como el generador y la caja de multiplicadora pueden presentar fallas en su funcionamiento, no frecuentes pero costosas para su reparación

4.2 Proveedores Nacionales en la Cadena de Valor

Distintos factores tecnológicos y/o económicos pueden incidir en las decisiones de las empresas respecto a si les conviene producir determinados productos dentro de la organización o si los deben comprar de otras empresas. Una decisión subsiguiente es la posibilidad de subcontratar la producción de estos productos a empresas localizadas dentro o fuera del país.
En el caso de la energía eólica, el fabricante danés Vestas expresa la necesidad de localización en los mercados objetivo como el de Argentina: “la presencia local y el abastecimiento local son de gran importancia, ya sea por la proximidad a los clientes, la rentabilidad o el cumplimiento del contenido local como requisitos en la fabricación" [8]. De esta manera, empresas de diferentes tamaños, generalmente PyMEs, localizadas en distintos países intervienen en el suministro de partes o componentes del producto final, se posicionan en distintos niveles dentro de la cadena de valor y mantienen diferentes tipos de relaciones con la empresa líder. Estas relaciones determinan las posibles áreas de innovación y mejora para estas organizaciones.
La Argentina tiene un interesante recorrido en energía eólica a partir de los molinos de agua instalados en zonas rurales. En el año 1994 se instala el primer parque eólico ubicado en Comodoro Rivadavia (Chubut). Las diferentes incorporaciones de potencia se dieron bajo marcos regulatorios diferentes hasta la Ley 27191 del año 2015 vigente en la actualidad. El Programa GENREN (Generación Eléctrica a partir de Fuentes Renovables) del año 2009 licitó una potencia de 500 MW en energía eólica y un aspecto importante para la evaluación de las ofertas fue que los equipos y materiales debían ser en su mayoría fabricados y/o ensamblados localmente. En este período se desarrollaron dos fabricantes nacionales de aerogeneradores, IMPSA S.A. y NRG Patagonia, de los cuales IMPSA S.A. fue el fabricante nacional de mayor envergadura con experiencia en instalaciones eólicas en Argentina, Brasil, Venezuela y Uruguay.
Con el auspicio de la Cámara de Industriales de Proyectos e Ingeniería de Bienes de Capital de la República Argentina (CIPIBIC), quedó constituido el *Cluster* Eólico Argentino” (CEA) en el año 2011 con el objetivo de integrar y fortalecer aquellas empresas participantes de la fabricación de equipamiento eólico en el país. Otra iniciativa fue la convocatoria del año 2013 a proyectos para el sector eólico efectuada por la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica a través del FONARSEC (Fondo Argentino Sectorial) como instrumento central para la implementación de una nueva generación de políticas públicas y poder fortalecer la vinculación entre el sector científico y tecnológico con el sector productivo. En los seis proyectos presentados participaron empresas nacionales como IMPSA, NRG Patagonia, SICA Metalúrgica Argentina y Metalúrgica Calviño que junto con diferentes organismos públicos nacionales como el INTI, Ministerio de Energía de Mendoza y varias Universidades emprendieron actividades de mejora de los procesos productivos de las firmas.
IMPSA posteriormente enfrentó problemas financieros que frenaron su sendero de desarrollo e impidieron su participación en el Programa RenovAr aunque se encuentra terminando actualmente la fabricación de aerogeneradores comprometidos en Parque Arauco (La Rioja). NRG Patagonia tampoco pudo competir en el nuevo programa al no tener financiamiento y así poder reducir el costo del proyecto [13].
El contenido local de componentes requerido para poder participar en las licitaciones de RenovAr así como la trayectoria de las empresas integrantes del *Cluster* Eólico Argentino permitió la calificación y homologación de varias empresas nacionales para insertarse a una cadena global de energía eólica entre ellas fabricantes de torres como SICA y Calviño. Además se instalaron plantas de ensamble de góndolas y bujes por parte de la empresa Vestas en conjunto con la empresa argentina Newsan en Zárate y de la empresa alemana Nordex Acciona en conjunto dentro de FADEA, la fábrica militar de aviones en la provincia de Córdoba.

También se han realizado asociaciones de empresas nacionales con empresas multinacionales para la fabricación de torres como son el caso de Metalúrgica Calviño con Gestamp Renewable Industries y de SICA Metalúrgica con Hayzea Wind, SICA es una empresa que desarrolló sus capacidades tecnológicas como proveedores de distintos equipos para la industria petrolera y gasífera que aún sigue proveyendo, Metalúrgica Calviño es una empresa que apalancó sus capacidades tecnológicas en el desarrollo y fabricación de equipos de elevación y estructuras metálicas pesadas y han trabajado en proyectos de centrales nucleares, hidroeléctricas y térmicas entre otros proyectos. Ambas empresas ya habían incursionados en el tema de la energía eólica antes de las rondas del Programa RenovAr y también habían participado del "FITS 2013 Energía – Desarrollo y Fabricación de Aerogeneradores de Alta Potencia", SICA para fabricar torres eólicas y Calviño para fabricar componentes de aerogeneradores. También como se mencionó previamente las empresas IMPSA y NRG Patagonia participaron en el FITS para desarrollar aerogeneradores y montar una fábrica de estos equipos en el caso de IMPSA.
Es de esperar que esta incipiente cadena de valor nacional pueda profundizarse exponiéndose e intensificando actividades basadas en el conocimiento y el valor agregado como parte de la expansión de energías renovables en el país, especialmente la eólica.

5. CONCLUSIONES

Se observa que hubo un principio de continuidad basada en los aprendizajes previos de las empresas nacionales para ingresar a la cadena de valor de la industria eólica generada a partir de la política pública implementada con la reglamentación en el año 2016 de la ley 27.191 del 2015 y el programa RenovAr, lo que se observa con las empresas SICA y Calviño. Sin embargo, el mayor tecnólogo nacional, IMPSA, no pudo aprovechar las rondas RenovAr para comercializar sus aerogeneradores que tenían una alta cantidad de componentes nacionales debido a sus dificultades financieras.
Diferentes representantes de la industria nacional indican que debido al marco normativo del Programa RenovAr y las sucesivas licitaciones, el rol de la industria local quedó relegado a ser proveedores de componentes y partes de baja complejidad tecnológica como es el caso de las torres y otros componentes que son posteriormente ensamblados por el tecnólogo extranjero y líder de la cadena global de valor [5,13].
Argentina tiene, a diferencia de otros países de América Latina, tecnología eólica propia a partir del desarrollo de aerogeneradores fabricados por IMPSA y NRG Patagonia que han sido certificados, homologados y en funcionamiento en parques eólicos. Una política industrial adecuada, vinculada con ciencia y tecnología, permitiría retomar y actualizar el sendero de desarrollo obtenido e impulsar nuevamente actividades intensivas en conocimiento.
Por otra parte el Programa RenovAr logró la instalación de dos tecnólogos de clase mundial y se va configurando una cadena de valor local que puede presentar oportunidades de progreso e intensificación en actividades con mayor valor agregado.
Las energías renovables representan actualmente el 6% de la generación de energía eléctrica en el país y la energía eólica es una de las más más relevantes, de allí la oportunidad de poder elaborar una combinación de políticas que promuevan el desarrollo tecnológico nacional y que permitan generar mayores inversiones de empresas extranjeras que ayuden a difundir conocimientos y promuevan transferencia tecnológica en áreas de vacancia en nuestra industria.
Seguramente también será necesario resolver aquellos cuellos de botella presentes en el transporte de energía ya que el sistema de interconexión argentino ha llegado a cierta saturación y que es necesario expandir para que las energías renovables y la eólica en particular sigan creciendo.

6. REFERENCIAS.

[1] IRENA (International Renewal Energy Agency) - GWEC (Global Wind Energy Council). (2012). "30 Years of Policies for Wind Energy – Lessons from 12 wind energy markets". Emiratos Árabes.

[2] Recalde, M. (2015). "Limitaciones para el desarrollo de energías renovables en Argentina". *Problemas del Desarrollo. 183, 46.* México.

[3] Fundación Bariloche. (2009): "Energías renovables. Diagnóstico, barreras y propuestas", *REEEP-Secretaría de Energía-FB*. Argentina

[4] Giralt, C. (2011). "Energía eólica en Argentina: un análisis económico del derecho", *Letras Verdes, 9, 64-66.* Argentina

[5] Aggio, C. Verre, V. Gatto, F. (2018). "Innovación y marcos regulatorios en energías renovables el caso de la energía eólica en la Argentina". CIECTI. Buenos Aires. Argentina.

[6] Agüero, J.P. (2017). "Estado eólico actual de la Argentina". *Presentación en Viento y Energía Agosto 2017. Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires* .Argentina

[7] EOS – Energía. (2018) "Estado de la industria eólica en Argentina. Avances y Perspectivas". *Publicación de Argentina Wind Power 2018 organizado por GWEC (Global Wind Energy Council).* Buenos Aires. Argentina.

[8] Lacal-Arántegui, R. (2018). "Globalization in the wind energy industry: contribution and economic impact of European companies". *Renewable Energy 134. 612 – 628. Elsevier Ltd*.

[9] Vieira de Souza, L. E., Cavalcante, A.M.G. (2016). "Concentrated Solar Power Deployment in Emerging Economies: The cases of China and Brazil". *Renewable and Sustainable Energy Reviews. 72. 1094-1103 Elsevier Ltd.*

[10] Ferrando, A. P. (2013) "Las Cadenas Globales de Valor, los Países en Desarrollo y sus PYMES". *Instituto de Estrategia Internacional (IEI). Buenos Aires. Cámara de Exportadores de la República Argentina (CERA).* Agentina.

[11] Gárriz –Larrea, F.J. (2013) " Modelos de cadena de suministros de aerogeneradores onshore". *Dyna Management. Rev. 3*. España.

[12] IRENA Wind. (2017. "Supply Chain Key to Delivery". Wind Energy, The Facts. https://www.wind-energy-the-facts.org/supply-chain-key-to-delivery.html

[13] Fabrizio, R. (2019). " Hay un camino clausurado para los fabricantes locales de aerogeneradores" . *TSS (Tecnología Sur Sur). Universidad Nacional de San Martín* http://www.unsam.edu.ar/tss/fabrizio-hay-un-camino-clausurado-para-los- fabricantes-locales-de-aerogeneradores/.

[14] Roger, D. (2017), "Propuesta para el desarrollo de la industria eólica argentina. Ecosistema competitivo para el desarrollo de la industria eólica", *CIPIBIC. Buenos Aires*, Argentina.

Aplicaciones de la optimización topológica en ingeniería mecánica

Mina, Hector*; Bailo, Alejandro; Giordano, Emanuel

**UTN Facultad Regional San Francisco (Córdoba)*
Avenida de la Universidad 501-2400 San Francisco (Córdoba)
hector.omar.mina@gmail.com

RESUMEN

En este trabajo se presenta una implementación de la técnica de optimización topológica (OT) aplicada al diseño de elementos mecánicos. La OT es un método numérico que ha captado el interés de ingenieros y científicos en los últimos años, pues permite la síntesis de estructuras con valores óptimos de uno o varios de sus parámetros físicos. La reducción de peso en estructuras mecánicas es importante por su impacto en el ahorro de energía al reducir la inercia en máquinas y vehículos, además de la posible reducción de costos de fabricación. El estudio realiza una optimización de la topología no paramétrica de piezas, a partir de un espacio de diseño, considerando todas las cargas, sujeciones y restricciones de fabricación aplicadas, buscando una nueva redistribución de materiales dentro de los límites máximos permitidos. El componente optimizado en este trabajo cumple todos los requisitos mecánicos y de fabricación requeridos. Se comienza con el objetivo de mayor rigidez por unidad de peso para obtener una forma inicial de dicho componente. Además del objetivo de optimización, se pueden definir restricciones de diseño para asegurarse de que se cumplan las propiedades mecánicas necesarias, tales como la desviación máxima, el porcentaje de masa eliminada y los procesos de fabricación.

Palabras clave: diseño mecánico, optimización topológica, reducción de peso.

ABSTRACT

This paper presents an implementation of the topology optimization method (OT) applied to the design of mechanical elements. OT is a mathematical method that has captured the interest of engineers and scientists in recent years, since it allows the synthesis of structures with optimal values of one or more of its physical parameters. The reduction of weight in mechanical structures is important for its impact on energy savings by reducing inertia in machines and vehicles, in addition to the possible reduction of manufacturing costs. The study performs an optimization of the non-parametric topology of parts, from a design space, considering all the loads, boundary conditions, constrain and manufacturing restrictions applied, looking for a new layout of materials within the maximum limits allowed. The optimized component in this work meets all the required mechanical and manufacturing requirements. It begins with the objective of greater stiffness per unit of weight to obtain an initial form of said component. In addition to the optimization goal, design restrictions can be defined to ensure that the necessary mechanical properties, such as maximum deviation, percentage of mass removed and manufacturing processes, are met.

1. INTRODUCCIÓN

Optimización topológica (OT) es un método matemático basado en elementos finitos que se encarga de distribuir la menor cantidad de masa de material dentro de un volumen disponible (dominio) procurando al mismo tiempo la máxima rigidez posible (o mínima flexibilidad) para un determinado estado de carga (condiciones de carga) y restricciones (condiciones de contorno). En un estudio de topología, se puede establecer un objetivo de diseño para encontrar la mayor rigidez al cociente de peso, minimizar la masa o incluso reducir el desplazamiento máximo de un componente. También se puede definir restricciones como la desviación máxima, el porcentaje de masa eliminada y los procesos de fabricación.

Por ejemplo, cuando se diseña el ala de un avión se desea obtener el menor peso posible, asegurando una rigidez y una resistencia adecuadas. El problema de la máxima rigidez con restricción de volumen es de gran importancia en Ingeniería Mecánica e Ingeniería de Estructuras, pues permite reducir el peso final del elemento mecánico o estructural, conservando su rigidez y funcionalidad. Partes mecánicas de bajo peso implican menores costos por material y menor consumo de combustible en el caso de vehículos de transporte [1]. En general, la reducción de la inercia en partes en movimiento, sea maquinaria o vehículos, disminuye la cantidad de energía necesaria para su operación.

La OT es un campo de investigación de rápido crecimiento, donde intervienen distintas áreas como son las matemáticas, la mecánica y las ciencias computacionales, y que cuenta con importantes aplicaciones prácticas en la industria y en el sector de manufactura. En la actualidad, la OT es usada en las industrias aeroespacial, automotriz, de obras civiles, entre otras.

La Figura 1 muestra una horquilla selectora de caja de velocidades con restricciones en la cara cilíndrica y una carga (F) en las caras de empuje. La idea del trabajo es aplicar esta técnica tratando de resolver un problema de máxima rigidez (o mínima flexibilidad) con restricción de volumen, por lo que nos planteamos el siguiente objetivo:

¿Cuál es la distribución de material que proporciona la máxima rigidez (o mínima flexibilidad) para el estado de carga impuesto y un máximo volumen de material determinado?

En la Figura 1 también se muestra la topología óptima obtenida para el estado de carga mostrado y el volumen final de la estructura igual al 75% del volumen inicial.

Figura 1: *Topología obtenida, volumen final con rediseño de horquilla*
Fuente: elaboración propia.

1.1 Reseña histórica

Los principios básicos sobre la teoría de la optimización se sitúan cronológicamente entre los siglos XVII y XVIII (ver ref. [17]):

- Galilei (1638): forma óptima de una viga en voladizo, con una carga puntual en su extremo libre.
- Leibniz (1646-1716): cálculo infinitesimal.
- Lagrange (1736-1813): cálculo de variaciones (valores extremos de una función de funciones). Hamilton (1808-1865): principio de mínima acción.
- Michell (1904): principios fundamentales para el diseño óptimo de barras de peso mínimo.

Entre los años 1940 y 1950 el trabajo fundamentalmente fue analítico. Schmit y Farshi (1974), ref. [16], estuvieron entre los primeros autores que propusieron una declaración comprensiva sobre las técnicas de programación matemática. Durante la década de 1970, la optimización de estructuras disfrutó de una intensiva investigación, pero desgraciadamente fueron pocas las aplicaciones prácticas. Francavilla, Ramakrishnan, y Zienkiewicz (1975), ref. [6] propusieron caracterizar la forma óptima con el objetivo de minimizar la concentración de tensiones, a través de parámetros geométricos predefinidos.

Oda (1977) ref. [13], presentó un estudio donde se obtienen las formas óptimas correspondientes a dos problemas planos introduciendo cambios en algunos elementos finitos preseleccionados. Rodríguez y Sereig (1985) ref. [14], introducen un algoritmo basado en FEA (Finite Elements Analysis) donde la forma óptima se alcanza maximizando el empleo del material. Mattheck y Burkhardt (1990) ref. [10], plantearon un método de optimización basándose en la analogía entre la

geometría de la estructura y el mecanismo de crecimiento del árbol con el objetivo de minimizar las concentraciones de tensiones. Xie y Steven (1993) ref. [22], presentan un método denominado ESO (Evolutionary Structural Optimization), el cual mediante un sencillo proceso iterativo va retirando el material menos eficiente del diseño. Bendsøe y Kikuchi (1993) ref. [4], desarrollaron el método de homogeneización en el cual un modelo de material con pequeñas cavidades se introduce en el diseño, resolviendo el problema de diseño óptimo mediante la determinación de la porosidad ideal. En la actualidad, los algoritmos basados en el proceso de la selección natural y evolución biológica (algoritmos evolucionarios) se confirman como la metodología más potente y robusta para el diseño óptimo (Woon, Tong, Querin, y Steven, 2003), ref. [19], En los sucesivos apartados se elabora una descripción más extensa sobre algunos de estos métodos, así como otras técnicas que establecen el actual marco para la resolución del problema de diseño óptimo en estructuras continuas. Schmidt,ref. [16], propuso una idea revolucionaria que dio origen a una nueva disciplina: los ingenieros, en general, tratan de diseñar objetos o sistemas de coste mínimo que durante su vida útil deben ser capaces de resistir las solicitaciones máximas que se puedan producir; por tanto, los problemas de diseño (óptimo) podrían plantearse de forma sistemática en términos de los de minimización con restricciones, y podrían resolverse mediante técnicas de programación no lineal utilizando ordenadores digitales de alta velocidad. Desde entonces, la optimización de formas y dimensiones en ingeniería estructural se ha planteado habitualmente mediante formulaciones de mínimo peso, con restricciones no lineales impuestas con el fin de limitar los valores admisibles de los campos de desplazamientos y tensiones. Sin embargo, desde que Bendsoe y Kikuchi (ver ref. [1] y [2]) desarrollaron los conceptos básicos en 1988, los problemas de optimización topológica se han planteado tradicionalmente mediante formulaciones de máxima rigidez. Con este tipo de planteamientos se pretende distribuir una cantidad predeterminada de material en un recinto de forma que se maximice la rigidez (se minimice la energía de deformación) de la pieza resultante para un determinado estado de carga.
De esta forma se evita tener que trabajar con numerosas restricciones altamente no lineales, habida cuenta del elevado número de variables de diseño que es consustancial a los problemas de optimización topológica. A cambio, no es posible contemplar múltiples estados de carga, y las formulaciones de máxima rigidez conducen —en principio— a problemas intrínsecamente mal planteados, cuyas soluciones oscilan indefinidamente al refinar la discretización.

2. MÉTODO

2.1. Método SIMP para optimización de topología.

La optimización de topología es el tipo más común de optimización estructural. Se utiliza en la fase inicial del diseño para predecir la distribución óptima del material dentro de un determinado espacio inicial de una estructura, y tiene en cuenta las especificaciones funcionales y las restricciones de fabricación.
El método matemático más popular para la optimización de topología es el método de material isotrópico sólido con penalización (SIMP- Solid Isotropic Material with Penalty). *Bendsoe y Kikuchi (1988)* (ver ref. [1] y [2]) y *Rozvany y Zhou (1992)* ref. [15], propusieron inicialmente el método SIMP. Este predice una distribución óptima del material dentro de un espacio de diseño determinado, para casos de carga determinados, condiciones de contorno, restricciones de fabricación y requisitos de rendimiento. Según *Bendsoe (1989): "La optimización de la forma en un entorno general requiere la determinación de la distribución óptima del material espacial para determinadas cargas y condiciones de contorno. Cada punto en el espacio es, por lo tanto, un punto material o un vacío y el problema de optimización es una variable discreta", (ver ref. [2] pag.1 Resumen).*

El enfoque tradicional para la optimización de topología es la individualización de un dominio en una rejilla de elementos finitos denominados microestructuras sólidas isotrópicas. Cada elemento se rellena con material para regiones que requieren material, o se vacía de material para regiones donde se puede eliminar material (que representa vacíos). La distribución de densidad del material dentro de un dominio de diseño, ρ, es individual, y a cada elemento se le asigna un valor binario:

- $\rho_e = 1$, donde se requiere material (negro)
- $\rho_e = 0$, donde se elimina material (blanco)

2.2. Implementación numérica.

El sistema de ecuaciones lineales que se obtiene en la solución de un problema de elasticidad lineal usando el método de los elementos finitos (MEF) es de la forma:

$$Ku = f \tag{1}$$

Donde u y f, son los desplazamientos y fuerzas externas aplicadas en los nodos, respectivamente. El término K es la matriz de rigidez global, que está dada por la suma coherente (también denominado proceso de ensamble de la matriz global) de las matrices de rigidez de cada elemento

$$K^e = \sum_{i=1}^{Ne} K_i^e \; para\; i = 1,2,3, \ldots . N_e \tag{2}$$

Donde *Ne* es el número total de elementos finitos usados para discretizar el dominio. La matriz de rigidez de cada elemento se obtiene de la siguiente expresión:

$$K^e = \int_{\Omega^e} B^T D B \, d\Omega \tag{3}$$

Donde D es la matriz de material para el caso de esfuerzo plano [7], B es la matriz de las derivadas de las funciones de forma y Ω representa el dominio de diseño [8].
Como la idea de la OT es distribuir cierta cantidad de material en el dominio, de tal forma que la rigidez sea la máxima posible, se necesita un mecanismo para modelar la presencia o ausencia de material. En este trabajo se usó el modelo de material sólido isotrópico con penalización (SIMP). En este modelo, cada elemento finito tiene asociada una variable llamada pseudodensidad (ρ), que multiplica la matriz de rigidez del elemento de la siguiente manera:

$$\hat{K}_i = \rho_i^p K_i^e \tag{4}$$

Donde ρ es un factor de penalización usado para reducir los valores intermedios de las pseudodensidades. Estas presentan valores entre cero y uno, donde cero representa ausencia total de material y uno representa la presencia del material de base usado en el diseño. Por cuestiones de implementación numérica, las pseudodensidades no pueden tener valores discretos de 0 y 1, sino una variación continúa entre estos dos valores.

$$(0 \leq \rho \leq 1) \tag{5}$$

La energía de deformación aumenta a medida que la estructura se deforma, por tanto, el proceso de optimización consiste en hallar el conjunto de valores *ρi* que la minimizan.
Por ejemplo, la imagen muestra un diseño de material optimizado de una viga cargada (Fig. 2). Los elementos sólidos con densidades $\rho_{(e)}$ =1 son de color negro, mientras que los elementos vacíos con $\rho_{(e)}$ = 0 se eliminan.

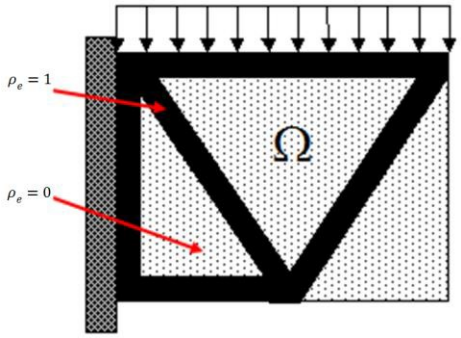


Figura 2: *Diseño optimizado de viga cargada*

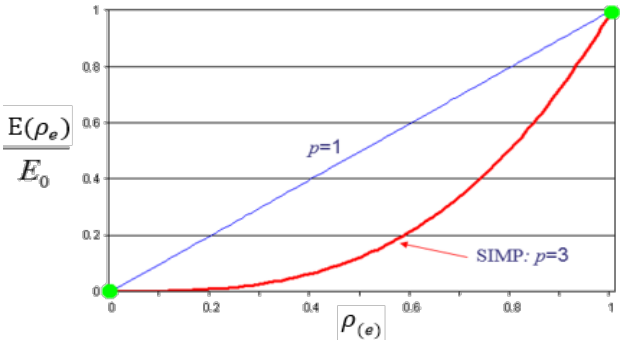


Figura 3: *Factor de penalidad p y método SIMP*

La introducción de una función de distribución de densidad relativa continua evita la naturaleza binaria de activación/desactivación del problema. Para cada elemento, la densidad relativa asignada puede variar entre un valor mínimo ρ_{min} y 1, que permite la asignación de densidades intermedias para los mismos (caracterizados como elementos porosos):
ρ_{min} es el valor de la densidad mínima permitida para los elementos vacíos que son mayores que cero. Este valor de densidad garantiza la estabilidad numérica del análisis de elementos finitos. Dado que la densidad relativa del material puede variar continuamente, el módulo de elasticidad del material en cada elemento también puede variar continuamente. Para cada elemento "e", la relación entre el factor de densidad relativa del material ρ_e y el módulo de elasticidad del modelo de material isotrópico asignado, E_0 se calcula mediante la ley de potencia siguiente (ver Figura 3):

$$E(\rho_e) = \rho_e^p E_0 \tag{6}$$

El factor de penalidad p disminuye la contribución de elementos con densidades intermedias (elementos grises) a la rigidez total. El factor de penalidad dirige la solución de optimización a elementos que son de color negro sólido ($\rho_e = 1$) o blanco vacío ($\rho_e = \rho_{min}$). Los experimentos numéricos indican que un valor de factor de penalidad de $p = 3$ es adecuado.

Una reducción del módulo elástico del material de un elemento conduce a una disminución de la rigidez del elemento. Según el método SIMP, la rigidez global se modula de acuerdo con:

$$K_{SIMP\,\rho}() = \sum_{e=1}^{N} [\rho_{min} + (1 - \rho_{min})\rho_e^p] K_e \quad (7)$$

Donde K_e es la matriz de rigidez del elemento, ρ_{min} representa la densidad relativa mínima, ρ_e es la densidad relativa del elemento, p es el factor de penalidad y N es el número de elementos en el dominio de diseño. Por ejemplo, para un elemento con una densidad relativa asignada $\rho_e = 0.5$, factor de penalidad p =3 y $\rho_{min} = 0.001$, la matriz de rigidez global se escala mediante un factor de $f = (0.001 + (1 - 0.001) * 0.5^3) = 0.12587$.

Un conocido objetivo de optimización es maximizar la rigidez general de una estructura, o minimizar su cumplimiento en una cantidad determinada de eliminación de masa.

El cumplimiento es una medida de la flexibilidad o suavidad general de una estructura, y es el recíproco de la rigidez. El cumplimiento global es igual a la suma del elemento elástico o las energías de deformación. Minimizar el cumplimiento global C, es equivalente a maximizar la rigidez global. El algoritmo de optimización, mediante un proceso iterativo, trata de resolver las densidades de los elementos (que son las variables de diseño de optimización) que minimizan el cumplimiento global de la estructura.

$$C(\{\rho\}) = \sum_{e=}^{N} (\rho^e)^p \, [u_e]^T [K_e][u_e] \quad (8)$$

$[u_e]$ es el vector de desplazamiento nodal del elemento e, $[K_e]$ es la rigidez del elemento e, y el vector $\{p\}$ contiene las densidades relativas de los elementos ρ_e.

Durante cada iteración de optimización, se deben cumplir la restricción de masa objetivo, el equilibrio de fuerza-rigidez global y las restricciones funcionales requeridas:

$$\sum_{e=1}^{N} \{v_e\}^T \rho_e \leq M_{target} \quad (9)$$

Donde v_e es el volumen del elemento y M_{target} es la masa objetivo de la optimización.

$$[K\{\rho\}]\{u\} = \{F\} \quad (10)$$

$[K\{\rho\}]$ es la matriz de rigidez global modulada por el vector de densidades relativas, {u} es el vector de desplazamiento, y {F} es el vector de fuerza externa.

$$\theta(\{p\}, \{u\})_1 \leq \theta_1^*, \; \theta(\{p\}, \{u\})_2 \leq \theta_2^*, \ldots. \quad (11)$$

La fórmula anterior contiene restricciones de respuesta de diseño, como límites en tensiones, desplazamientos, frecuencias propias, etc.

2.3 Análisis de sensibilidad.

Durante cada iteración, el algoritmo de optimización realiza un análisis de sensibilidad para evaluar el impacto que la variación de las densidades del material tiene sobre la función objetivo para maximizar la rigidez. Matemáticamente, el análisis de sensibilidad se expresa como la derivada de la función objetivo con respecto a las densidades del material:

$$\frac{dC}{d\rho_e} = -p(\rho_e)^{p-1} [u_e]^T [K_e][u_e] \quad (12)$$

Durante un análisis de sensibilidad, los elementos ponderados con factores de baja densidad de material terminan perdiendo su importancia estructural y se eliminan durante iteraciones posteriores. Si calcula la sensibilidad de cada elemento de forma independiente y no tiene en cuenta la conectividad entre los elementos, puede provocar la discontinuidad del material y que los volúmenes se desconecten de la geometría principal. Esto se conoce como efecto de tablero de ajedrez. Para reducir el efecto de tablero de ajedrez, un esquema de filtrado, el cual aplica un radio de influencia al elemento y sitúa la media de las sensibilidades de cada elemento dentro de dicha región de influencia. Las iteraciones de optimización continúan hasta que las variaciones de la función objetivo convergen y las iteraciones alcanzan sus criterios de convergencia.

3. RESULTADO DE LA INVESTIGACIÓN: CREACIÓN DE UN ESTUDIO DE TOPOLOGÍA

Se aplica a un modelo, previamente definido que consiste en una horquilla selectora de caja de velocidades. El proceso comprende los siguientes pasos:

i. **Creación de un Nuevo Estudio.** Para el desarrollo del estudio se ha utilizado el software de diseño y cálculo Solidworks Simulation 2019.

ii. **En la ventana de Percepción de diseño, elegimos Estudio de topología.**
En este ejemplo, configuraremos un estudio de topología con el objetivo de encontrar la mayor rigidez por unidad de peso de una horquilla selectora de la caja de velocidades.

iii. **Seleccionamos las Propiedades del Estudio:**
Para ello en Opciones (en el cuadro de diálogo Topología), seleccionamos el proceso.
La creación de un estudio de topología es igual a la de un estudio estático; los materiales, cargas y limitaciones son las mismas pero agrega dos nuevas entradas: los objetivos y restricciones, y los controles de fabricación. El objetivo del estudio de topología puede ser o bien minimizar la masa o el desplazamiento de la pieza o maximizar su rigidez (mejor relación rigidez-peso). Es una buena costumbre comenzar con la mejor opción de relación rigidez-peso (maximizar rigidez). En el caso de que se tenga un desplazamiento máximo de un componente que no desea sobrepasar durante el estudio de topología, utilizar el objetivo para minimizar el desplazamiento máximo o minimizar el peso con la opción de restricción de desplazamiento. Se observará que los tres objetivos siempre minimizan la masa.
El último paso en la configuración del estudio consiste en agregar los controles de fabricación. Este paso es opcional y no es necesario para que el estudio se pueda ejecutar, pero permite tener control sobre la forma resultante y tener en cuenta los métodos de fabricación posteriores. Los controles de fabricación son regiones protegidas, de modo que se podrá excluir áreas del modelo del proceso de topología y del control de espesor, y establecer el grosor mínimo de los componentes además de la simetría del modelo y la definición de la dirección de desmoldeo, que es una restricción de fundición. Para la Configuración de región conservada (bloqueada), debemos seleccionar Regiones con cargas y sujeciones (Fig. 4). Esto nos sirve para que todas las regiones donde hemos definido cargas y sujeciones se conserven de forma predeterminada, es decir, no se hará optimización de estas caras conservadas.

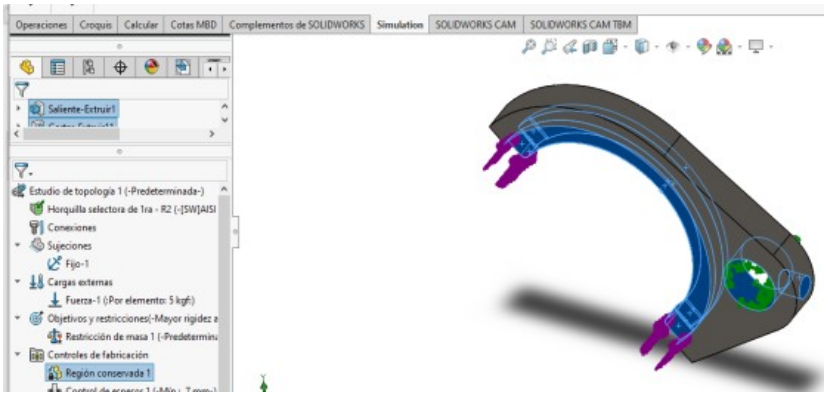


Figura 4 *Estudio de topología de la horquilla, región conservada, cargas y sujeciones de horquilla*

iv. **Definimos el material (Material: AISI 1045), las sujeciones y las cargas externas**
En el gestor de estudio de topología, en Objetivos y restricciones elegimos la opción de mayor rigidez al cociente de peso (predeterminado) (Fig. 5).

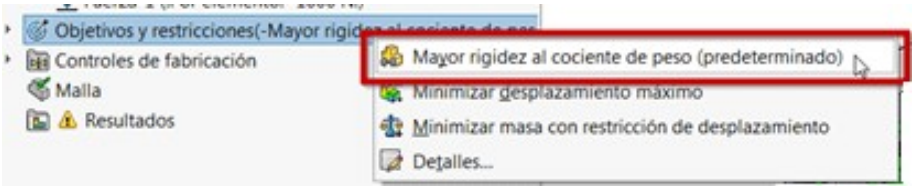


Figura 5 *Objetivos y restricciones – mayor rigidez por unidad de peso*

Disponemos de 3 objetivos,los cuales son:

- **Mayor rigidez al cociente de peso (predeterminado) –** Cuando se selecciona Mayor rigidez al cociente de peso, el algoritmo trata de minimizar el cumplimiento global del modelo, que es una medida de la flexibilidad general (recíproco de la rigidez). El cumplimiento viene definido por la suma de energía de todos los elementos.
- **Minimizar desplazamiento máximo –** La optimización proporciona el diseño más rígido que pesa menos que el diseño inicial y minimiza el desplazamiento máximo observado.

- **Minimizar masa con restricciones de desplazamiento –** El algoritmo busca reducir la masa de un componente mientras se restringe el desplazamiento

v. **En la ventana de Objetivos y Restricciones, vamos a reducir el porcentaje de masa (Fig. 6).**

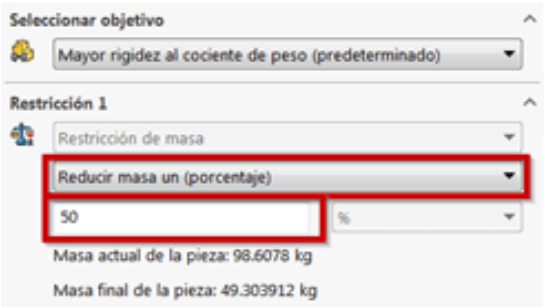


Figura 6 *Reducción del porcentaje de masa*

En la primera restricción, para Reducir masa un (porcentaje), definimos 50 (%) como Valor de restricción.
Nota: Las restricciones limitan las soluciones de espacio de diseño, podremos definir hasta dos restricciones para un único objetivo. Disponemos de 2 tipos de restricciones, a saber:
Restricción de masa – El algoritmo de optimización intentará alcanzar la reducción de masa objetiva para la forma final mediante un proceso iterativo.
Restricción de desplazamiento – Establece el límite superior para el componente de desplazamiento seleccionado.

vi. **En el gestor de estudio de topología, elegimos Controles de fabricación y agregamos región conservada (Fig. 7).**
En Región conservada agregamos todas aquellas caras que necesitamos conservar (la ventana ofrece la posibilidad de dar un valor de profundidad a esa región conservada).

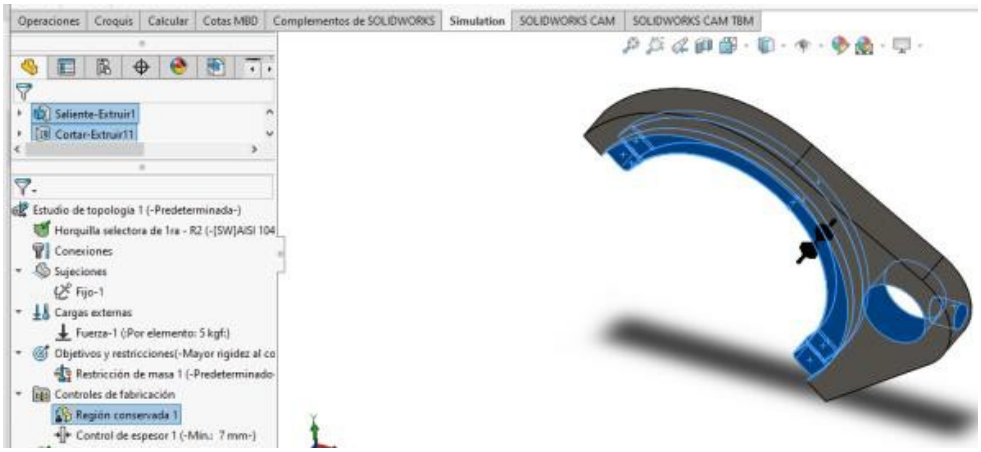


Figura 7 *Selección de región conservada*

Nota: Las restricciones de fabricación garantizan que se pueda extraer la forma optimizada de un molde o que pueda estamparse con una herramienta o un troquel.
Disponemos de 4 restricciones:

- *Región conservada*
- *Control de desmoldeo*
- *Control de simetría*
- *Control de espesor*

vii. Malla el modelo (Fig. 8)

Figura 8 *Malla del modelo*

viii. Ejecutamos este estudio (Fig. 9).

El algoritmo de optimización, a través de varias iteraciones, intentará alcanzar la convergencia. Podemos consultar en tiempo real la convergencia tanto del Objetivo (mayor rigidez) como de la Restricción (Masa).

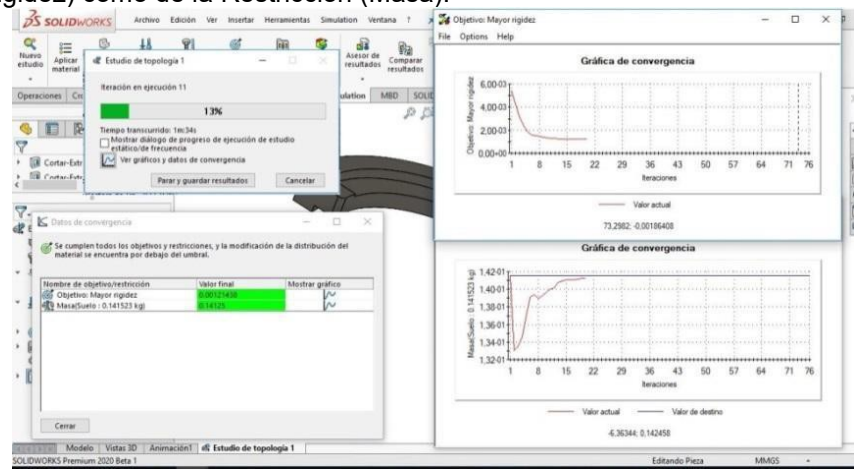


Figura 9 *Convergencia en tiempo real de rigidez como de masa*

ix. Visualización de los resultados (Fig. 10)

En Resultados, Masa del material nos muestra iso valores de las densidades de masas relativas de los elementos. Se puede controlar con un deslizante los valores de todos los elementos con densidades de masa relativas superiores a 0,3.

Es posible desplazar el control deslizante del iso valor hacia la derecha para eliminar un poco más la masa de la forma optimizada.

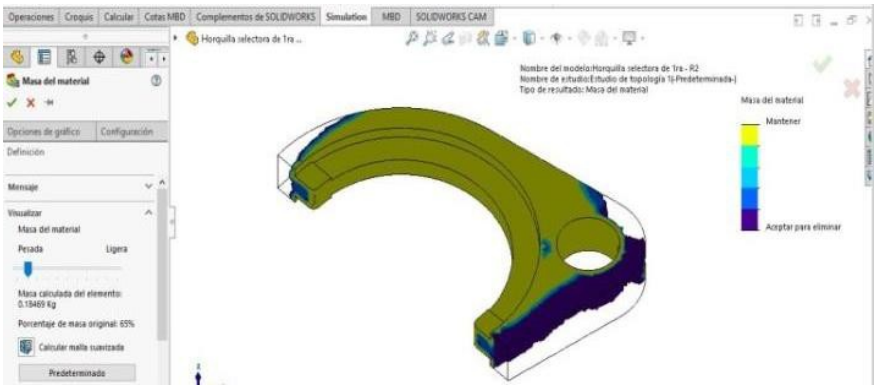


Figura 10 *Visualización de isovalores de densidad de masa*

x. Cálculo de la malla suavizada (Fig. 11).

El programa crea superficies lisas de la forma optimizada, suaviza al máximo y asigna un color único.

Figura 11 *Cálculo de la malla suavizada*

xi. Ajuste del modelo a la forma optimizada (Fig. 12)

Se puede exportar los datos de malla suavizada de la forma optimizada como nueva geometría.

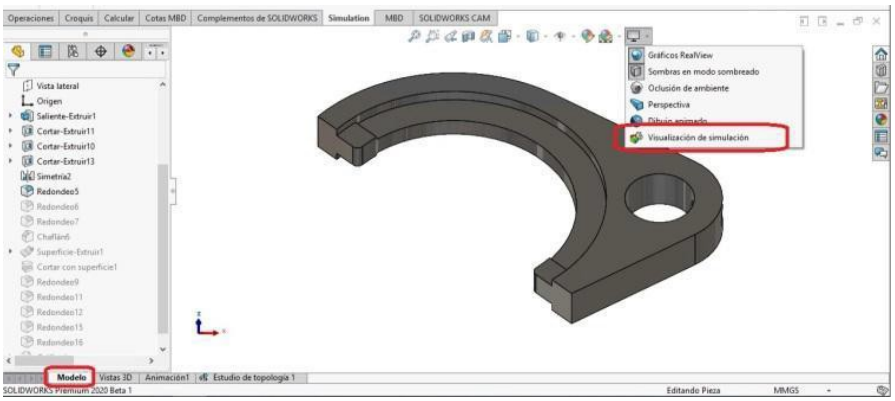


Figura 12 *Ajuste del modelo a la forma optimizada*

xii. Visualización de simulación (Fig. 13)

Se mostrará el modelo y su forma optimizada de manera simultánea, esto nos permitirá aplicar operaciones de sustracción en aquellas zonas donde no se requiere material.

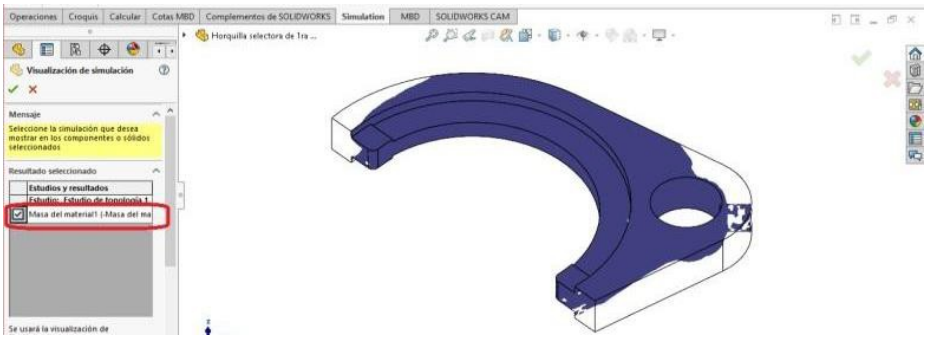


Figura 13 *Resultado masa de material de horquilla*

xiii. Croquis sobre las caras del modelo y las regiones a sustraer del mismo (Fig. 14).

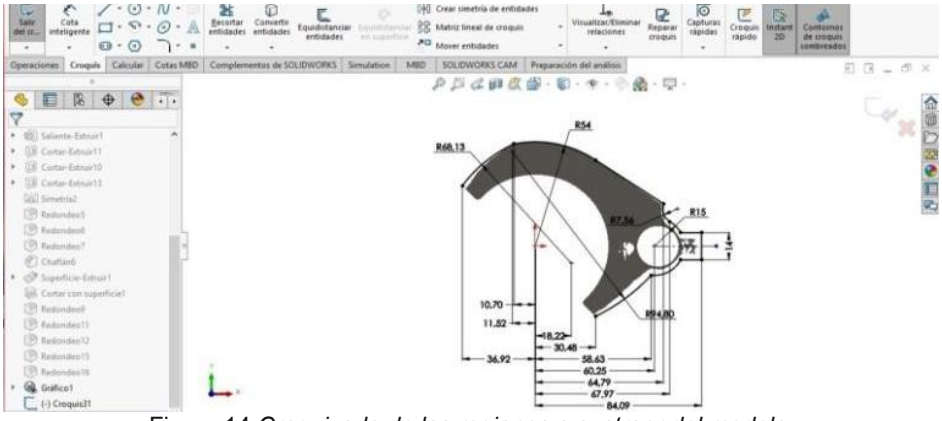


Figura 14 *Croquizado de las regiones a sustraer del modelo*

xiv. Ocultamos de nuevo la visualización de simulación (fig. 15)

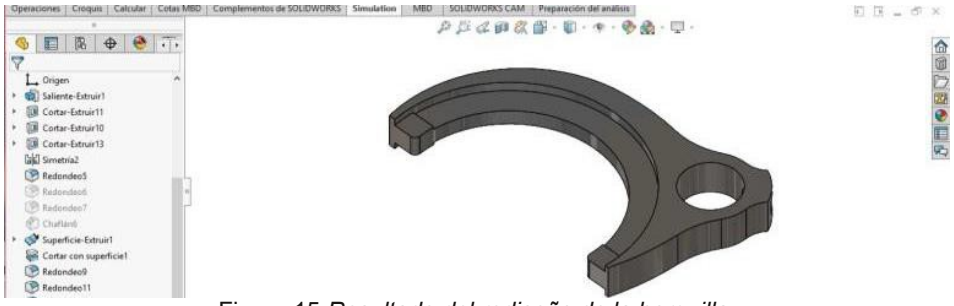


Figura 15 *Resultado del rediseño de la horquilla*

xv. Se realiza una comprobación del modelo optimizado (Fig. 16 y 17)

Comprobamos el modelo resultante, realizando un Estudio Estático para confirmar que las tensiones están dentro de los límites admisibles.

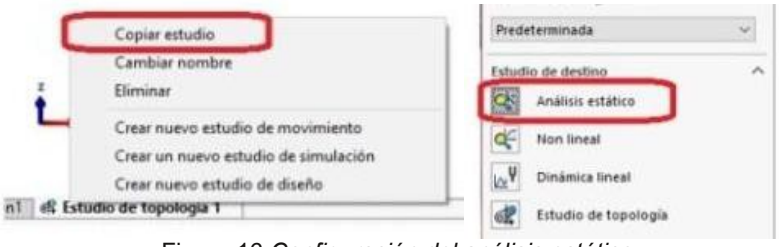


Figura 16 *Configuración del análisis estático*

i. Creamos la malla y ejecutamos el estudio (Fig. 18)

Verificamos que, efectivamente, las tensiones no superan el límite elástico del material.

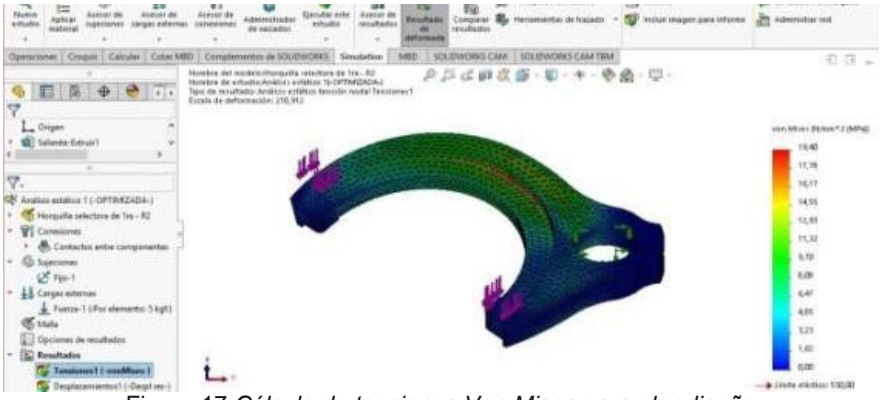


Figura 17 *Cálculo de tensiones Von Mises para el rediseño*

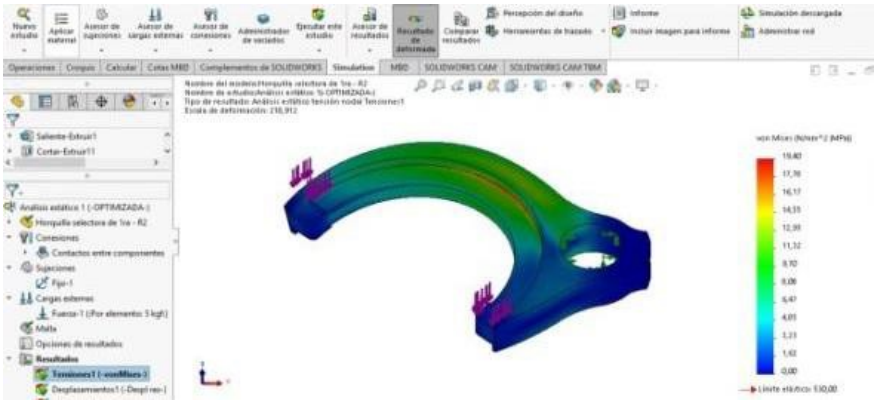


Figura 18 *Verificación de tensiones del rediseño de la horquilla*

4. CONCLUSIONES

En este trabajo, el problema de máxima rigidez con restricción de volumen fue implementado usando el método de la optimización topológica. La solución utilizada para el desarrollo del cálculo desarrollado proporcionó resultados coherentes. Finalmente, una pieza mecánica fue rediseñada con el propósito de reducir su peso. La solución generó una pieza óptima con una geometría similar, más estilizada, que fue interpretada para obtener un modelo CAD de la pieza mecánica optimizada. El programa de CAD permitió calcular una reducción de peso de 25 %. El software Solidworks Simulation permitió calcular los factores de seguridad, mostrando que en el caso de la pieza optimizada se redujo un 25 % de su masa. Sin embargo, el valor final aún cumple las

especificaciones de diseño. Los resultados obtenidos muestran que la OT es una técnica muy útil en el diseño de piezas mecánicas de peso reducido. Las topologías obtenidas llevan, después de un proceso de interpretación, a piezas mecánicas más livianas, manteniendo una resistencia mecánica comparable, según el análisis estático. Las geometrías complejas que se obtienen con la OT pueden ser fácilmente fabricadas con las técnicas modernas de manufactura aditiva.

5. REFERENCIAS

[1] Bendsoe, M. P. & Sigmund, O. (2003). Topology Optimization: Theory, Methods and Applications. Berlín: Springer Verlag.

[2] Bendsoe, M.P.: Optimal Shape Design as a Material Distribution Problem. Structural Optimization 1, 193-202.

[3] Bendsøe MP, Kikuchi N. Generating optimal topologies in structural design using a homogenization method. Comp. Meth. Appl. Mech. Eng. 1988; 71: 197-224.

[4] Bendsøe MP, Kikuchi N. Topology and generalized layout optimization of elastic structures. Topology Design of Structures 1993

[5] Carbonari, R. C. (2003). Projeto de atuadores piezelétricos flextensionais usando o método de otimização topológica. Master's thesis, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

[6] Francavilla A, Ramakrishnan CV, Zienkiewicz OC. Optimization of shape to minimize stress minimize stress concentration. Journal of Strain Analysis 1975; 10: 63-70.

[7] Kikuchi, N., Nishiwaki, S., Fonseca, L. S. O. & Silva, E. C. N. (1998). Design optimization method for compliant mechanisms microstructure. Comput. Methods Appl. Mech. Engrg. 151, 401-417.

[8] Lin, J., Luo, Z. & Tong, L. (2010). A new multi-objective programming scheme for topology optimization of compliant mechanisms. Struct Multidisc Optim 40, 241-255.

[9] Logan, D. L. (2007). A First Course in the Finite Element Method. Thompson, Canada.

[10] Matteck C, Burkhardt S. A new method of structural shape optimization based on biological growth. Int. Journal of Fatigue 1990; 12(3): 185-190.

[11] Matteck C. Engineering Components Grow Like Trees. Mat. wiss. U. Werkstoffech 1990; 21: 143-168.

[12] Nishiwaki, S., Frecker, M. I., Min, S. & Kikuchi, N. (1998). Topology optimization of compliant mechanisms using the homogenization method. Int. J. Numer. Meth. Engng. 42, 535 -559.

[13] Oda J. On a technique to obtain an optimum strength shape by the finite element method. Bulletin of the JSME 1977; 20:160-167.

[14] Rodriguez J, Seireg A. Optimizing the shapes of structures via a rule-based computer program. ASME-Computers in Mechanical Engineering 1985; 4: 20-29.

[15] Rozvany Zhou M, GIN. The COC algorithm, Part II: Topological, geometrical and generalized shape optimization. Comp. Meth. Appl. Mech. Eng. 1991; 89: 309-336.

[16] Schmit LA, Farshi B. Some Approximation Concepts for Structural Synthesis. AIIA Journal 1974; 12: 692-699.

[17] Tesis Doctoral "OPTIMIZACIÓN DE FORMA Y TOPOLOGÍA CON MALLA FIJA Y ALGORITMOS GENÉTICOS" Dr. Ing. Mariano Victoria Nicolás - Cartagena, abril de 2006 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA.

[18] Timoshenko, S. & Goodier, J. (1970). Theory of Elasticity. New York: Mc Graw-Hill.

[19] Woon SY, Tong L, Querin OM, Steven GP. Knowledge-based algoritms in fixed-grid GA shape optimization. International Journal for Numerical Methods in Engineering 2003; 58: 643-660.

[20] Woon SY, Tong L, Querin OM, Steven GP. Optimising Topologies through a Multi-GA System. WCSMO 5 2003.

[21] Woon SY. Effective GA-Based Optimisation of Continuum Structures. Ph. D. Thesis. School of Aerospace, Mechanical and Mechatronic Engineering, University of Sydney: Autralia, 2002.

[22] Xie YM, Steven GP. A simple evolutionary procedure for structural optimization, Comp. and Struct. 1993; 49(5): 885-896.

6. Agradecimientos

Los autores de este trabajo desean agradecer al Docente tutor Magister Ing. Gerardo Franck de la Universidad Nacional del Litoral por su permanente apoyo en el área de Métodos Numéricos en el desarrollo de nuestros proyectos y publicaciones.

Diseño de la envolvente mecánica para un termómetro parlante destinado a personas no videntes

Neira, Rodolfo (*); Lurgo, Gerardo; Rubiolo, Bruno; Burgos, Fabián

Facultad Regional San Francisco, Universidad Tecnológica Nacional.
Av. De la Universidad 501. 2400- San Francisco (Córdoba) rodolfoneira8@gmail.com.

RESUMEN.

En este trabajo se presenta el diseño de la envolvente mecánica y la construcción de un termómetro parlante destinado a personas con discapacidad visual o con baja visión para su utilización en ambientes cerrados como una casa de familia. La integración social en proceso de trabajo manual devuelve las expectativas a las personas con estas patologías, permitiendo disminuir todo tipo de trastornos ocasionados por una pasividad prolongada o un aislamiento forzoso. Se ha demostrado que esta tecnología parlante incorporada a artefactos hogareños favorece no solo a la integración de la persona con el medio cercano sino también posee un importante alcance psicológico desde lo emocional y vincular; que supera las posibilidades otorgadas por las instituciones que los integran y que los acompañan, y repercute vigorosamente en su autoestima. A la vez, el uso de un controlador de calor parlante disminuye de manera significativa los accidentes que se pueden ocasionar cuando se manipulan elementos en presencia de calor estando sola la persona no vidente o con baja visión. De este modo la problemática de la integración social se la trata de un modo más inclusivo donde no sólo se centra en la atención exclusiva de la persona con discapacidad visual o baja visión sino que también incluye al grupo familiar más cercano o al personal auxiliar de entidades afines.

Palabras Claves: Controlador de Calor Parlante, Discapacidad Visual, Diseño, Integración Social, Persona

ABSTRACT – This paper presents the design of the mechanical envelope and the construction of a talking thermometer for people with visual impairment or with low vision for use in closed environments such as a family home. Social integration in manual work processes returns the expectations to people with these pathologies, allowing to reduce all types of disorders caused by prolonged passivity or forced isolation. It has been shown that this talking technology incorporated into household artifacts favors not only the integration of the person with the nearby environment but also has an important psychological reach from the emotional and linking; that exceeds the possibilities granted by the institutions that integrate them and that accompany them, and has a strong impact on their self-esteem. At the same time, the use of a talking heat controller significantly decreases the accidents that can be caused when handling elements in the presence of heat being alone the blind person or with low vision. In this way the problem of social integration is treated in a more inclusive way where it not only focuses on the exclusive attention of the person with visual impairment or low vision but also includes the closest family group or auxiliary personnel of entities related.

1. INTRODUCCIÓN

Las personas con discapacidad visual enfrentan diariamente obstáculos físicos y emocionales. Gran parte se debe a que la sociedad aún no termina de incluirlos, por lo tanto no contempla totalmente sus necesidades. [1]

El eje movilizador es buscar una solución a la dificultad que tiene una persona no vidente por no contar con la ayuda de elementos parlantes o sonoros que le indiquen la temperatura cuando manipula elementos en el hogar para preparar alimentos (sólidos o líquidos), de allí la necesidad de diseñar y construir un termómetro parlante para tal fin.

Según datos aportados por la Organización Mundial de la Salud en el mundo hay aproximadamente 285 millones de personas con discapacidad visual, de las cuales 39 millones son ciegas y 246 millones presentan baja visión. Aproximadamente un 90% de la carga mundial de discapacidad visual se concentra en los países en desarrollo. El 82% de las personas que padecen ceguera tienen 50 años o más. [2]

Numerosos estudios a nivel internacional dan cuenta de los beneficios que brindan a las personas con ciertas discapacidades contar con las tecnologías adecuadas y disponibles para su correcta inserción en la sociedad. [3]

2. MÉTODOS Y MATERIALES

Antes de comenzar a diseñar y construir el dispositivo, se determinaron las condiciones necesarias para que el mismo opere correctamente, tales parámetros son: rango de trabajo del termómetro parlante con su fidelidad ([0 ºC – 80 ºC] ± 0,5 ºC), tamaño de carcaza, fuente de alimentación (9 V), duración de la batería (9 horas continuas).

En la Figura. 1 se observa la interconexión planteada del sistema. A modo de resumen se obtiene el valor brindado por el sensor gracias a la resistencia variable dependiente de la temperatura para luego procesarla, extraer los audios precargados en la tarjeta de memoria y reproducirlos por medio del parlante.

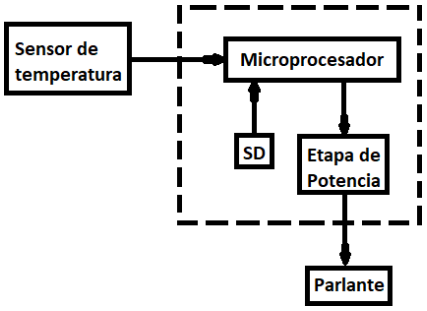


Figura 1 *Diagrama general del sistema*

2.1. Elección del microcontrolador

Se determinó utilizar el microcontrolador Atmega 328P debido a su relación precio-calidad y a su fácil manejo para desarrollar. Dicho dispositivo contiene una Arquitectura de CPU de 8 bit AVR con memoria flash de 32 KB, memoria RAM de 2KB, 23 Pines IO(entrada/salida), 10 canales ADC (analógico-digital), con una frecuencia de operación de 20Mhz e interfaces UART, TWI, SP. Además tiene un voltaje de operación de 1.8 a 5.5 VDC (es recomendable usarlo a 5VDC) y una temperatura de trabajo de -40° a 85° C, estas características en especial la cantidad de pines y canales, interfaces, temperatura de funcionamiento y tensión de alimentación fueron la que determinaron la elección del microcontrolador pudiendo cumplir así todos requisitos necesarios para desarrollar el termómetro parlante.

2.2. Elección del parlante

Se determinó utilizar un parlante de 0,5 Watt, 8 Ohm para una correcta configuración del transistor (componente para amplificar la corriente eléctrica que circula por el parlante), para obtener una buena calidad de audio y garantizar una excelente ganancia.

2.3. Elección de la batería

El dispositivo utiliza una batería de 9V debido a que al momento de reemplazarla, se encuentra en cualquier comercio y cumple con la diferencia de potencial que se necesita para que el aparato funcione. Además, tiene una buena relación en cuanto a precio-duración (incluso algunas son recargables), la duración promedio de la batería en el termómetro es de aproximadamente 4,5 horas si permanece continuamente hablando, 18 horas en modo standby (Prendido pero sin hablar). Las baterías de 9V normalmente son de 900mAh, las mediciones tomadas en el termómetro arrojan un consumo de 200mA hablando continuamente y 50mA en modo standby.

2.4. Elección de transistor de potencia

Para amplificar la salida de audio se determinó utilizar un transistor BC337 (NPN) ya que soporta una corriente de colector de hasta 800 mA en corriente continua y el consumo del parlante a 5V con una resistencia interna de 8 ohm y una potencia de 0.5 W es de 100 mA en corriente continua, además la diferencia de potencial que soporta entre colector-emisor es de 45 Vdc. Estas características principales sumado a su bajo costo, hicieron que la elección de dicho transistor sea ideal para el proyecto.

2.5. Elección del sensor de temperatura

Como existen diversos sensores de temperatura con diferentes funcionamientos (de intensidad, de resistencia variable), diferentes curva de temperatura-lectura y diferente circuito para su próximo acople al microcontrolador, se decidió utilizar un sensor que se encontraba en el laboratorio de Ingeniería Electrónica de U.T.N Facultad Regional San Francisco cuya curva de temperatura y funcionamiento era desconocido, para solucionar el problema se desarrolló un circuito de lectura que consistía en un divisor resistivo, ver Figura 2, y después realizar diferentes ensayos y mediciones en el Laboratorio de Química de la misma Facultad Regional.

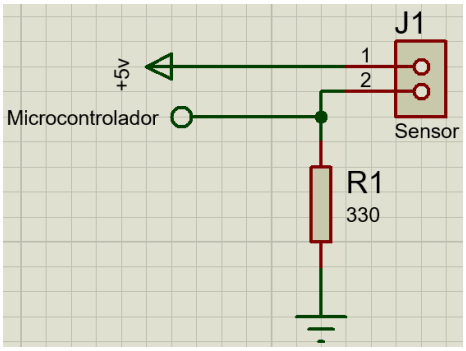


Figura 2 *Circuito de lectura*

Las mediciones consistían en un vaso precipitado lleno de agua con hielo y sal (para disminuir el punto de congelamiento del agua – al agregar ambos compuestos se realiza una reacción endotérmica, que es un fenómeno que absorbe energía, esta energía es el calor que existe, por ende la temperatura baja más rápido), se colocó un termómetro de mercurio con una excelente apreciación y el sensor de temperatura conectado al circuito, como se observa en la Figura 3

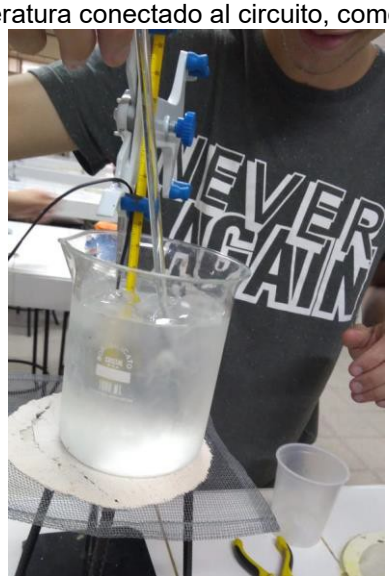


Figura 3 *Medición en vaso de precipitado*

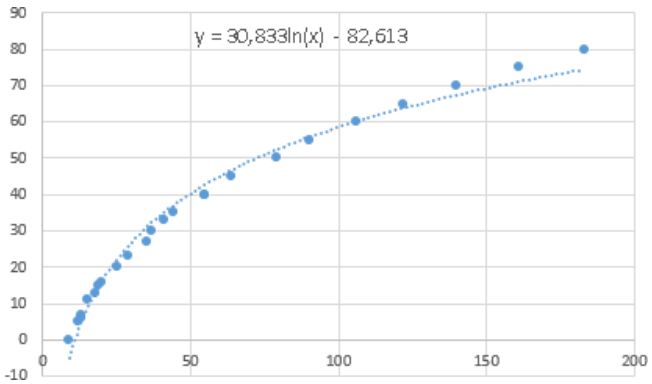
Luego se realizó el mismo método pero aplicando temperatura mediante una hornalla para obtener valores mayores a 0 °C.

Para obtener la curva de temperatura-valor sensor se realizaron las mediciones que se muestran en la Tabla 1:

Tabla 1. *Valores obtenidos en mediciones de laboratorio*

Valor Analógico	Termómetro Laboratorio
Leído	Temperatura Real
37	30
44	35
55	40
35	27
41	33
64	45
79	50
90	55
106	60
122	65
140	70
161	75
183	80
55	40
29	23
25	20
20	16
19	15
18	13
15	11
13	7
13	6
12	5
9	0
8	-2

Conste aclarar que el valor del sensor es un valor analógico (magnitud que puede tomar cualquier valor dentro de un intervalo –Vcc y +Vcc, en este caso entre 0V y 5V), para que el microcontrolador pueda procesar este dato, utiliza internamente un conversor análogo-digital que convierte la entrada analógica en una medición digital codificada con un número N de bits, en este caso 10 bit. El ancho del intervalo de la medición en digital en mV es la precisión de la señal y está dado por 2^N en este caso $2^{10} = 1024$ es decir que los valores medidos van a variar entre 0 y 1024 correspondiéndose cada valor con una temperatura medida y mostrada en la tabla.
Para obtener una función que satisfaga todos los parámetros, para convertir los valores registrados por el sensor a la temperatura correspondiente, se utilizó Microsoft Excel, y se pudo determinar la línea de tendencia que pase por todos los puntos y poder obtener así, la formula general. En el siguiente gráfico se muestra el resultado:



Como resultado se obtuvo la siguiente función logarítmica, que se muestra en Ecuación (1)

$$Temperatura = 30.833 * \ln(valor\ sensado) - 82.613 \quad (1)$$

2.6. Elección de la carcasa y tamaño de la placa

Se decidió fabricar la carcasa con impresora 3D en material ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno) ya que tiene una temperatura de deformación de 110 °C, resistencia a ataques químicos y alta capacidad de mecanizado (perforado, lijado), cuyas propiedades se muestran en Tabla 2

Tabla 2 *Propiedades mecánicas ABS*

Propiedades mecánicas (*)	Impresión 3D	
	Valor típico	**Método de ensayo**
Módulo de elasticidad a la tracción	1681,5 MPa	ISO 527 (1 mm/min)
Esfuerzo de tracción a la deformación	39,0 MPa	ISO 527 (50 mm/min)
Esfuerzo de tracción a la rotura	33,9 MPa	ISO 527 (50 mm/min)
Alargamiento a la deformación	3,5 %	ISO 527 (50 mm/min)
Alargamiento a la rotura	4,8 %	ISO 527 (50 mm/min)
Resistencia a la flexión	70,5 MPa	ISO 178
Módulo de flexión	2070,0 MPa	ISO 178

Se decidió un tamaño de 128 x 55 mm para la carcasa para poder generar mayor comodidad y experiencia al usuario pudiendo ensamblar todos los componentes necesario para su debido funcionamiento en ese tamaño determinado. Para tener una idea aproximada de la realidad y poder determinar el tamaño de placa, ubicación de componente y forma de ensamblaje se desarrolló un moldado 3D en el Software *SolidWorks*, dicho moldeado también se utilizó para la impresión 3D. [4,5]
A continuación en la Figura 4 se observan el diseño y vistas del gabinete correspondiente

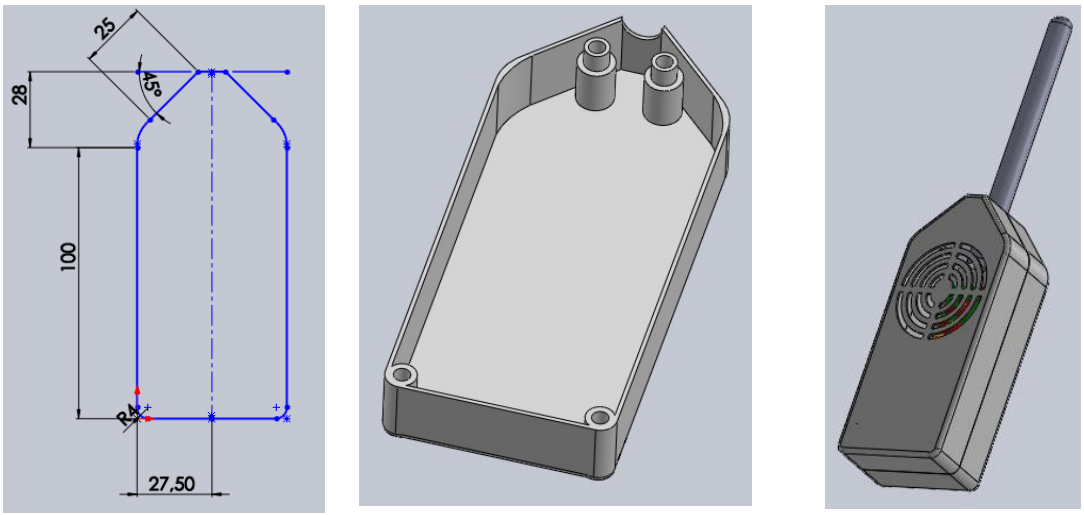


Figura 4 *Vistas del gabinete en material plástico*

2.7. Desarrollo del proyecto

Para llevar a cabo el proyecto se decidió comenzar realizando el esquema electrónico, luego la fabricación del PCB (circuito impreso), la fabricación del gabinete plástico y por último, el ensamblaje, prueba y ensayos del prototipo. [6-9]

2.7.1. Diseño de circuito electrónico

El diseño del circuito electrónico se divide en 4 etapas, estas mismas son: Fuente de alimentación, Etapa de control, Circuito memoria SD, Etapa de potencia.

2.7.1.1 Fuente de alimentación

Para llevar a cabo el circuito de alimentación, se determinó utilizar dos reguladores de tensión, LM7805 y LM317, utilizados para alimentar el microcontrolador y la memoria SD respectivamente. En el caso de la SD, esta trabaja con una diferencia de potencial de 3.3V por lo cual se utilizó un LM317 para la alimentación de la misma, y un divisor resistivo para la comunicación entre la SD y el microcontrolador, ya que las salidas de este trabajan a 5V.
Para ambos reguladores se integraron capacitores calculados para mantener la tensión estable en ellos, como se visualiza en la Figura 5

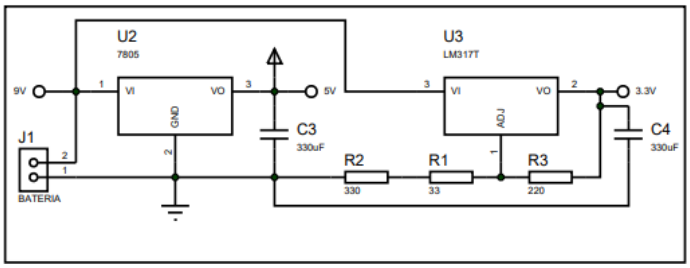


Figura 5 *Vista de la integración de capacitores*

2.7.1.2 Etapa de control

Para la etapa de control se utiliza el microcontrolador Atmega328p con su respectivo circuito de oscilación (X1, C1, C2) para generar la frecuencia y velocidad necesaria con la que el microcontrolador corre el programa interno, según la Figura 6

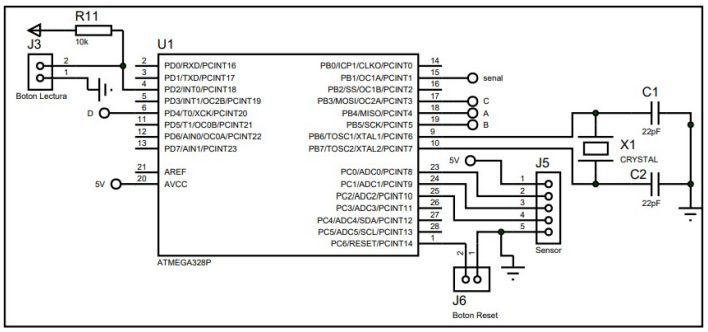


Figura 6 *Vista del microcontrolador*

2.7.1.3 Circuito memoria SD

Como mencionamos anteriormente, la tarjeta SD, además de necesitar una alimentación de 3.3V para funcionar, las señales que recibe y emite también deben ser de 3.3V. Los pines del microcontrolador trabajan a 5V, por lo tanto realizamos un divisor resistivo como se muestra en la siguiente figura para tener 3,3V en las entradas de la SD, como se muestra en Figura 7

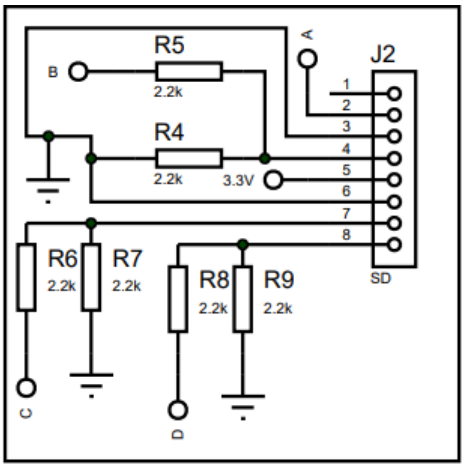


Figura 7 *Vista del divisor resistivo*

2.7.1.4 Etapa de potencia.

Para la etapa de potencia se utilizó el transistor BC337 antes descripto para amplificar la señal hacia el parlante, como se evidencia en la Figura 8.

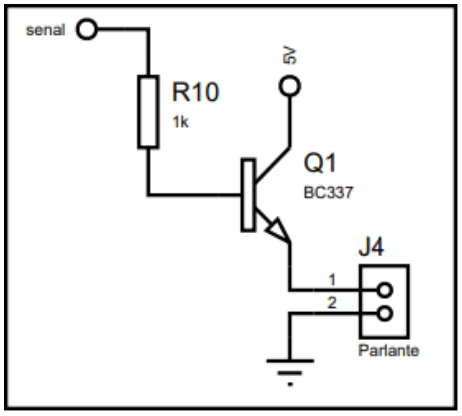


Figura 8 *Vista del amplificador del parlante*

Por último, se detalla el esquema final del circuito electrónico, como se observa en Figura 9

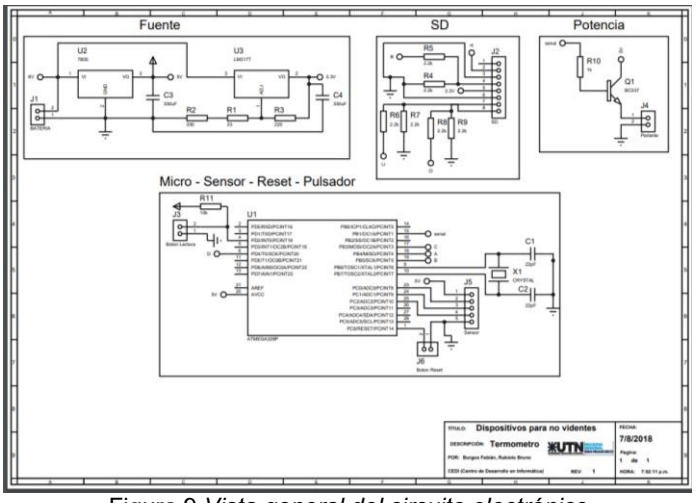


Figura 9 *Vista general del circuito electrónico*

2.8. Fabricación del PCB.

Para la fabricación del circuito impreso se utilizó el diagrama anterior y se determinó un tamaño de placa de 43 x 60 mm, se colocaron los componentes de tal forma que encaje perfecto en la carcasa y de que la etapa de potencia este lo más alejado posible de la etapa de señal o control. Luego se procedió a realizar las pistas que conectan los componentes logrando el siguiente circuito, que se muestra en la Figura 10 y Figura 11

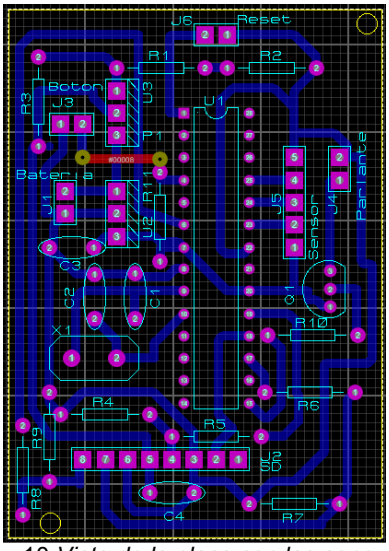


Figura 10 *Vista de la placa con las conexiones*

Luego se transformó el diseño en un moldeado 3D para poder verificar.

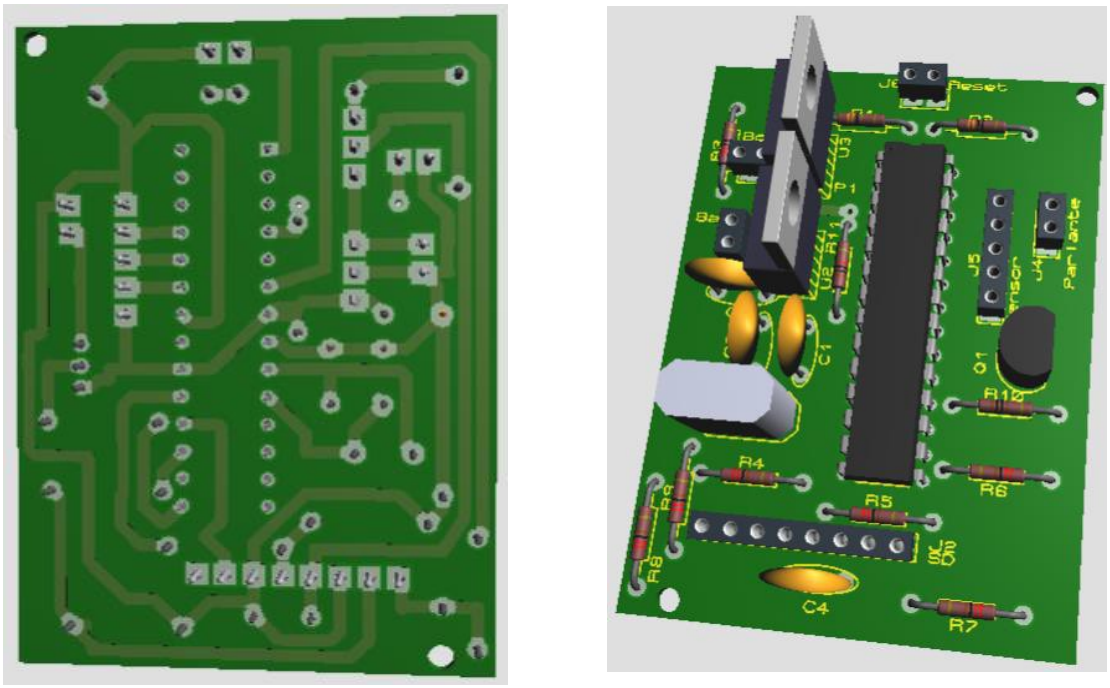


Figura 11 *Vista de la placa con los componentes*

2.9. Ensamblaje y prueba

Una vez realizado las etapas anteriores, se programó el microcontrolador y se realizaron verificaciones y ensayos con instrumentos tales como osciloscopio y multímetro, ambos digitales, según se observa en la Figura 12

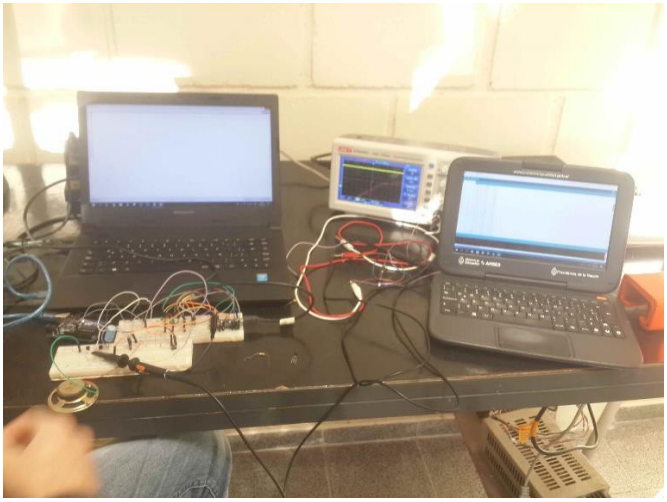


Figura 12 *Verificación de programación del microcontrolador*

Luego se procedió a ensamblar y soldar los componentes en el PCB y se realizaron diversas pruebas en diferentes medios, algunos de ellos fueron agua (frio y caliente), aire (temperatura ambiente), hielo. En uno de los ensayos se decidió colocar el sensor dentro del congelador de una heladera y medir la variación de temperatura en intervalos de 1 segundo para poder verificar la rapidez y eficacia del dispositivo obteniendo excelentes resultados, como se evidencia en la Figura 13

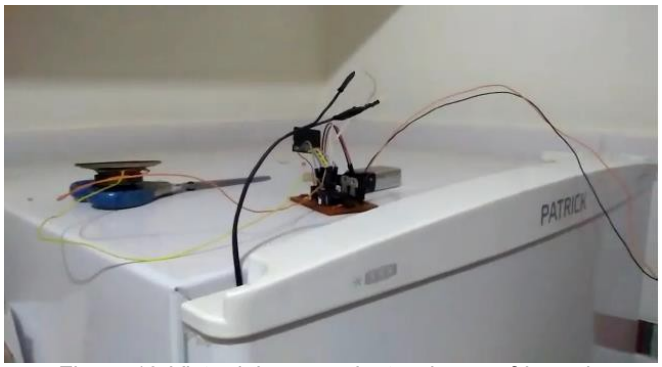


Figura 13 *Vista del sensor dentro de un refrigerador*

Por último, después de verificar que el circuito y programación funcionaron correctamente, se procedió a ensamblar el sistema dentro del gabinete plástico obteniendo como producto final el termómetro sonoro para personas no videntes.

3. RESULTADOS

Mediante un estudio de los elementos existentes aplicados a mejorar las condiciones del trabajo de una persona no vidente en ambientes cerrados como una casa de familia, hemos observado que los mismos son escasos y de un costo elevado, generalmente por su procedencia del exterior. Con el diseño y construcción de este termómetro parlante se logra mejorar la integración de la persona no vidente, así como disminuir notablemente los problemas que origina en los familiares directos, reduciendo tiempos improductivos de quien lo asiste o acompaña y mejorando la calidad de vida de la persona al tener mayor autonomía para desenvolverse en su hogar.

Teniendo en cuenta el prototipo diseñado y construido, el mismo fue sometido a diferentes pruebas de campo para medir su desempeño en función a los parámetros de cálculo y técnicos, con resultados positivos.

Para probar su utilidad práctica y su aplicación en condiciones reales, se entregó el prototipo a personal de una ONG local que atiende la problemática de la discapacidad visual.

Allí se logró un resultado satisfactorio en su peso, material de construcción, lectura y sonido del valor de temperatura arrojado por el sensor, entre otros aspectos, pero surgieron inquietudes en el aspecto ergonómico, tubo protector del sensor de forma telescópica, y alguna dificultad para el manejo de los comandos, lo que pone de manifiesto que se tendría que realizar un rediseño de dicho prototipo, teniendo en cuenta estas sugerencias.

La construcción de este termómetro parlante, ver Figura 14, es producto de un desarrollo local que traería muchos beneficios al aprovechar la capacidad técnica e intelectual de su comunidad y permitiría su aplicación a nivel regional y nacional.

Figura 14 *Vistas del gabinete atrás, frontal y lateral*

4. CONCLUSIONES.

La vista es uno de los sentidos más importantes del ser humano, porque brinda la mayor parte de la información del mundo circundante.
Existen millones de personas con discapacidad visual, las cuales pueden realizar trabajos por sí mismas, y apoyándose en los avances que brinda la tecnología actual, efectuar tareas más específicas y ser ejemplo para las demás.
En virtud de los resultados obtenidos con este prototipo de termómetro parlante, es evidente que se puede mejorar su aspecto ergonómico con un diseño adecuado, teniendo en cuenta las sugerencias aportadas por las personas que lo utilizaron.
Para reducir notablemente el tamaño de los circuitos, se puede integrar la tecnología actual existente en la ciudad y, así abaratar costos y procesos productivos, lo que redundaría en un beneficio para más personas.
Existe tecnología exclusiva para personas con discapacidad visual y otro tipos de tecnologías, pero en muchas ocasiones acceder a ellas resulta difícil y caro.

5. REFERENCIAS.

[1] Sánchez Caballero, M. (2015). *Baja visión y tecnología de acceso a la información: Guía de ayudas técnicas de bajo coste*. Colección Democratizando la Accesibilidad Vol. 8. La Ciudad Accesible.

[2] OMS, (2013). *Ceguera y discapacidad visual.* Disponible en http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs282/es/ Nota descriptiva N° 282

[3] Ceditec, (2014) *Aplicaciones móviles para personas con discapacidad visual*. Disponible en: http://www.ceditec.etsit.upm.es/index.php?option=com_content&view=article&id=22087%3Aaplicaciones-moviles-para-personas-con-discapacidad-visual&catid=40&Itemid=1440&lang=es ,España

[4] Gómez Gonzalez, S. (2016) *El gran libro de Solidworks*. Editorial: Marcombo. Madrid

[5] Grande Sanpedro, F. (2016) *Solidworks fácil*. Editorial: Alfaomega Marcombo. Madrid

[6] Torrente Artero, O. (2013) *Arduino. Curso práctico de formación*. Primera edición. Editorial: Alfaomega. México

[7] Saenz Flores, M. (2018) *Curso básico de Arduino*. Primera edición. Creative commons

[8] García Breijo, E. (2008) *Compilador C CSS y Simulador Proteus para Microcontroladores PIC*. Primera edición. Editorial: Alfaomega. México.

Solicitaciones en un acoplamiento cardánico de uso agrícola

Gallo, Omar D.; Díaz, Alberto J.; Ferreyra, Diego M.

Universidad Tecnológica Nacional FR. San Francisco
Av de la Universidad 501.
odgallo@gmail.com

RESUMEN.

Este trabajo relata el proceso de verificación de solicitaciones de un acoplamiento cardánico de uso agrícola, realizado en un laboratorio equipado con frenos dinamométricos. Se usó un motor eléctrico en reemplazo del tractor, para el movimiento de giro del eje.
Las pruebas realizadas fueron: ensayo de vibraciones, ensayo de calentamiento, ensayo de rotura del fusible mecánico y cálculo de esfuerzos mecánicos y deformaciones.
Una aplicación futura de los resultados de estas pruebas y cálculos permitiría, eventualmente, racionalizar las dimensiones mecánicas y los materiales usados, lo cual llevaría a una reducción de los costos de fabricación del cardan.

Palabras Claves: Transmisión en ejes, cardan, ensayo cardan

ABSTRACT
In this article, a description is made of a procedure for the assessment of stresses on an agricultural-machine cardan shaft tested in a laboratory equipped with dynamometric benches. An electric motor was used as a substitute for the tractor as a means to rotate the shaft.
The following assessments were made: vibration test, temperature-rise test, torque test up to shear rupture of mechanical fuse, and calculation of mechanical stresses and strains.
The results of said assessments and calculations may eventually help rationalize the mechanical dimensions and the materials employed, which could in turn lead to a reduction in cardan shaft manufacturing costs.

1. INTRODUCCIÓN

Los acoplamientos cardánicos son ampliamente usados en el agro para accionar maquinarias portátiles, como enfardadoras, desmalezadoras o cintas transportadoras. También se aplican en todo equipo que requiera una transmisión con ejes no alineados o con alineación variable. La norma IRAM [1], similar a otras internacionales, especifica para estos elementos su clasificación, categoría, tamaño estandarizado, velocidad y potencia nominales, y modo de acoplamiento.

Muchas empresas fabrican estos productos [2, 3], ya que su tecnología de diseño y elaboración está muy difundida. Se encuentran disponibles varias investigaciones sobre estos mecanismos [4, 5, 6], y existen innovaciones en su diseño que presentan ventajas respecto de las construcciones clásicas [7].

En un intento de aportar experiencias sobre acoplamientos cardánicos, este trabajo describe los ensayos, cálculos y análisis realizados a un mecanismo de este tipo, usando un freno dinamométrico para emular la carga y un motor eléctrico para el accionamiento, en reemplazo del tractor.

Las pruebas fueron realizadas en el laboratorio del Grupo CIDEME [8] de la UTN FR. San Francisco, por estudiantes avanzados de ingeniería, supervisados por sus profesores.

2. MÉTODO

Este estudio consistió en verificar los niveles de exigencia mecánica y térmica del acoplamiento, mediante distintos ensayos estandarizados, y comparar los resultados con lo especificado en las normas o con los límites admitidos por los materiales.

La junta cardánica ensayada era de marca Micrón Fresar, tipo Max 22 / Max 24 – TA 1030, de tamaño 6 según IRAM. Fue cedida, sin uso, por el fabricante y tenía 1,82 m de longitud total y 1,25 m de eje. Se probó a una velocidad de 540 1/min y con un par de 1000 Nm, sujetándola por un extremo al motor eléctrico y por el otro al freno dinamométrico, como se muestra en las figuras 1 y 2.

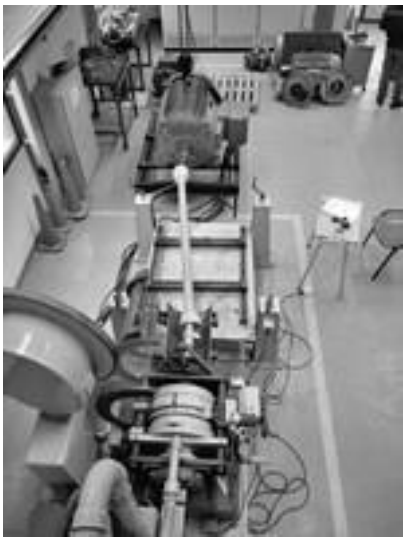


Figura 1. *Ensayo del acoplamiento al dinamómetro (vista superior)*

Figura 2. *Ensayo del acoplamiento al dinamómetro (vista lateral)*

En estas figuras se observa el acoplamiento mientras se prueba con la desalineación de 6° establecida por las normas.

2.1. Ensayo de vibraciones

Se midió el nivel de vibraciones, en primer lugar, con ambos extremos de la barra alineados y, luego, con una desalineación de 6° respecto al eje de rotación; como es usual, las vibraciones se tomaron en los dos extremos y en tres ejes perpendiculares: axial, vertical y horizontal, situando un transductor sobre la carcasa del dinamómetro (extremo de entrega de potencia) y otro en la ,tapa delantera del motor de accionamiento (extremo de toma de potencia) (Figs 3 y 4)

Los valores se tomaron en frío y luego de la prueba de calentamiento; fueron estos últimos lo que se tuvieron en cuenta para las evaluaciones posteriores.

Se usó un analizador digital de vibraciones, calibrado y de última generación, que tiene una alta capacidad de registro y que contiene un software de graficación espectral.

Durante este ensayo, el acoplamiento cardánico funcionó a valores nominales de velocidad y torque (para categoría 1 y tamaño 6), que fueron 540 1/min y 1000 N.m (56,5 kW), respectivamente.

2.2 Ensayo de calentamiento

Se mantuvo la junta cardánica funcionando en las condiciones nominales ya indicadas durante dos horas, verificando mediante registros en cada cuarto de hora, la estabilización y normalidad de las temperaturas alcanzadas por los rodamientos de ambos extremos (si hubiera existido alguna anomalía, dichas temperaturas se hubieran disparado rápidamente a valores muy elevados).

Figura 3. *Instrumento para medir vibraciones*

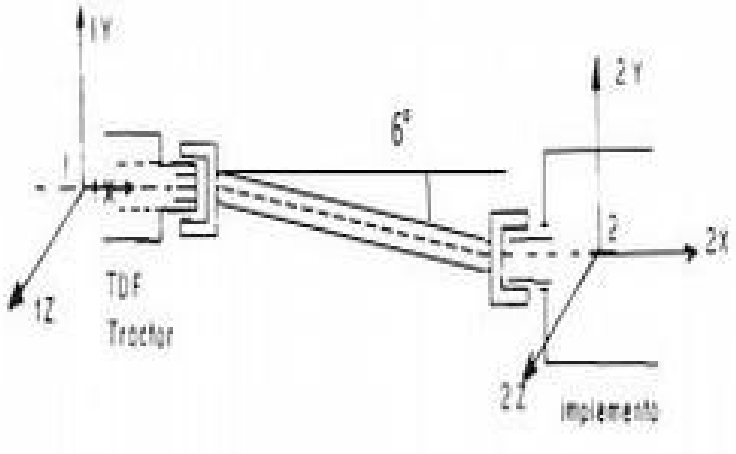


Figura 4. *Medición de vibraciones en tres ejes*

Se usó, para la medición, una cámara termográfica FLUKE Ti105 de exactitud ± 2 °C y provista de software para el graficado y estudio del mapa térmico obtenido.

2.3 Ensayo de rotura del fusible mecánico

Mientras la barra cardánica giraba acoplada al dinamómetro, se incrementó el momento resistente hasta que se produjo la rotura del único tornillo fusible. En tales condiciones, el extremo que entrega la potencia se libera y se detiene, mientras que el resto del mecanismo continúa girando. Se usó, para esta prueba, como también para la de calentamiento, un freno dinamométrico calibrado marca Schenck, con capacidad de 300 kW en 1500 1/min (Fig. 1). El registro del incremento de momento resistente y del valor de rotura se obtuvieron mediante una celda de carga BCL de 10000 N con su placa trasductora de fabricación propia y un software estándar de National Instruments, incluidos en el sistema dinamométrico, de clase 0,2.

2.4 Cálculo de las solicitaciones mecánicas

La barra de transmisión (telescópica) está conformada por dos tubos de perfil trilobular de acero con bajo contenido de carbono que se insertan uno dentro del otro (Figs 5 y 6). Los cálculos consistieron en averiguar los esfuerzos de torsión y el ángulo de deformación producido en dichos perfiles, por la carga de rotura del fusible.

Figura 5. *Barra telescópica del cardan, con capuchón plástico de protección*

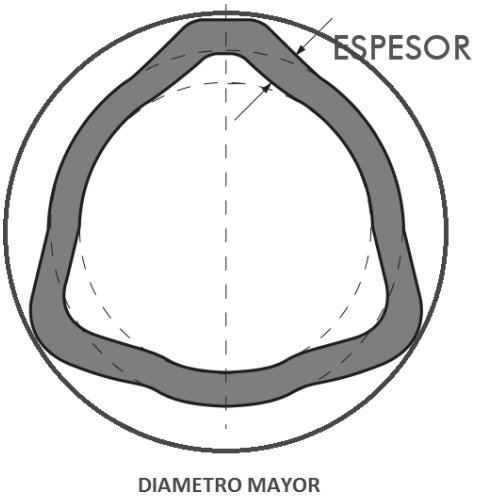


Figura 6. *Perfil trilobular de la barra telescópica Círculos mayor, medio y menor, usados en el cálculo*

Se usaron, para resolver estas cuestiones, las expresiones clásicas de cálculo de resistencia de materiales [9] y asemejando cada tubo a un triángulo equilátero, inscripto (por sus vértices) y circunscripto (por el centro de sus lados) a sendos círculos: ecuaciones (1), (2) y (3).

$$\tau_{max} = 16\ M_t \cdot D / \pi \cdot (D^4 - d^4) \quad (1)$$

τ_{max} : esfuerzo de corte máximo (MPa)
M_t : momento torsor (Nm)
D, d : diámetros de los tubos, mayor y menor (m)

$$\theta_{max} = M_t \cdot L / (G \cdot I_p) \quad (2)$$

$$I_p = \pi \cdot (R^4 - r^4) / 2 \quad (3)$$

θ_{max} : ángulo de torsión (°)
L : longitud de la barra (1,25 m)
G : módulo de elasticidad por cizallamiento (Pa)
I_p : momento de inercia polar (m^4)
R, r : radios de los tubos, mayor y menor (m)

3. RESULTADOS

Los resultados obtenidos en cada una de las pruebas y los cálculos, indicados a continuación, permitieron arribar a conclusiones útiles para optimizar el diseño y para delimitar las condiciones seguras de trabajo del cardan.

3.1 Ensayo de vibraciones

Se observó que la desalineación de 6° produjo, a la velocidad de 540 1/min y como era de esperar, un notable incremento del nivel global de vibraciones, por ejemplo, en el extremo de accionamiento (tractor), sobre el eje vertical. En la Fig. 7, se muestra un espectro de vibraciones (velocidad en mm/s contra velocidad de giro en ciclos por minuto), con el eje alineado, en el que se destacan los armónicos 1°, 2°, 3°, 4°, 10° y 13°, de mayor amplitud (540, 1080, 1620 y 2160, ,5400 y 7005 1/min), en donde se destaca el principal, de 0,85 mm/s

En Fig. 8, con el eje desalineado, se observan cuatro armónicas principales (540, 1080, 1620 y 2160 rpm) cuyo mayor valor se acerca a los 2,8 mm/s. La escala de este gráfico es distinta a la del anterior.

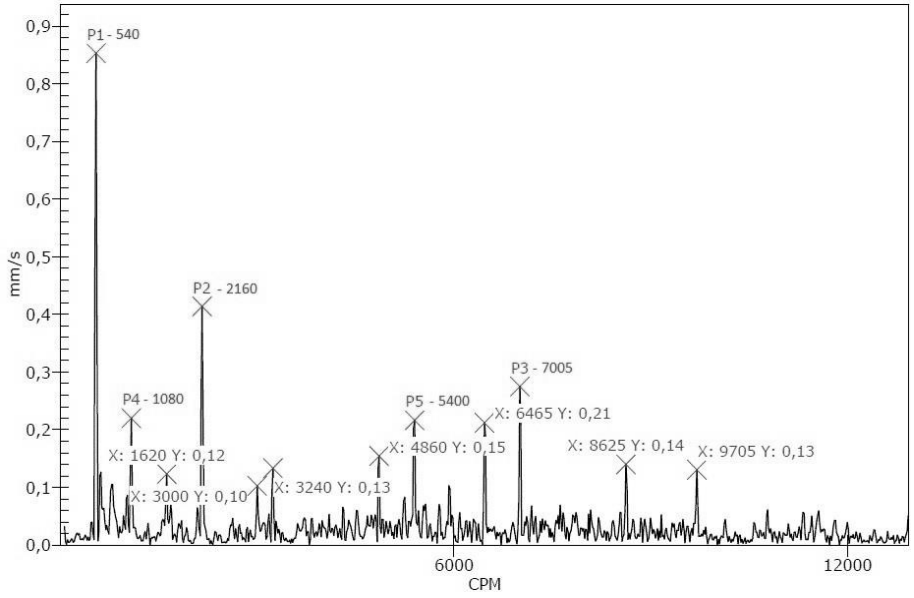


Figura 7. *Espectro de vibraciones vertical, cardan alineado*

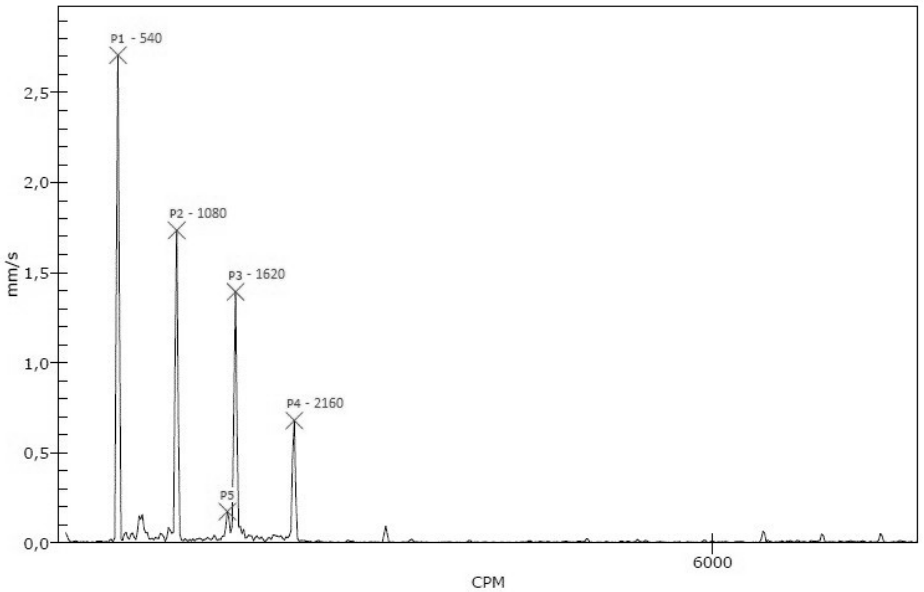


Figura 8. *Espectro de vibraciones vertical, cardan desalineado*

En la tabla 1 se indican los valores globales de vibraciones en ambos extremos del cardan, cuando el eje está alineado.

Tabla 1. *Valores globales de vibraciones en los extremos del cardan (alineado)*

	Extremo toma potencia (tractor) (mm/s)	Extremo entrega potencia (implemento) (mm/s)
Axial (X)	5,04	2,69
Vertical (Y)	4,42	1,63
Horizontal (Z)	2,63	2,15

3.2 Ensayo de calentamiento

Como ya se mencionó, la estabilización térmica se alcanzó luego de dos horas de funcionamiento en las condiciones nominales indicadas, tanto alineado como desalineado. Los registros de temperatura se realizaron cada 15 minutos. Al final, se tomaron las imágenes térmicas.

En la tabla 2 se muestran los saltos térmicos estabilizados, respecto de la temperatura ambiente, de ambos extremos del cardan, en las mencionadas condiciones de acoplamiento; fueron mayores cuando el eje estuvo desalineado, algo similar a lo ocurrido con los niveles de vibraciones.

Tabla 2. *Valores de los saltos térmicos en extremos del cardan*

	Extremo toma potencia (tractor) (K)	Extremo entrega potencia (implemento) (K)
Cardan alineado	9,80	6,70
Cardan desalineado	14,6	13,4

En las Figs. 9 y 10, se muestran imágenes térmicas de los extremos del accionamiento, obtenidas con cámara termográfica.

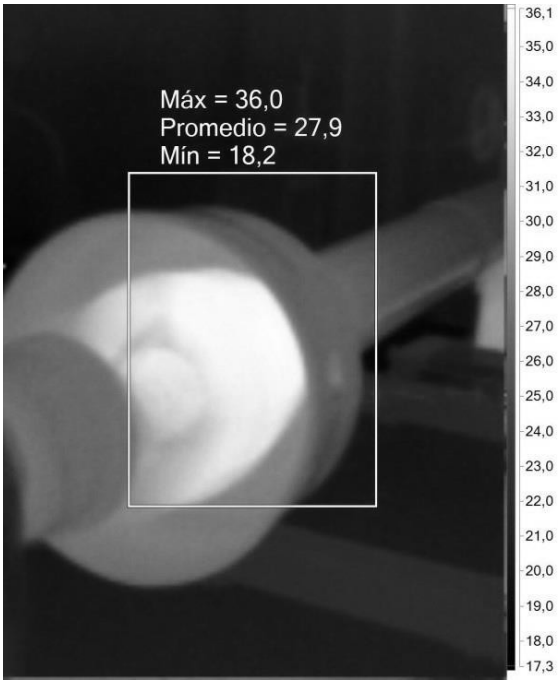


Figura 9. *Imagen térmica del extremo tractor*

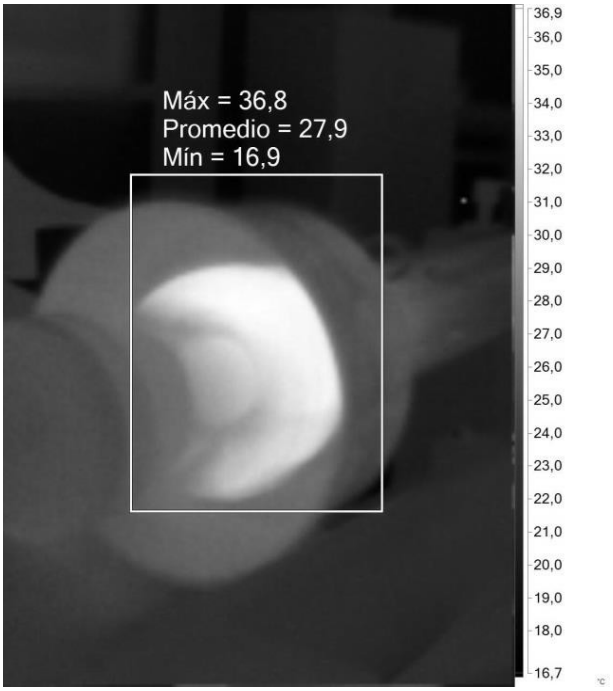


Figura 10. Imagen térmica del extremo implemento

3.3 Ensayo de rotura del fusible mecánico

Se comprobó el momento resistente que ocasionó la rotura del fusible mecánico, un tornillo que debe cortarse ante una sobrecarga o por bloqueo del eje. Con el acoplamiento girando alineado, se incrementó el par hasta que se produjo la rotura del tornillo. Este dato es importante para verificar la capacidad máxima instantánea del mecanismo. En la Fig. 11, se presenta la curva del par en N·m en función del tiempo (número de muestras continuas) durante el ensayo. El valor de rotura fue de 1600 N·m para un único tornillo fusible. La Fig. 12 muestra la curva de velocidad del eje, que fue de 1000 1/min para esta prueba, por razones de capacidad del dinamómetro (a menores velocidades, este dinamómetro, por sus características hidrodinámicas, no admite la producción de los pares resistentes requeridos para la prueba) . Las experiencias arrojaron valores similares, en tres tornillos de muestra.

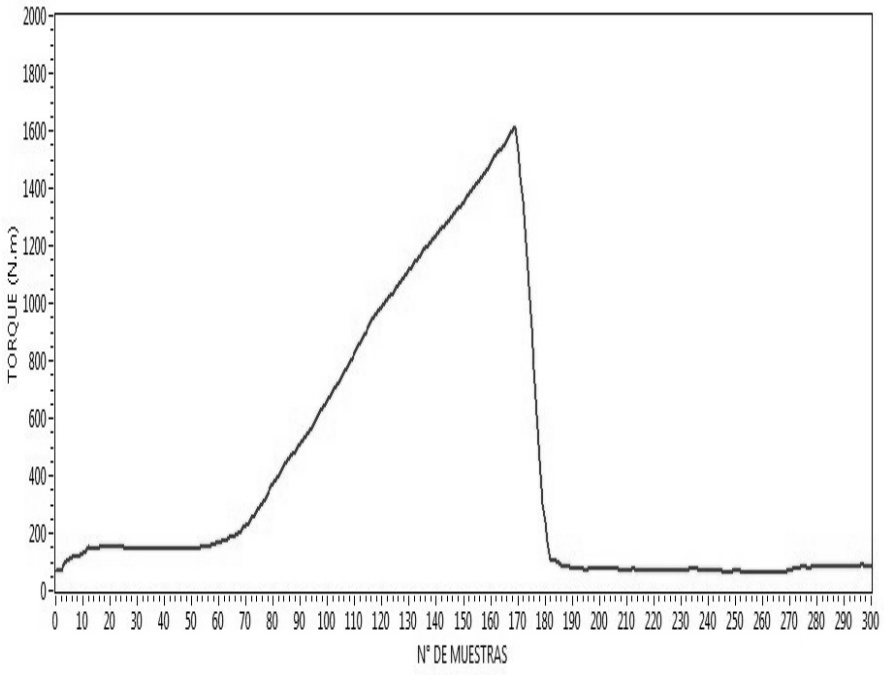


Figura 11. *Curva del momento en función del tiempo*

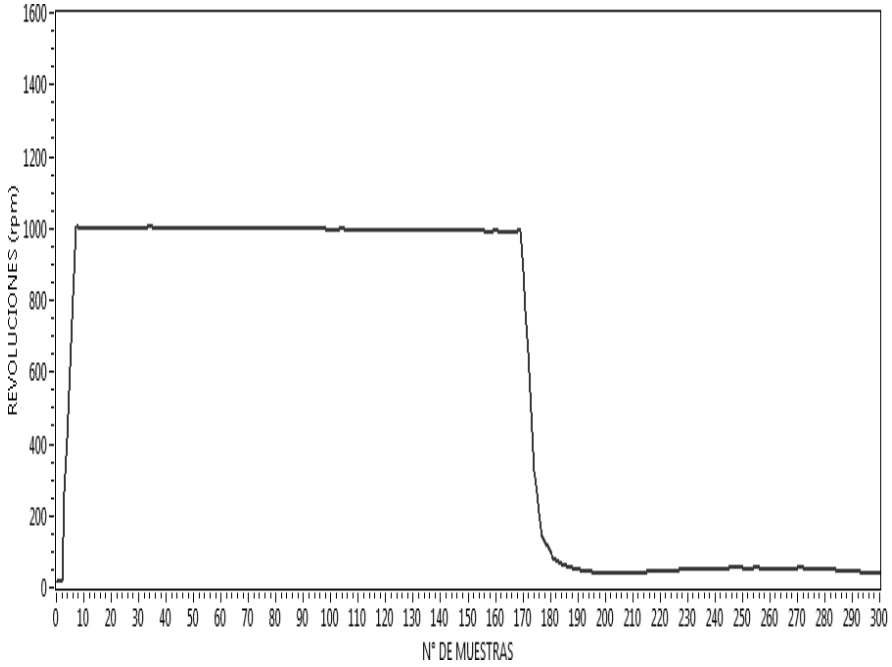


Figura 12. *Curva de velocidad en función del tiempo*

3.4 Cálculo de las solicitaciones mecánicas

Con el relevamiento del acoplamiento, se calcularon los esfuerzos de corte en el tornillo fusible y de torsión en el tubo trilobular que constituye el eje extensible del mecanismo para un par extremo de 1600 N·m, además del ángulo de torsión. Se usaron las expresiones de las ecuaciones (1), (2) y (3).

- Para el tornillo fusible, de 7,9 mm de diámetro y 49,5 mm² de sección, se obtuvo un esfuerzo de corte de 507 MPa.
- El tubo trilobular externo tiene un diámetro exterior de 63 mm y 4 mm de espesor; el esfuerzo de corte medio obtenido fue de 79,4 MPa.
- El caño interno tiene un diámetro mayor de 52 mm y 5,5 mm de espesor. El esfuerzo fue de 96,2 MPa.
- Para 1600 N·m, el ángulo de torsión máximo del tubo telescópico fue aproximadamente de 0,15°.

4. CONCLUSIONES

Aún en las condiciones de desalineación normalizadas, el nivel de vibraciones no superó los valores razonables (Fig. 13, grupos A y B, potencia menor de 300 kW); éstos incluyeron las vibraciones que pudo transmitir el motor y el freno dinamométrico. Sin embargo, las condiciones de trabajo reales son más exigentes, sobre todo ante cambios de dirección o cargas anormales transitorias.

Las temperaturas en las condiciones de prueba fueron aceptables, considerando que no se produjo el licuado de la grasa de lubricación, que ocurriría aproximadamente a unos 130 °C. Aún a altas temperaturas ambiente en condiciones normales, resta un amplio margen para llegar al valor indicado.

El par de rotura del fusible mecánico fue el esperado, aproximadamente 1,6 veces el par nominal.

Las solicitaciones mecánicas de los tubos telescópicos se calcularon para valores límites de momento resistente y los resultados no resultaron excesivos; de hecho, están muy lejos del módulo del elasticidad transversal del acero (aproximadamente 85000 MPa [11, 12] , suponiendo un tipo SAE 1010). Por lo tanto, estos esfuerzos no produjeron anomalías ni deformaciones notorias. Naturalmente, el daño que pueda originarse durante el funcionamiento en campo guardará estrecha relación con la actuación del fusible mecánico.

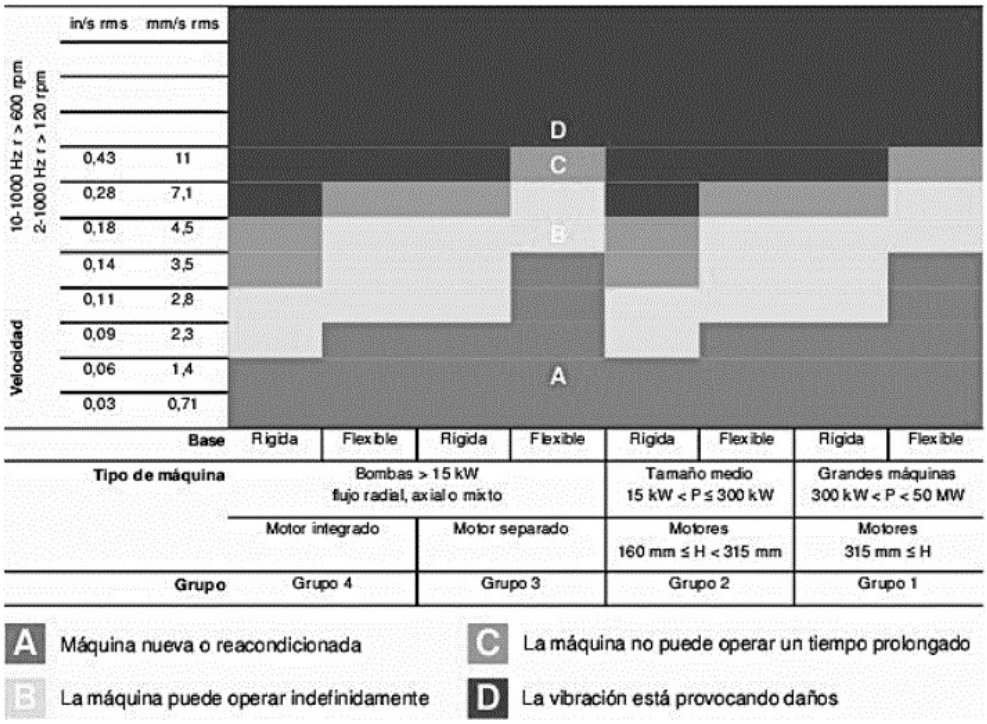


Figura 13. *Gráfico referencial de vibraciones admitidas [10]*

Esta experiencia y sus resultados, sumada a las similares que se han realizado en este laboratorio en los últimos años, permitirá continuar con las investigaciones y aplicaciones referidas a los cardanes, entre las que se pueden citar:

a) Mejorar la sistematización de los ensayos de estos equipos en un ámbito controlado.

b) Proporcionar un medio para ensayar a rotura los fusibles mecánicos de este tipo de accesorios.

c) Trazar un mapa más preciso de la dependencia del nivel de vibraciones con la desalineación vertical y horizontal del acoplamiento.

d) Brindar al fabricante asesoramiento sobre la racionalización de sus materiales.

La óptica de este último punto apunta a una reducción de los costos de fabricación del cardan.

REFERENCIAS

[1] Norma IRAM 8065-1. *Maquinaria Agrícola Acoplamiento cardánico, tractor-máquina agrícola* (1998)

[2] Voith. *Catálogo técnico sobre Ejes de punta universal de alto rendimiento* (2019).

[3] Tecnopower. *Catálogo técnico sobre Juntas universales cardan y conjuntos telescópicos* (2019).

[4] Álvarez Mejía, F. *Medidas de vibración de una junta cardánica acoplada entre tractor e implemento.* Universidad Nacional De Colombia (1990).

[5] Asonja, A; Desnica, E. *Reliability of agriculture universal joint shafts based on temperature measuring in universal joint bearing assemblies.* Spanish Journal of Agricultural Research, Vol 13, No 1 (2015).

[6] Piovan, M.T. *Juntas articuladas o universales.* UTN-FRBB. Cátedra Elementos de Máquinas (2014).

[7] Domínguez, E. J., & Ferrer, J. *Sistemas de transmisión y frenado*. Editex (2012).

[8] Gallo, O. *Convenio Universidad – Empresa. Grupo CIDEME*. Edutecne (2017). http://www.edutecne.utn.edu.ar/monografias/CIDEME_2017.pdf

[9] Gere, James M. *Resistencia de materiales.* Ed.: Ites – Paraninfo. Madrid (2006).

[10] Carlos Rubiano Matoma. *Implementación de los resultados del análisis de la vibración en l la planeación del mantenimiento, para la categorización y clasificación de la severidad dela vibración de equipos en casa Luker SA (2017).* https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2476/Rubianocarlos2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y

[11] Wikipedia. Anexo: *Constantes elastoplásticas de diferentes materiales* (2019).

https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Constantes_el%C3%A1stopl
%C3%A1sticas_de_diferentes_materiales

[12] Shackelford, James F. *Introducción a la ciencia de materiales para ingenieros*. Ed. Pearson Education (Ed. 6). Madrid (2005).

Análisis estructural de equipo del sector de la construcción para la industria local

W. R. Tonini*; D. Damia; M. O. I. Castellano; D. E. Ferradas

**Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco*
DeSiMec (Grupo de investigación y desarrollo de Simulaciones mecánicas)
Avenida de la Universidad 501 (2400) San Francisco. Provincia de Córdoba. ARGENTINA.
wtonini@sanfrancisco.utn.edu.ar

RESUMEN.

Este trabajo pretende materializarse en un prototipo de una carretilla para la empresa DAMIA Hnos. S.A. de la ciudad de San Francisco. Se optó por los Métodos Numéricos como instrumento de apoyo a la innovación, las simulaciones computacionales constituyen un complemento esencial para la industria permitiendo reducir la necesidad de experiencias con prototipos y comparar fácilmente distintas alternativas de diseño para llegar al óptimo ingenieril.
El diseño expuesto de la nueva carretilla es el resultado de la sinergia de los datos obtenidos de tres áreas de análisis. Primero se relevó el diseño y el proceso de fabricación actual del producto carretilla. El segundo paso llevó a cabo un análisis ergonómico sobre las tareas comunes realizadas por operarios en los posibles escenarios de utilización del equipo, aportando datos formales en esta área que contribuyeron a la definición de parámetros geométricos del diseño optimizado.
Por último, la aplicación sobre la estructura del análisis por Elementos Finitos mediante software comercial para comprender el comportamiento estructural.
Los datos revelaron varios criterios de diseño y se pudo definir parámetros más claros y concisos para la nueva estructura de la carretilla, que cumple con los objetivos de optimización previstos. Al aplicar sobre el diseño optimizado las simulaciones computacionales se observaron mejoras como disminuciones de las tensiones solicitadas a la estructura, reducción de esfuerzos para el operario, optimización del tiempo y simplificación del proceso de manufactura gracias a la propuesta de incorporación de maquinaria de mayor tecnología. Es una ampliación de aplicación y continuidad del proyecto IPUNSF0003993 “Diseño y simulación de modelos estructurales destinados a la industria”.

Palabras Claves: Diseño, Innovación, Simulaciones, Optimización, Carretilla.

ABSTRACT

This paper consists of a prototype of a wheelbarrow for the company DAMIA Hnos. S.A. from the city of San Francisco. Opted for numerical methods as an instrument to support innovation. Computational simulations are an essential complement to the industry, allowing us to reduce the need for experiences with prototypes and easily compare different design alternatives to reach the optimal engineering.
The exposed design of the new wheelbarrow is the result of the synergy of the data obtained from three areas of analysis. First, the design survey and current manufacturing process of the trolley product. The second step carried out an ergonomic analysis of common tasks by operators in the possible scenarios of use of the equipment, providing formal data in this area that contributed to the definition of geometric parameters of the optimized design.
Finally, the application on the structure of finite element analysis through commercial software to understand the structural behavior.
The data revealed several design criteria and could be defined clearly and more concise parameters for the new structure of the wheelbarrow, achieving the planned optimization objectives. Applying computational simulations on the optimized design demonstrate improvements such as stress reduction requested to the structure, less operator's efforts, time reduction and a simplified manufacturing process due to the proposal of incorporating a greater technology machinery. It is an extension of application and continuity of the IPUNSF0003993 project "Design and simulation of structural models for the industry".

1. INTRODUCCIÓN

Los elementos de transporte manuales datan de hace mucho tiempo, su evolución es continua según su utilización y materiales disponibles. Una carretilla puede describirse como un contenedor móvil provisto con dos brazos y rueda que se utiliza para el transporte humano de pequeñas cargas a distancias cortas [1]. Su principio de funcionamiento fue descripto matemáticamente en la Colección de *Pappus de Alejandría*, una obra escrita alrededor del año 340, en donde Arquímedes lego su célebre frase "Dadme un punto de apoyo y moveré el mundo" [2].
En los tiempos actuales donde el mundo se globaliza y las importaciones de diversos bienes amenazan la Industria Nacional en ciertas áreas, se debe innovar en diseño y producción para lograr la equidad comercial y ser económicamente equilibrado, utilizando los conocimientos científicos y tecnológicos disponibles en el país. Este es el problema relevado objetivamente en la empresa DAMIA HNOS S.A. de la ciudad de San Francisco (de ahora la empresa) desde la UTN-FRSFCO. La empresa tuvo la necesidad de actualizar sus productos para ser competitivos ante el actual mercado, solicitando a la facultad la ayuda profesional y de sus investigadores para lograr innovarlos.
Las actividades a realizar por el grupo DeSiMec se orientan hacia la promoción de la innovación tecnológica y organizacional mediante actividades sustantivas de investigación aplicada, experimentación adaptativa en sistemas reales de producción, extensión y transferencia de tecnología para la promoción del desarrollo regional.
Se optó por los métodos numéricos como instrumento de apoyo a la innovación, los que se convirtieron en una herramienta esencial para el científico y el tecnólogo modernos, ya que permiten resolver casos que en el pasado eran prácticamente imposibles de resolver por métodos tradicionales. Las simulaciones computacionales constituyen un complemento esencial para la industria permitiendo reducir la necesidad de experiencias con prototipos (caros y demandantes de mucho tiempo) y comparar fácilmente distintas alternativas de diseño para llegar al óptimo ingenieril.
Este trabajo tiene como objetivo general innovar el diseño y la fabricación de carretillas utilizando diversos puntos de vista de análisis para aumentar la productividad regional con posible sustitución de importaciones y establecer pautas ergonómicas como base para enriquecer el debate de la normativa de seguridad e higiene en el sector. Para lograrlo, se relevaron los diseños y los procesos productivos actuales del equipo específico carretilla con técnicas de gestión de la producción y elementos de medición estándares, que serán utilizados como punto de partida para los análisis de mejora. Lo que se pretende mejorar es el diseño, con una componente de innovación, que optimice los esfuerzos estructurales y la aplicación de distintos materiales; mejorando al menos 1 (un) aspecto ergonómico; y por otro lado, aplicar simulaciones computacionales utilizando software de origen comercial como SolidWorks Simulations® para evaluar el comportamiento de un modelo estructural basado en elementos mixtos de vigas y cáscaras que reproduzca los esfuerzos de trabajo carretilla de la empresa.
El presente desarrollo es una ampliación de aplicación y continuidad del proyecto IPUNSF0003993 "Diseño y simulación de modelos estructurales destinados a la industria." dentro de la UTN-Facultad Regional San Francisco. La transferencia de la experiencia obtenida hacia las cátedras de Elementos de Máquinas y Organización Industrial se formaliza con una exposición en clases con la intensión de lograr una familiarización de estas técnicas y herramientas de simulación para que perpetúe su desarrollo entre los alumnos de futuros años.

3. METODOLOGÍA Y CONSIDERACIONES PRELIMINARES

El diseño expuesto de la nueva carretilla es el resultado de la sinergia de los datos obtenidos de tres áreas de análisis. Primero se relevó el diseño y el proceso de fabricación actual de una carretilla de estructura tubular, caja de chapa plegada y rueda maciza; mediante el uso de instrumentos de medición y técnicas actuales de producción para conocer con exactitud el estado del equipo carretilla y su proceso de fabricación.
El segundo paso llevó a cabo un análisis ergonómico sobre las tareas comunes por operarios en los posibles escenarios de utilización del equipo, aportando datos formales en esta área que contribuyeron a la definición de parámetros geométricos del diseño optimizado.
Por último, la aplicación sobre la estructura del análisis por Elementos Finitos mediante software comercial, que permitió comprender los fenómenos estructurales lineales que pueden estar presentes en estas estructuras y obtener algunas conclusiones que aportaron al diseño innovador.
Las principales modificaciones sobre el modelo original constan de cambios en las especificaciones para el diseño, basadas en propuestas dadas por la experiencia de los integrantes.

3.1. Relevamiento del diseño y proceso de fabricación

Realizada la primera etapa de relevamiento de planos y procesos se comenzó a investigar sobre todos los puntos plantados para el trabajo, las cuales son: las reglamentaciones vigentes en Argentina para uso de carretilla.
Se modelaron los equipos con herramientas de CAD, adoptando el paquete de SolidWorks® versión educativa que posee la Universidad. Se determinan las cargas actuantes sobre el producto según el uso general del mismo y se plantean las condiciones de borde que son el punto de partida para probar las hipótesis de simulación.

3.2. Análisis ergonómico

La normativa nacional no tiene avances sobre la fabricación y utilización de carretillas, ni en la regulación de prototipos físicos, identificación de las cargas, la forma de aplicarlas y las desviaciones estructurales admitidas, más allá de las normativas generales de seguridad eléctrica y de barandas [3,4].
De la investigación se pudo recopilar información y se buscó la manera de hacer la carretilla lo más ergonómica posible para el promedio de la población argentina, en donde se tiene en cuenta la altura promedio del hombre y su separación entre hombros, además de la posición del refuerzo entre apoyos de la herramienta para que no moleste en su traslado.
De esta manera los factores intervinientes en la mejora ergonómica para la modificación del chasis se pudieron resumir en los siguientes:

1. Altura de las manijas al suelo.
2. Separación entre manijas.
3. Posición del refuerzo entre apoyos.
4. Carga máxima útil del producto.
5. Fuerza necesaria para su utilización, modificando el punto de apoyo y la distancia del peso al punto de aplicación de la fuerza.
6. Tipo de rueda para absorción de impactos.

Para poder realizar los cálculos para cumplir con los puntos 1 y 2 de dimensiones del chasis se utilizó la siguiente información: “Las medidas del hombre argentino promedio son 100,8 cm / 89,6 cm /94,6 cm. 1,74 m de altura y 74,4 kg. Los datos surgen de un censo de medidas que viene realizando desde hace dos años la división de textiles del INTI.” Con esto en cuenta, se eligió una altura de manijas al suelo de 70 cm. (fig. 1) y una separación de 50 cm (fig. 2).

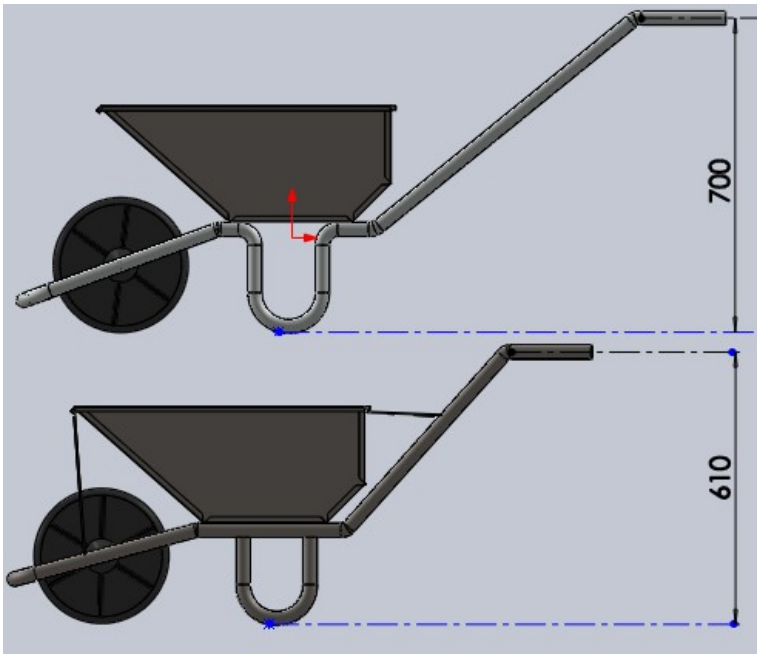


Figura 1 *Comparativa entre modelo reformado (arriba) y modelo actual (abajo).*

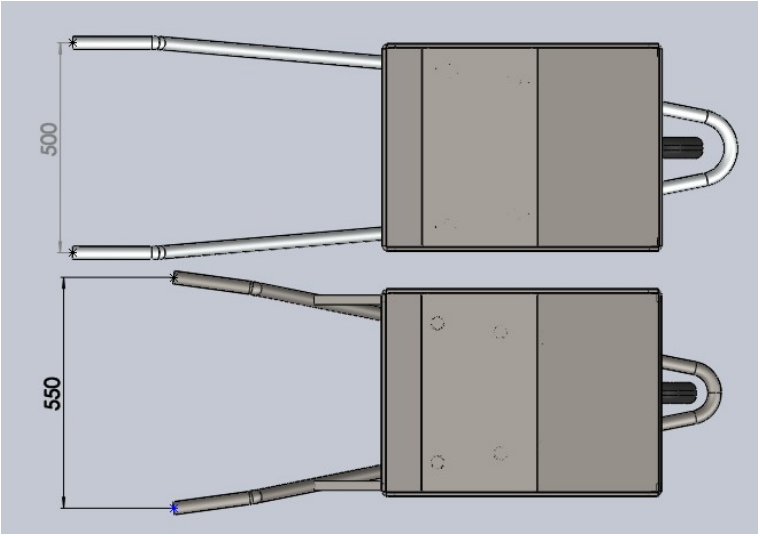


Figura 2 *Comparativa entre modelo reformado (arriba) y modelo actual (abajo).*

Con respecto al punto 3 se decidió cambiar la posición del refuerzo entre los apoyos del punto cercano a la persona al punto cercano a la rueda para que no interfiera en el caminar de la misma. En el punto 4 se realizó una simulación (se expone más adelante) para corroborar que la estructura y la batea resistan los 70 litros de capacidad de la batea cuando esta está completamente cargada de hormigón.
Para lograr cumplir con el punto 5, en el diseño del chasis se consideró la carga máxima y se fueron variando la distancia del centro de masa al punto de apoyo y la distancia del centro de masa al punto de aplicación de la fuerza. Por esta razón en las figuras 1 y 2 se puede observar que el chasis es considerablemente más largo en el modelo reformado. Para lograr esto se utilizó la ley de la palanca

$$P * B_p = R * B_r \quad (1)$$

Para el caso de palanca de 2° grado.

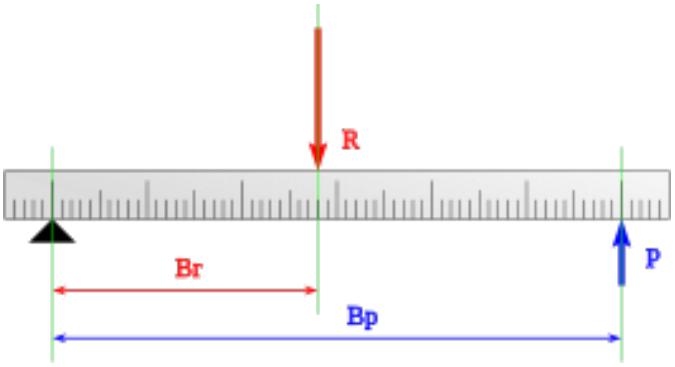


Figura 3 *Palanca de 2° grado.*

Finalmente para poder cumplir con el punto n° 6 se optó por reemplazar la rueda de goma compacta por una ruda neumática, ya que esta tiene mayor capacidad de absorción de impacto.

3.3. Simulación por el método de elementos finitos con SolidWorks Simulations®

El Método de los Elementos Finitos (MEF) es un método numérico general para la aproximación de soluciones de problemas de valores en la frontera caracterizados por ecuaciones diferenciales ordinarias o ecuaciones diferenciales en derivadas parciales que gobiernan la evolución espacio/temporal de una gran variedad de problemas en física e ingeniería [5]. Este método nace en los años 50/60 como herramienta para resolver problemas asociados a la teoría de la elasticidad. En la actualidad, existen numerosos programas comerciales que utilizan el método de elementos finitos para resolver diversos problemas de ingeniería. Se prefirió al software SolidWorks Simulations® [6] (anteriormente llamado COSMOS) por su disponibilidad en la Facultad.

Actualmente no hay normativa nacional que especifique los lineamientos mínimos de carretillas ni su forma de ensayarlos; menor aún es su aporte con las simulaciones numéricas como remplazo o posible alternativa sustituta de estos ensayos y pruebas [7]. Además, el Comité internacional ISO aún no adopta un método o procedimiento para validar el ensayo de estas normativas por medio de simulaciones por computadora; actualmente, este tema es motivo de debates [8]. La utilización de técnicas numéricas basadas en el método de elementos finitos sin duda constituye un camino sustentable para el análisis de diferentes configuraciones estructurales que permitan, de esta manera, minimizar el número de prototipos físicos y por ende el coste y tiempo de desarrollo [5,6]. Por cuestiones de respetar el convenio marco y específico con la empresa, no se revelan todas las medidas del diseño ni las especificaciones de los materiales, solo las que se consideran necesarias para explicar de la mejor forma posible el trabajo realizado.
Las simulaciones realizadas permitieron comprender los fenómenos estructurales lineales que pueden estar presentes en estas estructuras y obtener algunas conclusiones que aportaron al diseño innovador.

3.3.1 Estructura de la batea

El primer paso fue realizar un análisis de la batea o recipiente contenedor, calculando el peso máximo que puede transportar. El caso más desfavorable es la batea harta de hormigón, ya que los escombros y ladrillos dejan espacios con aire que disminuye la densidad a igual volumen. El peso considerado para la simulación es de 140 Kg. y se calculó considerando una densidad media para el hormigón de 2,40 Kg/dm^3 y un volumen de 58,33 dm^3 utilizando con la conocida ecuación 2 de la definición de densidad:

$$\delta = m / V \qquad (2)$$

Donde:

δ : densidad
m : masa (en sistema técnico es Kg Fuerza)
V : volumen

Luego se establecieron las condiciones de borde, considerando la rueda como punto de apoyo y las manijas como elemento donde se aplica la fuerza de reacción que soporta el peso propio de la carretilla y el de su material de transporte.
En la simulación, se usó malla tipo SHELL (2D) con elementos triangulares sobre el modelo de la batea por ser una pieza de chapa metálica es la que mejor se adapta, en el primer modelo (figura 4) no colocamos refuerzos en las aristas superiores y los resultados nos advirtieron que reforzáramos esta zona:

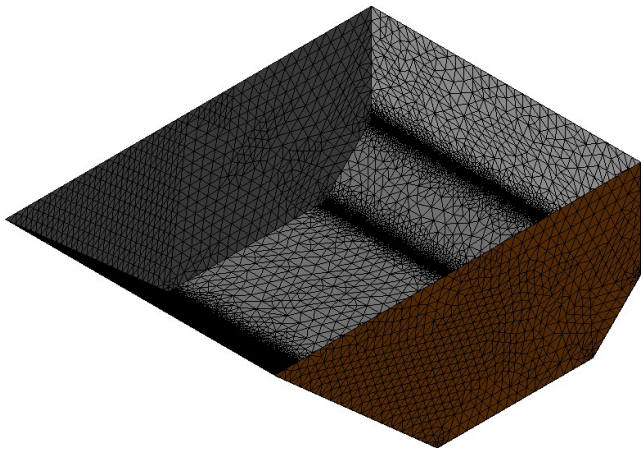


Figura 4 *Malla SHELL sobre batea*

La simulación es de tipo lineal ya que no consideramos en este trabajo los efectos dinámicos que pueden estar presente en los caminos cotidianos que se recorren con estos equipos. Se decidió por el criterio de falla de Von Mises, concluyendo que la concentración de cargas se da en los vértices de la batea y en pocos nodos cuyo error por norma de energía también es alto:

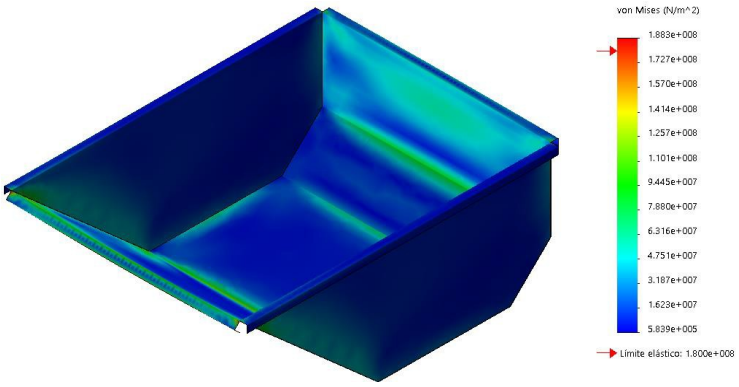


Figura 5 *Tensiones de Von Mises sobre la batea*

3.3.2 Estructura del chasis

En cuanto a la estructura tubular que conforma el chasis de la carretilla se diseñó en un solo cuerpo doblado en tres dimensiones, con objeto de evitar los tiempos de soldadura y en concordancia con las mejoras propuesta. El mallado utiliza elementos tipo viga de dos nodos (1D) que pueden resistir cargas de flexión, cortantes y de torsión, además de ser de rápido procesamiento [9,10]. La geometría resultante y su malla se presentan a continuación:

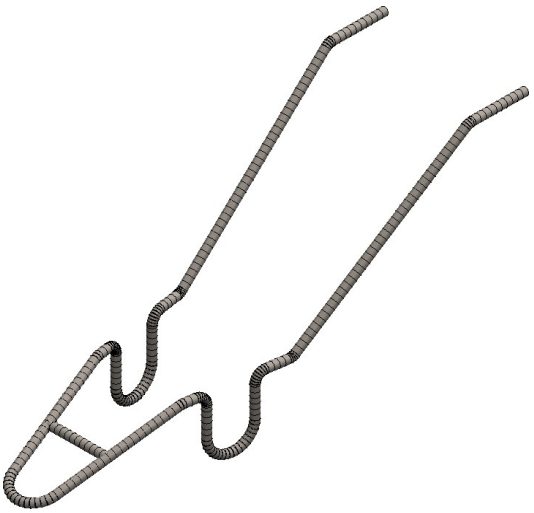


Figura 6 *Malla de elementos viga aplicada en la estructura portante o chasis*

La realización de varias simulaciones, variando las dimensiones de alto y largo del brazo de palanca se canalizó a la geometría definitiva dando una deformación aceptable de aproximadamente unos 6 mm en el brazo como indica la figura:

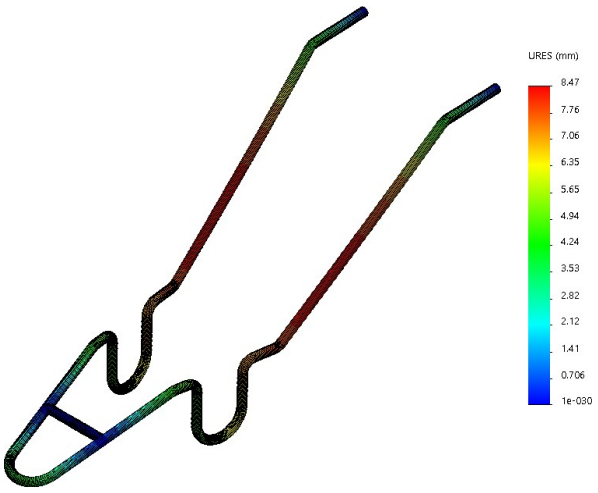


Figura 7 *Deformaciones unitarias URES*

3.3.3 Estructura carretilla

Se alcanzó vincular las mallas shell con las de tipo viga para poder comprender como funciona el conjunto, manipulando malla incompatible donde no hay una correspondencia de nodo a nodo entre cada tipo de malla de cada entidad en contacto.
El método consistió en optar por mallas de tamaño de elementos grandes y se fue afinando (achicando el tamaño) para observar la convergencia de los resultados. Las condiciones de borde como fijaciones y cargas, son idénticas a las anteriormente mencionadas en los apartados ***3.3.1*** y ***3.3.2*** y trasladadas al conjunto completo como lo muestra la imagen:

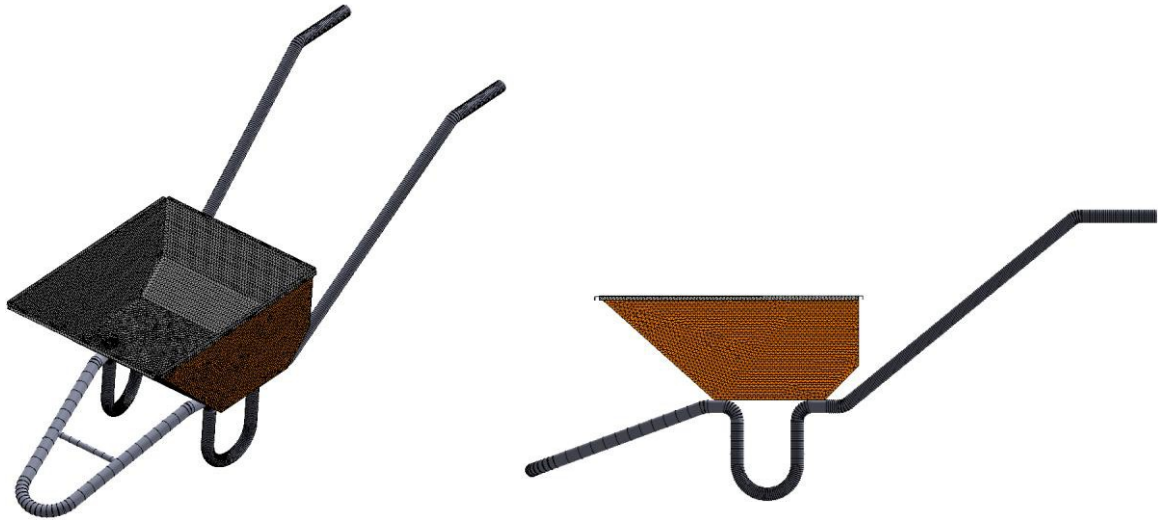


Figura 8 *Malla mixta*

Los resultaros de las simulaciones mostró en general buenas condiciones de resistencia, localizando los vértices de la batea como puntos de mayor tensión. Además, el brazo o perfil más largo del chasis es el que sufre mayor deformación pero dentro de los límites aceptables para el acero seleccionado.

4. CONCLUSIONES.

Los datos revelaron varios criterios de diseño y se consiguió definir parámetros más claros y concisos para la nueva estructura de la carretilla, que cumple con los objetivos de optimización previstos. Se demostró la mejora al aplicar sobre el diseño optimizado las simulaciones computacionales y observar la disminución de las tensiones que solicitaban a la estructura, la mejora en disminución de esfuerzos para el operario al introducir dimensiones mejor adaptadas al percentil de tamaño físico, y por último, la reducción de tiempos y simplicidad del proceso de manufactura gracias a la propuesta de incorporación de maquinaria de mayor tecnología.
Se logró una buena experiencia el manejo de las herramientas de simulación comerciales SolidWorks Simulations®.
Como derivado, la transferencia de la experiencia obtenida hacia las cátedras de Elementos de Máquinas y Organización Industrial con la intensión de favorecer, entre los alumnos de futuros años, la familiarización con estas técnicas y herramientas de simulación para que perpetúe su desarrollo.

5. REFERENCIAS.

[1] Wikipedia, (Online, 11-Abril-2017). Disponible: https://fr.wikipedia.org/wiki/Brouette.

[2] Wikipedia, (Online, 11-Abril-2017). Disponible: https://es.wikipedia.org/wiki/Palanca.

[3] "InfoLEG - Ministerio de Economía y Finanzas Públicas - Argentina." (Online, 19-Mar-2019). Disponible: http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/245000-249999/246272/norma.htm.

[4] IRAM 3578, (1989), "Protecciones de seguridad en maquinarias".

[5] Wikipedia, (Online, 18-Ago-2018). Disponible: http://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9todo_de_los_elementos_finitos.

[6] 2015 © DassaultSystèmes, "Structural Analysis" (Online, 15-May-2018). Disponible: http://www.solidworks.com/sw/products/simulation/structural-analysis.htm.

[7] Sanzi, H., Asta, E., "Lineamientos generales para el diseño estructural de bastidores y trailer de vehículos de transporte, construidos en nuestro país". *Aplicación de normas internacionales, Consultec, C. A. B. A., & Argentina, R. H. B. A.*

[8] Garat, Joaquín, (25 Abril 2017), "Consulta sobre carretillas y hormigoneras", *Coordinador Técnico, IRAM*, correo electrónico.

[9] Carlos Felippa, (2011), "Introduction to Finite Element Methods", *Department of Aerospace Engineering Sciences, University of Colorado at Boulder.*

[10] R. C. Batra, (2009), "An Introduction to the Finite Element Method", *Class Notes, ESM 5734, Department of Engineering Science & Mechanics, Virginia Polytechnic Institute & State University.*

Agradecimientos

Los autores de este trabajo desean agradecer a la empresa DAMIA Hnos S.A. por toda su predisposición.

Este trabajo se financió parcialmente con el PID (Proyecto de Investigación y Desarrollo) "Diseño, Modernización, Simulación y Fabricación de Equipo Innovador en el Sector de la Construcción", desarrollado en la Facultad Regional San Francisco de la UTN, homologado por Rectorado de UTN con el código IPUNSF0005020.

La función diseño en ingeniería metodología por nodos críticos

Dr. Ing. Ferradas, Daniel Eduardo*; Ing. Tonini, Walter; Vachetta, Andrés

** Facultad Regional San Francisco - Universidad Tecnológica Nacional -*
Grupo de Investigación en Diseño y Desarrollo de Productos - IDDEP
Av de la Universidad 501 San Francisco, Córdoba
deferradas@gmail.com

RESUMEN
La ingeniería está íntimamente vinculada al diseño con desafíos ponderados en función del grado de complejidad del objeto del diseño, no solo desde los conocimientos de ingeniería sino también en la necesidad de establecer un orden conectivo y organizativo de las múltiples variables intervinientes.
Disponer de herramientas con lazos conectivos en sus etapas, reordenan y establecen la retroalimentación necesaria para tomar acciones correctivas en función de interrelaciones de partes que en forma primaria no se visualizan, constituyéndose así en nodos esenciales o críticos del proceso de diseño en ingeniería. La aplicación de una metodología sistémica asociada al diseño integral del producto permite vincular esas variables mediante nodos de interacción en los que ellas se conjugan para alcanzarlo, debiéndose establecer un orden de relevancia de las mismas y analizar sus interacciones e impacto en el sistema mediante nodos críticos, que ponen de manifiesto la necesidad de nuevas variables de mutación que retroalimentan al proceso en lazos de ponderación, asociación e interacción, en un enfoque sistémico con un objetivo en común y dotado de una sumatoria de elementos relacionados entre sí.

Palabras claves: Ingeniería – Diseño – Nodos críticos – Metodología – Sistémica

ABSTRACT
Engineering is closely linked to design with weighted challenges depending on the degree of complexity of the design object, not only from engineering knowledge but also in the need to establish a connective and organizational order of the multiple intervening variables.
To have tools with connective ties in their stages, reorder and establish the necessary feedback to take corrective actions based on interrelationships of parts that in primary form are not visualized, thus becoming essential or critical nodes of the engineering design process. The application of a systemic methodology associated with the integral design of the product allows linking these variables through interaction nodes in which they are conjugated to achieve it, having to establish an order of relevance of the same and analyze their interactions and impact on the system through critical nodes , which highlight the need for new mutation variables that feed the process into weighting, association and interaction ties, in a systemic approach with a common objective and endowed with a sum of related elements.

1. INTRODUCCIÓN

El diseño es un proceso complejo, con aspectos intrínsecos que constituyen desafíos en función de su grado de complejidad, no solo desde los conocimientos de ingeniería sino también en la necesidad de establecer su orden conectivo y organizativo.

Este ordenamiento requiere de herramientas que permitan la realización de lazos conectivos en sus etapas, ellos reordenan y establecen la retroalimentación necesaria para disponer de variables para acciones correctivas que en forma primaria no se visualizan, constituyéndose así en nodos esenciales del proceso de diseño en ingeniería.

Así definido podemos considerar al diseño como una función de varias variables: conocimientos técnicos (ct), capacidad tecnológica disponible (ctd), experiencia (e), compromiso social (cs) y con el medio ambiente (ma), interpretación de necesidades (in), factibilidad productiva (fp), productividad (pr), simulaciones (s), prototipado (p), ensayos (e), facilidad de acceso a sus componentes (fac) y materias primas (mp), Ecuación (1), que inexorablemente se vinculan e impactan en el objeto del diseño (Figura 1)

$$D = f\,(ct, ctd, e, cs, ma, in, fp, pr, s, p, e, fac, mp) \qquad (1)$$

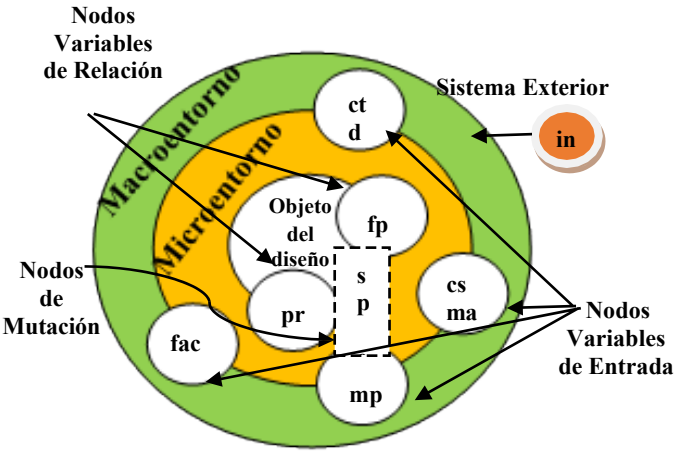


Figura 1 - *Variables que inciden sobre el diseño – su agrupación por nodos*

La aplicación de una metodología sistémica asociada al diseño permitirá construir un sistema de vinculación de estas variables a partir de parámetros de entrada al sistema, para posteriormente encontrar nodos de interacción que involucran y conjugan aspectos técnicos específicos de las condiciones preestablecidas del producto a lograr, y así alcanzar un diseño integral del producto.

Es entonces necesario ponderar estas variables en su asociación, para aplicar en el proceso de diseño las acciones correctivas necesarias que surgen de su análisis.

Definido así, el diseño es un sistema, se debe abordar con un enfoque sistémico de múltiples variables con un objetivo en común y dotado de una sumatoria de elementos relacionados entre sí, corresponde entonces hablar de metodología sistémica aplicada al diseño, capaz de separar sus partes sin obviar su interacción, separar lo relevante de lo irrelevante y ponderar adecuadamente sus variables, para el cual es fundamental determinar nodos críticos de retroalimentación permanente durante el proceso,

2. MÉTODO

El método utilizado consistió en la aplicación de la teoría de aproximación por iteraciones sucesivas, con relevamiento de resultados en las distintas etapas del proceso para determinar nodos críticos de retroalimentación en el proceso de diseño.

A partir del objetivo de creación de un modelo sistémico aplicado a un caso particular de diseño, se simula el comportamiento y se valida el resultado obtenido.

Para su elaboración y validación se utilizó como caso particular del diseño, el subsistema de suspensión delantera de un vehículo de competición con característica de monoposto, como parte del sistema tren delantero.

Se consideraron todas las variables intervinientes estableciéndose un orden de relevancia, analizando sus interacciones e impacto en los niveles de subsistema y sistema, en un proceso retroalimentado.

Las sucesivas iteraciones permitieron concluir con la creación de una metodología sistémica que se validó por simulación de las distintas etapas de la investigación desarrollada en la propuesta de diseño.

Se abordaron nuevas totalidades a partir del tratamiento lógico de las relaciones de sus variables, considerando para ello sistemas y subsistemas de relación atendiendo las características de micro entorno y macro entorno del objeto de diseño.

3. CONCLUSIONES

La metodología sistémica aplicada al diseño permite identificar nodos críticos, estos surgen de la interrelación de subsistemas pertenecientes a un sistema en común, permiten compatibilizar el diseño de partes y de conjunto para relacionarse con otros sistemas ya definidos, de esta nueva relación surge un diseño final para el objeto del diseño. La división en sistemas y subsistemas que se retroalimentan genera la visualización de posibles correcciones. Comprobada su factibilidad de aplicación y determinados definitivamente los sistemas y subsistemas con sus variables, es posible definir las características finales del objeto del diseño.

Este método facilita el proceso de diseño con un grado de impacto directamente proporcional a su complejidad, permite documentar ordenadamente el proceso y le da fiabilidad con visibilidad.

Desde el sistema exterior se aportan las variables de entrada al sistema, que en función del proceso indicado en la Figura 2 retorna al mismo el objeto de diseño, con características de DISEÑO FINAL a partir del análisis de verificación del comportamiento de sus subsistemas.

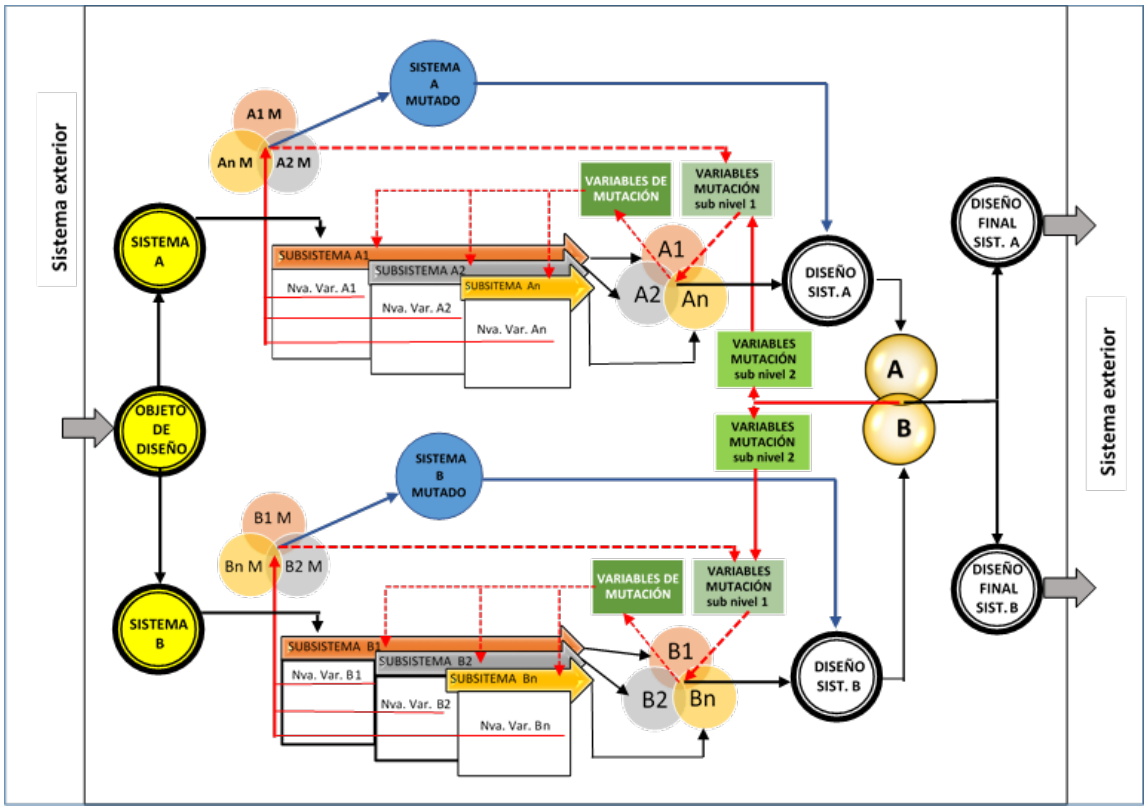


Figura 2 – *El diseño como metodología sistémica*

Considerando el producto como objeto del diseño, en una primera etapa se identifican sus sistemas intervinientes y luego se los divide en subsistemas, estos últimos deben ser analizados en sus impactos de interrelación, pudiendo ser o no satisfactorios.

En el caso que lo sean es adecuado avanzar definiéndolo como diseño del subsistema, que luego de un idéntico estudio de otro subsistema exige el análisis de interrelación entre ambos para definir su viabilidad. Si esta es posible se avanza en el diseño final de cada sistema.

Si no fuera satisfactoria la interrelación de los subsistemas, se deben analizar los cambios necesarios, esto permite definir un conjunto de nuevas variables que se constituyen en variables de mutación, generándose nuevas variables mutadas que deben analizarse en conjunto originando un nuevo sistema (sistema mutado), el cual puede constituirse en un nuevo diseño final del sistema que a su vez se debe analizar relacionándolo con otros sistemas, tal cual lo antes indicado, si esta es posible se avanza en el diseño final de cada sistema. Si el análisis de relación de variables mutadas no es adecuado es necesario recurrir a un nuevo nivel de variables de mutación (variables de mutación nivel 1) (Figura 2), cuya relación es también objeto de análisis

para avanzar en el diseño del sistema tal lo antes indicado o retroalimentar el sistema con nuevas variables.
Definido el diseño de cada sistema su interrelación puede arrojar resultados positivos o presentar inconvenientes, en el primer caso se adoptan como definitivos los diseños de los sistemas, si esto no ocurre es imperativo realizar un nuevo nivel de mutación que dan origen a las variables de mutación nivel dos (Figura 2), las que vuelven a retroalimentar a los subsistemas y sistemas intervinientes.
Es entonces un modelo sistémico de retroalimentación permanente, que permite entregar al sistema exterior un adecuado diseño que contempla las condiciones impuestas por cada sistema y subsistema interviniente en el objeto del diseño y sus interrelaciones, con un conjunto de nodos críticos de vinculación por interrelación que lo hacen posible.
Asimismo surge la identificación de tres tipos de variables de incidencia en todo el proceso, variables esenciales, variables derivadas y variables de cambio.
Las primeras están vinculadas con las condiciones de macroentorno y contemplan conocimientos técnicos, experiencia, compromiso social y con el medio ambiente, interpretación de necesidades y condiciones primarias de diseño, estas son variables de entrada desde el sistema exterior; las segundas involucran al microentorno y consideran factibilidad productiva, productividad y recursos en general disponibles y las terceras vinculadas estrictamente a los sistemas y subsistemas y contemplan simulaciones prototipado, ensayos y verificaciones. Las variables de cambio están condicionadas por las esenciales y las derivadas.
Se concluye que el método sistémico generado a partir de nodos críticos de relación, de interrelación y de variabilidad, genera un proceso de retroalimentación sistémica que permite adecuar las partes del diseño en función de las condiciones preestablecidas en el comportamiento esperado del objeto del diseño, constituyéndose en una herramienta de utilidad facilitadora del proceso de diseño.

4. REFERENCIAS

-CAPUZ RIZO, S, GOMEZ NAVARRO, T. *ECODISEÑO-(2002). Ingeniería del Ciclo de Vida para el Desarrollo de Productos Sostenibles* – Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. ISBN: 84-9705-191-2 [cuatro o más autores: Capuz Rizo, S., Gómez Navarro, T., Vivancos Bono, J., Viñoles Cebolla, R., Ferre Gisbert, P., López García, R., Bastante Ceca, M]

-KRIK, EV. (1999). *Introducción a la ingeniería y al Diseño en Ingeniería*. –México DF: Editorial Limusa S.A. de C.V.- Grupo Noriega Editores, 23ra. Imp. ISBN: 968-18-0176-8 [un autor]

Planta piloto para la producción y ensayo de biodiesel

Prat, Miguel A.; Xamena, Carlos M.; Oyola, Omar E.; Jiménez, Sergio S.; Díaz, Mario A.; Alderete, Sergio R.; Rodríguez, Hugo E.

Facultad Regional Tucumán, Universidad Tecnológica Nacional. Bernardino Rivadavia 1050, (4000), San Miguel de Tucumán, Tucumán, Argentina, mpratutn@gmail.com

RESUMEN

El agotamiento de los recursos hidrocarburíferos a nivel mundial plantea la necesidad de encontrar fuentes de energía alternativas que sean amigables con el medioambiente, entre las opciones que se pueden considerar se encuentra el biodiesel. La norma ASTM D6751 describe al biodiesel como una serie de cadenas largas de esteres de ácidos grasos provenientes de grasas animales o vegetales, en donde una molécula de alcohol está unida a un éster. El biodiesel en comparación con el gasoil, es biodegradable y no tóxico, está libre de azufre y compuestos aromáticos; pudiéndose emplear como combustible en motores diesel. La propuesta de la presente investigación consiste en el desarrollo de un paquete tecnológico (Planta Piloto para la Producción y Ensayo de Biodiesel) que utilizará como insumo en primera instancia aceite residual de cocina. La puesta en funcionamiento de la Planta Piloto permitirá posteriormente estudiar y determinar las propiedades del biodiesel producido en función de los parámetros establecidos por las normas EN 14214, ASTM 6751-02 e IRAM 6515-1.

Palabras Claves: Planta Piloto, aceite residual, biodiesel

ABSTRACT

All over the world the exhaustion of hydrocarbon resources needs to find alternative energy sources that are friendly to the environment. Biodiesel are one of the options that can be considered. The standard ASTM D6751 describes biodiesel as a series of long chains of fatty acid esters from animal or vegetable fats, where an alcohol molecule is attached to an ester. Biodiesel compared to diesel, is biodegradable and non-toxic compared to diesel. It is free of sulfur and aromatic compounds. It can be used as fuel in diesel engines. The aim of the present work consists of the development of a technological package (Pilot Plant for the Production and Testing of Biodiesel) that will be used as an input for the first instance of residual cooking oil. The setting up of the Pilot Plant will allow the study and determine the properties of biodiesel produced according to the parameters established by Standards EN 14214, ASTM 6751-02 and IRAM 6515-1.

1. - INTRODUCCIÓN

El agotamiento de los recursos hidrocarburíferos a nivel mundial plantea la necesidad de encontrar fuentes de energía alternativas que sean amigables con el medioambiente, entre las opciones que se pueden considerar se encuentra el biodiesel. La norma ASTM D6751 describe al biodiesel como una serie de cadenas largas de esteres de ácidos grasos provenientes de grasas animales o vegetales, en donde una molécula de alcohol está unida a un éster. El biodiesel en comparación con el gasoil, es biodegradable y no tóxico, está libre de azufre y compuestos aromáticos, por lo que produce menos emisiones al emplearse en los motores de combustión interna. Es importante destacar que este biocarburante se puede emplear en motores diesel sin mayores modificaciones. Una materia prima interesante para la obtención del biodiesel desde el punto de vista económico y medioambiental es el aceite de cocina usado. De hecho, las tecnologías de proceso permiten producir este biocombustible a partir de aceites reciclados comparables en calidad al del biodiesel de aceite vegetal virgen, con la ventaja adicional de ser más barato. Asimismo, es importante resaltar que desde la gestión de residuos, la producción de biodiesel a partir de aceite usado es beneficiosa para el medioambiente, ya que proporciona una forma más limpia de eliminar estos productos; a la vez que se pueden reducir las emisiones de CO_2, al ser empleado como combustible en vehículos de motor diesel. Para su fabricación se puede usar cualquier fuente de ácido graso por lo tanto, cualquier lípido animal o vegetal es un sustrato apto para la producción de biodiesel. En el contexto energético mundial la producción de biocombustibles es motivo de discusión, ya que existe la preocupación de que la materia prima para la obtención de biodcarburantes como el biodiesel pueda competir con el suministro de alimentos a largo plazo. Por lo tanto, considerar el uso de aceite vegetal no comestible o productos de desecho, como el aceite usado de cocina para la producción de biodiesel es una alternativa por demás interesante. Si bien existen diversos métodos para la producción de biodiesel, la transesterificación es el método más utilizado. Esta metodología consiste en una reacción química que se da entre un aceite vegetal o grasa animal con un alcohol, (metanol, etanol, etc.). La reacción requiere de un catalizador, como el hidróxido de sodio o potasio, produciendo nuevos compuestos químicos llamados ésteres metílicos. La propuesta consiste en el desarrollo de un paquete tecnológico que permita el estudio del biodiesel para su aprovechamiento como combustible en el ámbito de la Provincia y de la Región NOA; a fin de ayudar a solventar la problemática energética en el país.

2.- LOS BIOCOMBUSTIBLES

De acuerdo a la FAO los biocombustibles son portadores de energía que almacenan la energía derivada de la biomasa. La bioenergía se define como una forma de energía renovable derivada de la biomasa (material orgánico), la cual se puede utilizar para producir calor, electricidad, biocombustibles para el transporte y productos [1]. Es uno de los muchos recursos que se encuentran disponibles para ayudar a satisfacer la demanda de energía en el mundo.

Los biocombustibles pueden ser sólidos, líquidos o gaseosos e incluir todo tipo de biomasa y de productos derivados a fin de utilizarlos con fines energéticos. Los biocombustibles constituyen una de las fuentes de energía renovable más importantes a nivel mundial, representando una alternativa válida al empleo de combustibles fósiles.

En el contexto actual existen dos biocombustibles que están reemplazando a la nafta y al gasoil; estos son el bioetanol y el biodiesel respectivamente, siendo el sector de transporte vehicular uno de los principales consumidores de estos biocarburantes en Argentina y el mundo. El bioetanol se puede producir a partir de varios cultivos, como por ejemplo la caña de azúcar, el maíz, la remolacha azucarera etc. En tanto que el biodiesel se puede obtener a partir de aceites vegetales simples, comestibles y no comestibles, aceite de cocina usado y grasas animales.

Los principales países productores de bioetanol son Estados Unidos, Brasil, la Unión Europea y China. La producción en los Estados Unidos consiste principalmente en la obtención de etanol a partir de maíz, en tanto que en Brasil el etanol se consigue a partir de la caña de azúcar.

En lo que se refiere al biodiesel se pueden mencionar como principales productores a la Unión Europea, Indonesia, Brasil, Estados Unidos y Argentina entre otros.

3.- GENERACIONES DE BIOCOMBUSTIBLES

Actualmente existen distintos tipos de biocombustibles, los que se clasifican de acuerdo a la materia prima y a la tecnología empleada para obtenerlos. Debido a los avances en la tecnología, esta clasificación se realiza por generaciones [2].

Los biocombustibles de primera generación se producen comercialmente utilizando tecnología convencional. Las materias primas básicas son semillas, granos o plantas enteras de maíz, caña de azúcar, colza, trigo, semillas de girasol o aceite de palma. Uno de los biocombustibles de primera generación más conocido es el biodiesel [2] [3].

Los biocombustibles de segunda generación se pueden producir a partir de fuentes no alimentarias. Estos incluyen los residuos agrícolas tales como los residuos de la cosecha de caña de azúcar o cosecha de maíz por mencionar algunos. De hecho, los residuos de tipo agrícola

tienen compuestos del tipo celulosa o hemicelulosa y un mayor o menor contenido en lignina. Los carbohidratos (celulosa y hemicelulosa) son una fuente potencial de azucares que se puede fermentar y transformar en biocombustible [2] [4].
La Tercera Generación de Biocombustibles se fundamenta en el aprovechamiento de cultivos energéticos especialmente diseñados para servir como fuentes de energía. En esta categoría se encuentran las microalgas las que pueden ser utilizadas como materia prima de bajo costo, alta energía y completamente renovable. Este tipo de algas pueden ser cultivadas usando tierra y agua no aptas para la producción de alimentos las cuales a nivel mundial están agotadas. Diversos expertos señalan a partir de las microalgas se puede producir un aceite que tras ser refinado puede utilizarse como biodiésel, y si se las manipula de forma genética se pueden elaborar todo tipo de combustibles. De acuerdo a datos del Departamento de Energía de EEUU., su rendimiento es diez veces más alto que los biocombustibles de segunda generación y; con el 0,42% del territorio de EEUU. se podría generar suficiente biocombustible para satisfacer las necesidades de dicho país. Precisamente esta institución estadounidense es pionera en la investigación de microalgas como biocarburante [2][5].
Los biocombustibles de Cuarta Generación son producidos a partir de bacterias genéticamente modificadas, las cuales emplean dióxido de carbono (CO_2) o alguna otra fuente de carbono para la obtención de los biocombustibles. A diferencia de las generaciones anteriores, en las que también se pueden emplear bacterias y organismos genéticamente modificados como insumo o para realizar alguna parte de los procesos, en la cuarta generación, la bacteria es la responsable de la totalidad del proceso de producción de los biocombustibles [2][6].

5.- BIODIESEL

La investigación sobre el uso de ésteres metílicos a nivel mundial como combustible alternativo al gasoil ha estado en curso durante más de 40 años. De hecho, la crisis del petróleo de 1973 impulsó la investigación de distintos combustibles alternativos con la finalidad de garantizar un suministro seguro de combustible [7]. Con el correr de los años las investigaciones en torno a los biocombustibles -entre los que se halla el biodiesel- se ha intensificado a la luz de los beneficios que brindan en lo que se refiere a las bajas emisiones generadas de gases, como el CO_2 [8] [9] [10] [11]. En otras palabras, el biodiesel no contribuye al calentamiento global. Teniendo en cuenta este aspecto se estima que las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) a nivel mundial, para el año 2025 experimentaran un crecimiento de entre 415 y 421 ppm [12]. En este marco el Protocolo de Kioto ha establecido los límites de emisiones causadas por el uso de combustibles provenientes del petróleo [13].

Tabla 1 *Propiedades del Diesel vs. Biodiesel*

Propiedad	Unidad	Diesel Norma Europea EN 590	Biodiesel DIN V 51606 (Alemania)
Propiedades Estándar			
Densidad (15°C)	kg/m^3	820 - 860	875 - 900
Viscosidad (40°C)	mm^2/s	2.0 - 4.5	3.5 - 5.0
Punto de ignición	°C	>55	>110
Contenido de azufre	%(peso)	<0.20	<0.01
N° de cetano		>49	>49
Propiedades adicionales			
Contenido de Oxígeno	%(peso)	0.00	10.9
Poder Calorífico	MJ/dm^3	35.6	32.9
Grado de Eficiencia	%	38.2	40.7

En un principio las investigaciones realizadas permitieron concluir que los aceites vegetales no modificados, tenían el potencial de ser utilizados como combustible en motores diésel, sin embargo su utilización prolongada era imposible incluso con aceites completamente refinados. Trabajos posteriores permitieron determinar que los aceites vegetales después de la transesterificación con alcoholes de cadena corta como el etanol o el metanol, se podían utilizar en motores gasoleros sin ninguna complicación [14]. Dado que este aceite transesterificado se podía usar directamente en los motores diesel, se lo llamo "biodiesel". Además de los aceites vegetales, se pueden utilizar grasas animales, así como grasas de desecho, en la fabricación de este biocarburante [15].

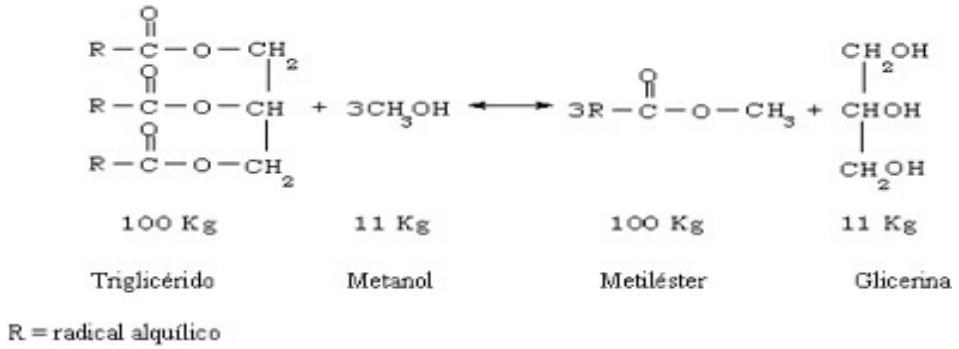


Figura 1 *Proceso de Transesterificación*

El biodiesel se puede emplear como combustible en los motores diesel debido a que sus propiedades son muy similares, o incluso superiores a las del gasoil obtenido a partir del petróleo. Por ejemplo, el biodiesel tiene una viscosidad aproximadamente 2 (dos) veces superior a la del gasoil, un punto de inflamación mayor y un número de cetano parecido al del diesel convencional. Con lo cual se concluyó que no se requiere modificar el motor cuando se emplea biodiesel [16]. No obstante, la mayoría de los fabricantes de vehículos recomiendan usar mezclas de hasta un 20% de biodiesel como combustible. Este biocarburante se puede obtener a partir de recursos renovables, es biodegradable y no tóxico. En distintas investigaciones se descubrió como ventaja adicional mejores propiedades lubricantes del biodiesel en comparación con el gasoil, esta característica permite prolongar la vida útil del motor reduciendo la frecuencia de reemplazo de repuestos; en tanto que el consumo, encendido, rendimiento, y torque del motor se mantienen prácticamente en sus valores normales [17].

6.-NORMAS DE ENSAYO DEL BIODIESEL

Dado que la calidad del biodiesel es un factor clave cuando se usa como una alternativa al gasoil convencional, es necesario cumplir con estándares tales como los siguientes:

a.- Familia de Normas ASTM [18].

- La ASTM D6751-08, especificación para las existencias de mezclas de combustible biodiésel (B100) para combustibles de destilación intermedia, que se modificó para incluir un requisito que controle las combinaciones secundarias y que brinda una información más precisa sobre cómo funcionará el combustible cuando el ambiente está frío.
- La ASTM D975-08a, especificación para el fueloil para los motores diésel (que se usa en aplicaciones diésel convencionales y todo terreno), se modificó y ahora permite hasta un 5% de biodiésel. Esto permite que las mezclas B5 se traten de la misma manera que el diésel convencional a efectos de la realización de ensayos.
- La ASTM D396-08b, especificación para el fueloil (usado en sistemas de calefacción y en calderas), que se modificó y ahora permite hasta un 5% de biodiésel. Como la norma D975, esta modificación permite que las mezclas B5 se traten de la misma manera que el fueloil convencional a efectos de la realización de ensayos.
- La ASTM D7467-08, especificación para las mezclas de biodiésel (B6 a B20) de fueloil para motores diésel, es una especificación totalmente nueva que rige las propiedades de la mezclas que contienen entre 6% y 20% de biodiésel para ser usadas en motores diésel convencionales y todo terreno.

b.- Norma EN 14214: Este estándar define los requisitos y métodos de ensayo de los ésteres de metilo de ácidos grasos comercializados (FAME - Fatty Acid Methyl Ester) y suministrados para su empleo como combustible en motores diesel en una concentración de 100% o como diluyente de acuerdo con los requisitos la norma EN 590 [19].

c.- Norma IRAM 6515-1: Esta norma establece requisitos y métodos de ensayo para el biodiesel comercializado y suministrado en Argentina. Se aplica tanto para aquellos casos en donde la aplicación del combustible sea al 100% de concentración, o como aditivo del gasoil para uso automotor [20].

Cuando se cumplen con estas normas, el biodiésel o sus mezclas se pueden usar con seguridad en la mayoría de los motores modernos dentro de los límites recomendados por el fabricante, sin modificaciones, manteniendo la durabilidad y confiabilidad del motor. Seguidamente se muestran los requisitos y métodos de ensayo empleados en el biodiesel que se comercializa en Argentina como combustible para vehículos automotores, equipados con motores diesel, al 100 % de concentración, o como aditivo del gasoil para el uso en automotores.

Tabla 2 *Requisitos y métodos de ensayo establecidos en la norma IRAM 6515/01*

Requisitos	Unidad	Limites		Método de ensayo
		Mínimo	Máximo	
Contenido de éster	g/100 g	96,5		EN 14103
Densidad a 15°C	g/mL	860	900	IRAM-IAPG A 6616 IRAM-IAPG A 6911 ISO 3675 ISO12185
Viscosidad a 40°C	mm^2/s	3,5	5,0	IRAM-IAPG A 6597 ISO 3104 ASTM D 445
Punto de inflamación	°C	100		ISO 3679 ASTM D 93
Contenido de azufre	mg/kg		10	IRAM-IAPG A 6516 IRAM-IAPG A 6539 ASTM D 4294
Residuo carbonoso (sobre la muestra al 100 %)			0,05	ASTM D 4530 ISO 10370 ASTM D 1160 (para obtener el 10% destilado)
Número de cetanos		47		ASTM D 613 ISO 5165
Cenizas sulfatadas	g/100 g		0,02	ISO 3987
Contenido de agua por Karl Fischer	g/100 g		0,05	ASTM D 4928

7.- ACEITE DE COCINA

Diversos trabajos de investigación acerca del biodiesel se han basado en ésteres metílicos obtenidos a partir de ácidos grasos como los del aceite de soja. Sin embargo, el costo del aceite de soja empleado como alimento limita su uso como combustible en motores diesel, según investigaciones realizadas el costo del aceite representa un 70 a 95 % del costo total del biodiesel [21].Este factor hace necesaria la búsqueda de materias primas que permitan reducir los costos de producción a los fines de garantizar la viabilidad comercial a largo plazo del biodiesel [22] [23]. Una forma de reducir el costo de este combustible es utilizar materias primas menos onerosas como por ejemplo el aceite doméstico usado así como las grasas de origen animal. Los aceites de desecho de restaurantes, casas de familia y las grasas de origen animal son de bajo costo en comparación con el aceite de soja de grado alimenticio. El aceite de cocina residual (ACR) se refiere al aceite vegetal usado resultante de la cocción de alimentos. La fritura repetida para la preparación de alimentos hace que el aceite vegetal comestible ya no sea adecuado para el consumo debido al alto contenido de ácidos grasos libres (FFA). El aceite residual presenta muchos problemas desde el punto de vista ambiental, tales como la contaminación del agua y el suelo por lo que, una forma eficaz de emplearlo sin dañar el medio ambiente y satisfacer la demanda creciente de energía es aprovecharlo como combustible. El ACR recolectado también se puede usar en la fabricación de jabones así como aditivos para aceites lubricantes. Los aceites vegetales contienen hidrocarburos saturados (triglicéridos) que consisten en glicerol y ésteres de ácidos grasos. El aceite vegetal residual es un subproducto, que en el caso de la Provincia de Tucumán proviene de hoteles, restaurantes de comida rápida así como de casas de familia. Generalmente estos aceites se disponen sin ningún tratamiento generando un impacto importante al medio ambiente. El uso de aceite vegetal residual reduce la necesidad de cultivos productores de biodiesel y la competencia con los alimentos. Las propiedades químicas y físicas del ACR son diferentes de las del aceite nuevo debido a los cambios debidos a reacciones químicas, tales como la hidrólisis, la oxidación, la polimerización y la transferencia de material entre los alimentos y el aceite vegetal que se producen durante el proceso de fritura.

Las propiedades ACR pueden cambiar según las condiciones que se dan durante el proceso de fritura, tales como la temperatura y el tiempo de cocción de los alimentos. El proceso de cocción hace que el triglicérido presente en el aceite se descomponga para formar diglicéridos, monoglicéridos y ácidos grasos libres. La cantidad de calor y agua en la fritura aumenta la hidrólisis de los triglicéridos, por lo tanto causa un crecimiento de los ácidos grasos libres (FFA) en la OMA. Además, debido a las reacciones de oxidación y polimerización, el ACR presenta un aumento en la viscosidad y el número de saponificación en comparación con el aceite original. Durante la fritura se produce el transporte de materia y calor entre los alimentos a freír y el aceite ocasionando un incremento en el contenido de agua presente en el ACR. Durante la transesterificación, la presencia de agua en el ACR conduce a la hidrólisis, mientras que el alto contenido de FFA y pueden dar lugar a reacciones de saponificación. Tanto las reacciones de

hidrólisis como de saponificación provocan un bajo rendimiento del biodiesel y un alto consumo de catalizador. Las características químicas y físicas del ACR se muestran en la tabla siguiente [24]:

Tabla 3 *Propiedades del aceite de cocina residual*

Propiedad	Unidades	Valor
Densidad	g /cm^3	0,91 - 0,924
Viscosidad Cinemática (40°C)	mm^2/s	36,4 - 42
Valor de Saponificación	mgKOH/g	188,2 - 207
Acidez	mgKOH/g	1,32 - 3,6
Número de yodo	gI_2/100g	83 - 141,5

8.- TRANSESTERIFICACION DEL ACR

El proceso comúnmente empleado para la producción de biodiésel a escala industrial es la transesterificación de triglicéridos provenientes del aceite animal o vegetal, con un alcohol en presencia de catalizadores ácidos o básicos, según sea la calidad de la materia prima [25]. En la reacción de transesterificación, el triglicérido del aceite reacciona con el alcohol en presencia de un catalizador para dar éster y glicerol.

En general, hay tres sistemas de transesterificación al utilizar aceite vegetal o grasa animal como materia prima, son sistemas homogéneos, heterogéneos y enzimáticos basados en el catalizador empleado durante el proceso. El proceso tradicional de producción de biodiesel se lleva a cabo en presencia de catalizadores básicos homogéneos como KOH, NaOH, CH_3ONa, y CH_3OK, con tiempos y temperaturas de reacción relativamente bajos (1h y 60 °C 70 °C) requiriéndose etapas de neutralización, lavado y secado para remover el catalizador y el glicerol del biodiesel [26] [27].

El ACR se hace reaccionar con alcohol, en la mayoría de los casos se usa metanol debido a una mejor eficiencia [28]. Sin embargo, también se puede emplear el etanol y el alcohol isopropílico [29]. El proceso de transesterificación depende de varios parámetros que son la temperatura, la presión de reacción y tiempo de reacción, la velocidad de agitación, el tipo de alcohol utilizado y relación molar entre el alcohol y el aceite, el tipo y concentración del catalizador utilizado; así como la concentración de humedad y FFA en el aceite de alimentación. Los valores óptimos de estos parámetros dependen en gran medida de las propiedades físicas y químicas del aceite de alimentación para lograr una mayor conversión [24].

La mayor parte del biodiésel actual se produce a través de la transesterificación homogénea catalizada por álcalis de aceites vegetales comestibles. Los catalizadores homogéneos son aquellos que son solubles durante la reacción, los mismos pueden ser líquidos o gaseosos y son de dos tipos: ácidos o alcalinos. Los catalizadores ácidos como H_2SO_4 se usan ampliamente para la esterificación, mientras que los catalizadores alcalinos como NaOH y KOH se usan para la transesterificación. Las ventajas de los catalizadores homogéneos son:

- la capacidad de catalizar la reacción a una temperatura de reacción y presión atmosférica más bajas,
- se puede lograr una alta conversión en menos tiempo,
- disponibilidad y es económico.

Este proceso permite una buena calidad del producto y un tiempo de reacción relativamente más corto. El uso efectivo del catalizador alcalino homogéneo está limitado solo para el aceite vegetal refinado con menos de 0.5% en peso de FFA o valor de ácido menor a 1 mg de KOH/g. Además, la separación de estos catalizadores después de que se completa la reacción, requiere el lavado del biodiesel con agua, lo que puede provocar la pérdida de ésteres de alquilo de ácido graso, incrementando el consumo de energía generando una gran cantidad de aguas residuales. Esto también aumenta el costo total de producción de biodiesel ya que el catalizador es difícil de recuperar y los catalizadores pueden causar corrosión en el reactor. El triglicérido y el alcohol deben ser anhidros y se requiere un contenido bajo de ácidos grasos libres (FFA) en la materia prima para evitar el jabón.

9.- PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BIODIESEL

Una planta piloto es una plataforma experimental, en la que se muestran aquellas operaciones y procesos representativos que le corresponden a una planta a escala industrial. Diversos investigadores han descrito la producción de biodiesel en plantas piloto. La investigación estaba destinada a determinar si se requería algún proceso en particular para pasar de la producción en laboratorio a escala industrial. Si bien existe una variación considerable en los procesos utilizados, ninguno de estos estudios identificó problemas especiales asociados con la ampliación.

Esta investigación tiene como uno de los objetivos principales el diseño y montaje de una planta piloto de producción de biodiesel a pequeña escala (lotes de 100 litros), para el laboratorio del Área Térmica del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Facultad Regional Tucumán de la

Universidad Tecnológica Nacional. Como segundo objetivo estudiar la optimización del proceso de producción de biodiesel obtenido a partir de distintos productos (ACR, aceites vegetales, grasas animales, algas, etc.). Y finalmente como tercer objetivo, con la planta en funcionamiento, estudiar y determinar las propiedades del biodiesel producido en función de los parámetros establecidos por las normas EN 14214, ASTM 6751-02 e IRAM 6515-1.
La planta piloto de biodiesel del proyecto en cuestión constará de un reactor de transesterificación, un tanque de sedimentación, y un tanque de lavado. El diagrama de flujo mostrado en la figura muestra el proceso de producción de biodiesel que se efectuara en la planta piloto.

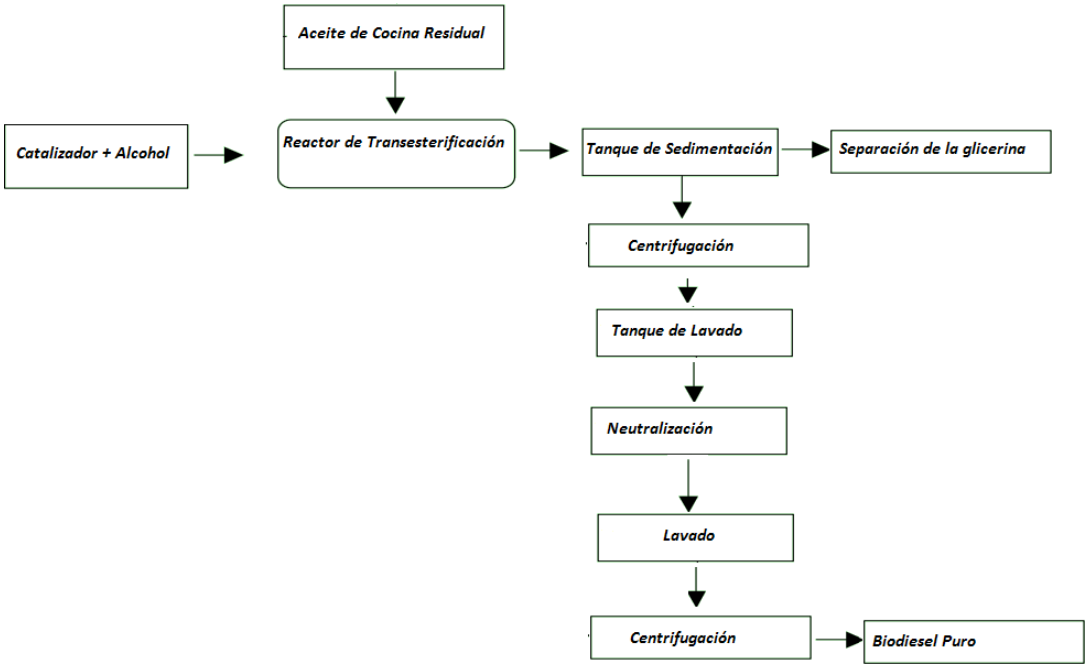


Figura 2 *Proceso de Producción de Biodiesel Planta Piloto*

El proceso será del tipo batch o por lotes. Cada ciclo de producción constará de las etapas mencionadas en el diagrama de flujo de la Figura 2.
De acuerdo a la estequiometría de la reacción por cada mol de aceite serán necesarios tres moles de alcohol, obteniendo tres moles de biodiesel y un mol de glicerina (Figura 1). Los reactivos a usar (Hidróxido de Sodio y Metanol) tendrán una pureza mínima de 98% para evitar el agregado de agua a la reacción.
Pasos a seguir para la producción:

1. Se colocan 100 litros de aceite en el reactor y se calientan a una temperatura entre 60 y 70°C con agitación. Por un tiempo no menor a 1 hora (el aceite usado tiene humedad que es necesaria eliminar antes de hacer reaccionar, para minimizar la cantidad de glicerina)
2. Se agrega la solución de metóxido de sodio y se deja reaccionar por 1 hora con agitación constante
3. Se pasa el líquido al tanque de sedimentación para separar las fases (biodiesel y glicerina).
4. Se procede al centrifugado/lavado de biodiesel.

De forma esquemática, en el reactor se agregarán las siguientes cantidades:

Figura 3 *Balance de masa*

Estas cantidades son las estimadas para comenzar con los ensayos. Durante el estudio se modificarán diversas variables para optimizar tiempos de reacción y grado de pureza del biodiesel. Además de las cantidades de alcohol e hidróxido, las variables a cambiar para estudiar la fabricación del biodiesel, serán:

- Tiempo de reacción
- Temperatura de reacción

- Presión del reactor
- Velocidad de agitación
- Tiempo de sedimentación
- Tiempo de centrifugado
- Cantidad de agua para lavado

Estas variables son dependientes del tipo de mezcla de aceite con que se trabaje. Una vez instalada la planta y definido el universo de generadores de aceite y el ACR a utilizar, se ajustarán las variables para optimizar el proceso. En un principio de acuerdo a estudios previos, se estima una producción de 92 litros de biodiesel por cada 100 litros de aceite usado (ACR), siendo un dato empírico el cual será corroborado posteriormente con los ensayos a realizar.

10.-EMISIONES MOTOR DIESEL UTILIZANDO BIODIESEL OBTENIDO A PARTIR DE ACR

En el escenario energético actual, el biodiesel representa una alternativa válida al empleo de gasoil como combustible en motores diesel, debido a que su empleo puede reducir sustancialmente las emisiones de gases contaminantes al medio ambiente. Muchos investigadores han estudiado las características del biodiesel en lo que se refiere a emisiones de gases y han concluido que existen beneficios importantes. Las características ideales del biodiésel incluyen una buena fluidez en el rango de temperatura de funcionamiento del motor, sin contaminación, fácil encendido, combustión limpia y eficiente [30].

La Agencia de Protección Ambiental de los EEUU (Enviromental Protection Agency, EPA) a partir de ensayos realizados a distintas mezclas de biodiesel, logró caracterizar el comportamiento de las emisiones de los principales contaminantes. El estudio estimó para cada contaminante una correlación entre la variación de porcentaje de biodiesel y la variación en la cantidad de contaminante emitido. Esta correlación sigue en todos los casos la forma [31]:

$$\% \text{ cambio en emisiones} = \{\exp[a \times (\text{vol\% biodiesel})] - 1\} \times 100 \quad (1)$$

Siendo **a** un coeficiente de correlación característico para cada contaminante considerado. Los valores de a se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4 *Coeficiente de correlación característico para cada contaminante según EPA*

Contaminante	Coeficiente a
NOx	0,0009794
MP	-0,006384
HC	-0,011195
CO	-0,006561

En el siguiente gráfico se presenta el porcentaje de cambio en emisiones en función del porcentaje de biodiesel, de acuerdo al criterio de EPA.

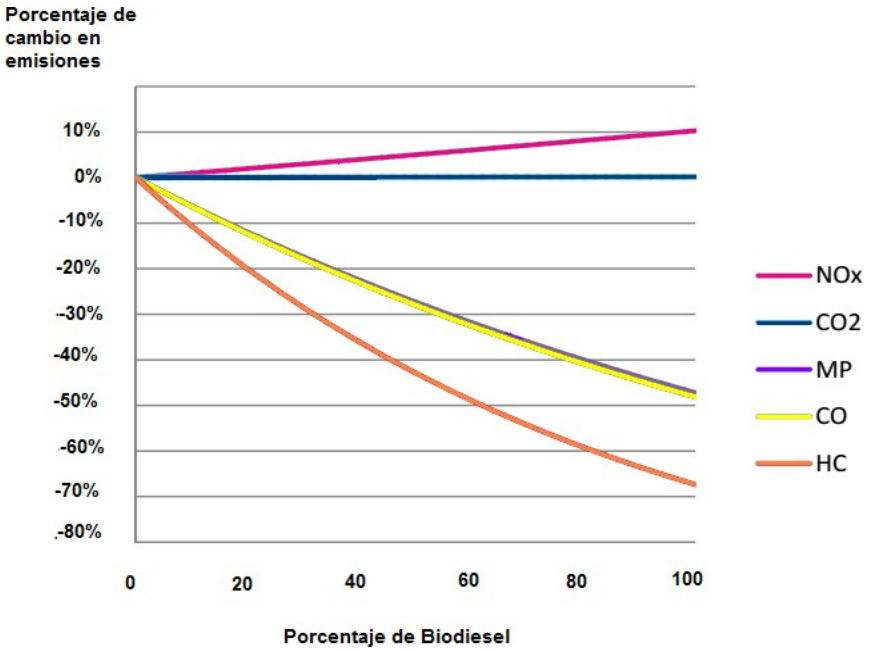


Figura 4 *Porcentaje Cambio de Emisiones vs Porcentaje de Biodiesel*

Investigaciones complementarias respecto de la comparación de las características del biodieselcon respecto al gasoil, mostraron una reducción significativa en emisiones de CO y HC no quemado, pero con un aumento en las emisiones de NOx.

Tabla 5 *Emisiones medias del Biodiesel comparadas al Diesel convencional*
Fuente: http://www.biodiesel.org

Emisiones medias del Biodiesel comparadas al Diesel convencional		
Tipo de emisión	**B-100 (sin corte)**	**B-20 (corte al 20%)**
Hidrocarburos totales sin quemar (HC)	-68	-14
Monóxido de carbono (CO)	-44	-9
Partículas en suspensión (PM)	-40	-8
Sulfatos	-100	-20
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH)	-80	-13
Hidrocarburos aromáticos policíclicos nitrogenados (nPAH)	-90	-50
Potencial de destrucción de la capa de ozono	-50	-10
Óxidos de nitrógeno (NOx)	+6	+1

La reducción de HC se debe principalmente al contenido de oxígeno en la molécula de biodiesel, lo que permite una combustión más completa y limpia, con lo cual se reducen también las emisiones de CO debido precisamente a una mejor combustión. Asimismo el mayor número de cetano [32], garantiza la no formación de zonas ricas en combustible, aspecto que está relacionado directamente con la formación de CO [33].
El material particulado también experimenta reducciones debido al mayor contenido de oxígeno en la molécula de biodiesel [34], lo cual tal como se expresara anteriormente permite una combustión más completa aun en aquellas zonas de la cámara de combustión con llamas de difusión ricas en combustible, ayudando a la oxidación del hollín formado. Asimismo, el biodiesel se caracteriza por un menor contenido de azufre en comparación al gasoil.
El NOx es el único contaminante que muestra un incremento en sus emisiones. La emisión de NOx es función del oxígeno dentro de la cámara de combustión, la temperatura, la presión, compresibilidad y velocidad del sonido. Invariablemente, el biodiesel tiene cierto nivel de oxígeno unido a sus estructuras químicas. Por lo tanto, la concentración de oxígeno en el biodiesel es responsable de la formación de NOx. Además, el aumento de la emisión de NOx también es resultado del mayor número de cetano del biodiesel [35].
Asimismo, diversos trabajos informan que el biodiesel obtenido a partir de ACR ya sea solo o en mezcla posee características similares a las del gasoil con una reducción en cuanto a las emisiones de CO, HC y la opacidad del humo. De hecho, se demostró que las mezclas de gasoil con distintas concentraciones de biodiesel cumplen los estándares establecidos, observándose además un incremento en la viscosidad del combustible con el aumento de la concentración de biodiesel en la mezcla, junto a una caída en el contenido de azufre en el biocarburante [36].

11.- CONCLUSIONES.

El biodiesel es una opción válida al empleo del gasoil convencional, pudiendo utilizarse directamente como combustible en un motor diesel sin ninguna modificación. Tiene muchos aspectos positivos como alta biodegradabilidad, reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, emisiones sin azufre, contaminantes sin partículas, baja toxicidad, excelente lubricidad. Se puede obtener a partir de fuentes renovables como aceites vegetales, grasas animales, etc. La transesterificación es el método más común para la producción de biodiesel. El aceite de cocina residual (ACR) es una materia prima rentable y prometedora. El proceso tradicional de producción de biodiesel se lleva a cabo en presencia de catalizadores básicos homogéneos como KOH, NaOH, CH_3ONa, y CH_3OK, con tiempos y temperaturas de reacción relativamente bajos (1h y 60°C - 70°C), pero los aceites con alto FFA pueden dar lugar a la formación de jabón. Los aspectos mencionados en el trabajo presente justifican la importancia del biodiesel en el contexto energético actual. Es en este marco, que se plantea la necesidad de ahondar en el estudio de la obtención del biodiesel a partir de recursos menos onerosos tal como el ACR y su posterior análisis, a los fines de determinar su performance como combustible en motores gasoleros. Asimismo, en base a lo expresado anteriormente, el proyecto tiene como finalidad encontrar desde el punto de vista ingenieril la mejor configuración de los elementos, que han de conformar la futura planta piloto destinada a la elaboración de biodiesel, considerando los recursos disponibles a fin de que el proceso de producción se lleve a cabo de acuerdo a la normativa nacional e internacional vigente.

13.- REFERENCIAS.

[1] FAO, (2008) “Conferencia de alto nivel sobre seguridad alimentaria mundial: los desafíos del cambio climático y la bioenergía”, Roma, Italia, del 3 al 5 de junio de 2008 [www.fao.org].

[2] Maciel, C., (2009) “Biocombustibles: desarrollo histórico-tecnológico, mercados actuales y comercio internacional”. Economía Informa N° 359 pp 63-89 (julio- agosto 2009). Facultad de Economía. Universidad Nacional Autónoma de México.

[3] Aro, E.M., (2016). “From First Generation Biofuels to Advanced Solar Biofuels”. Ambio 2016 (45- Suppl. 1): pp 24-31. Springer Nature Switzerland AG.

[4] Steinbuks, J., Hertel, Tyner, W., (2015) “How much is the second generation biofuels technology worth to society?” World Bank. https://blogs.worldbank.org/developmenttalk/how-much-second-generation-biofuels-technology-worth-society. Accesado en agosto de 2019.

[5] Dragone, G., Fernandes, B., Vicente, A., Teixeira, J. (2010). “Third Generation Biofuels from Microalgae”. Current Research, Technology and Education Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology. N° 2 Microbiology Book Series pp. 1355-1366. Ed. A. Méndez-Vilas. FORMATEX Research Center, Badajoz, Spain.

[6] Joshi, C., Nookaraju, A., (2012) “New Avenues of Bioenergy Production from Plants: Green Alternatives to Petroleum”. Journal of Petroleum and Environmental Biotechnology. Vol 3 Issue 7 pp. 1-5. Longdom Group SA. Brussels, Belgium.

[7] Scholl, K. W., Sorenson, S. C., (1993) "Combustion of soybean oil methyl ester in a direct injection diesel engine”. SAE International Congress & Exposition. Detroit, Michigan. March 1-5, 1993.

[8] Hoekman, S. K.,Robbins C., (2012) "Review of the effects of biodiesel on NOx emissions", Fuel Processing Technology, vol. 96, pp. 237-249. Elsevier.

[9] Chang, D. Y. Z., Van Gerpen, J. H.(1997) "Fuel properties and engine performance for biodiesel prepared from modified feedstocks". SAE Paper No. 971684. Warrendale, Mich.: SAE. 1997.

[10] Graboski, M. S., McCormick, R.L. (1998) "Combustion of fat and vegetable oil derived fuels in diesel engines" Progress in Energy and Combustion Science. Vol 24, Issue 2, pp. 125-164. Elsevier.

[11]Sharp, C. A. "Characterization of biodiesel exhaust emissions" for EPA 211(b). Final report for National Biodiesel Board. Southwest Research Institute, San Antonio, Texas. 1998.

[12] Anastasi, C., Hudson, R., Simpson, V. J. (1990) "Effects of future fossil fuel use on CO_2 levels in the atmosphere". Energy Policy, vol. 18, N°. 10, pp. 936-944, dic. 1990.

[13] Holtsmark, B., Moestad, O. (2002) "Emission trading under the Kyoto Protocol, effects on fossil fuel markets under alternative regimes", Energy Policy, vol. 30, N°. 1, pp. 207-218, feb. 2002.

[14] Vellguth, G. (1983) "Performance of vegetable oils and their monoesters as fuels for diesel engines" .1983 SAE International Off-Highway and Powerplant Congress and Exposition. International Off-Highway Meeting and Exposition Milwaukee, Wisconsin, September 12-15, 1983.

[15] Lotero, E., Liu, Y., Lopez, D. E., Suwannakarn, K., Bruce, D. A., Goodwin, J. G. (2005) "Synthesis of biodiesel via acid catalysis." Industrial & Engineering Chemistry Research. Vol 44, N°14 pp 5353-5363. American Chemical Society.

[16] Noiroj, K., Intarapong, P., Luengnaruemitchai, A., Jai-In, S. (2009) "A comparative study of KOH/Al2O3 and KOH/NaY catalysts for biodiesel production via transesterification from palm oil" Renewable Energy. Vol 34, N°4 pp 1145-1150. Elsevier.

[17] Stratta, J. (2000) “BIOCOMBUSTIBLES: los aceites vegetales como constituyentes principales del biodiesel”. Investigación y Desarrollo – Departamento de Capacitación y Desarrollo de Mercado, Bolsa de Comercio de Rosario.

[18] Nelson, K. (2009) “ASTM establece las normas para el biodiésel” ASTM International. https://www.astm.org/SNEWS/SPANISH/SPJF09/nelson_spjf09.html. Accesado Agosto 2019.

[19] Barabás, I., Todoru, I., (2011) “Biodiesel-quality, emissions and by-products”. Biodiesel quality, standards and properties. InTechOpen Limited. London, United Kingdom.

[20] IRAM (2001) “Calidad de combustibles. Combustibles líquidos para uso automotor. BIODIESEL. Requisitos” Nº 6515/01. Buenos Aires.

[21] Al-Hamamre, Z., Yamin, J. (2014) “Parametric study of the alkali catalyzed transesterification of waste frying oil for biodiesel production”. Energy Conversion and Management, vol. 79, pp. 246-254. Elsevier.

[22] Meng, X., Chen, G. y Wang, Y (2008) "Biodiesel production from waste cooking oil via alkali catalyst and its engine test”, Fuel Processing Technology", vol. 89, pp. 851-857. Elsevier.

[23] Dias, J. M., Alvim-Ferraz,M. C., and Almeida, M. F., (2008) "Comparison of the performance of different homogeneous alkali catalysts during transesterification of waste and virgin oils and evaluation of biodiesel quality", Fuel, vol. 87, Issues 17-18 pp. 3572-3578. Elsevier.

[24] Carlini, M., Castellucci, S., Cocchi, S. (2014) “A Pilot-Scale Study of Waste Vegetable Oil Transesterification with Alkaline and Acidic Catalysts”. 68th Conference of the Italian Thermal Machines Engineering Association, ATI2013. Energy Procedia, vol 45, pp 198 – 206.

[25] Demirbas, A. (2008) “Comparison of transesterification methods for production of biodiesel from vegetable oils and fats”, Energy Conversion and Management, vol. 49, pp. 125-130.

[26] M. Canakci and J. Van Gerpen, (1999) “Biodiesel Production via Acid Catalysis,” American

Society of Agricultural Engineers vol. 42, pp. 1203–1210.

[27] Ma, F., Hanna, M., (1999) “Biodiesel production : a review”. Bioresource Technology, vol. 70, pp. 1-15.
[28] Hindryawati, N., Pragas Maniam, G., Rezaul Karim, M., Feng Chong, K (2014) “Transesterification of used cooking oil over alkali metal (Li, Na, K) supported rice husk silica as potential solid base catalyst”. Engineering Science and Technology, an International Journal, vol 17, Issue 2 pp 95-103.
[29] Cunha Jr, A. , Feddern, V., De Prá, M., Higarashi, M., De Abreu, P., Coldebella, A., (2013) “Synthesis and characterization of ethylic biodiesel from animal fat wastes”, Fuel, vol 105 pp 228 – 234.
[30] Niculescu, R., Clenci, A., Iorga-Siman, V., (2019) “Review on the Use of Diesel–Biodiesel–Alcohol Blends in Compression Ignition Engines”. Energies, vol 12 Issue 7 pp 1-42. MDPI, Basel, Switzerland.
[31] United States Environmental Protection Agency (2002) “A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions” Draft Technical Report. EPA420-P-02-001.pp 1-102.
[32] Mahesh, S. E., Ramanathan, A., Begum, K., Narayanan, A. (2015). “Biodiesel production from waste cooking oil using KBr impregnated CaO as catalyst”. Energy Conversion and Management, vol. 91, pp 442-450.
[33] Elango, T., Senthilkumar T., (2011) “Combustion And Emission Characteristics Of A Diesel Engine Fuelled With Jatropha And Diesel Oil Blends”, Thermal Science, vol. 15, No. 4, pp. 1205-1214.
[34] Mofijur, M., Rasul, M. G., Hyde, J., Azad, A. K., Mamat, R., & Bhuiya, M. M. K. (2016). “Role of biofuel and their binary (diesel–biodiesel) and ternary (ethanol–biodiesel–diesel) blends on internal combustion engines emission reduction”. Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol 53, pp 265-278.
[35]Hoekman, K., Robbins, C., (2012). “Review of the effects of biodiesel on NOx emissions”. Fuel Processing Technology, vol 96, pp 237-249.
[36] Abed, K., El Morsi, A., Sayed, M., El Shaib, A., Gad, M. (2018) “Effect of waste cooking-oil biodiesel on performance and exhaust emissions of a diesel engine”. Egyptian Journal of Petroleum, vol 27, pp 985-989.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo desean agradecer a la Facultad Regional Tucumán (UTN) así como al Departamento de Ingeniería Mecánica de la FRT por el apoyo brindado para llevar a cabo este trabajo. Asimismo, agradecemos a la Profesora Silvina Alicia Bascary por su apoyo en la traducción del resumen de este trabajo del español al inglés.

Tecnologías disponibles para la producción del ácido fosfórico en el Perú

Suarez Fuentes, Juan Cancio*; Pantoja Carhuavilca, Hermes Yesser **

*Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM).
Juan.suarez7@unmsm.edu.pe.
*Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM).
hpantojac@unmsm.edu.pe.

RESUMEN.

El Perú viene exportando anualmente 3.9 millones de toneladas de concentrado de roca fosfórica de los yacimientos sedimentarios de Bayovar, el concentrado de roca fosfórica es materia prima para la producción del ácido fosfórico y otros fertilizantes fosfatados.
El presente artículo brinda una revisión conceptual de las distintas tecnologías empleadas en el mundo para la fabricación del ácido fosfórico (H_3PO_4).

Palabras Claves: Ácido fosfórico, Roca fosfórica.

ABSTRACT

Peru annually exports 3.9 million tons of phosphate rock concentrate from sedimentary deposits of Bayovar, these phosphate rock concentrate is raw material for the production of phosphoric acid and other phosphate fertilizers.
This article offers a conceptual review of the different technologies used in the world for the manufacture of phosphoric acid (H_3PO_4).

1. INTRODUCCIÓN

En el año de 1777 Karl Wihelm Scheele y Johan Gottlieb Gahn descubrieron el ácido fosfórico aplicando ácido nítrico sobre cenizas de hueso, pero este no tuvo aplicación industrial. En el año de 1,840 el alemán Justos Von Liebig en su libro "Química Orgánica y su aplicación en la agricultura y filosofía" indica el interés de utilizar el ácido fosfórico como fertilizante.

De acuerdo a Chaabouni, et al (2014) El ácido fosfórico es un importante producto químico intermedio que se utiliza principalmente para la fabricación de fertilizantes.

Las características principales del ácido fosfórico es que en su forma cristalina es un sólido puro, inodoro, de color blanco y en su forma líquida el ácido fosfórico es transparente, incoloro y viscoso dependiendo de la temperatura y de la concentración del P_2O_5.

2. PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.

La mayor cantidad de ácido fosfórico consumido en el Perú es importada, el Perú tiene los recursos necesarios para producir este compuesto químico que es utilizado básicamente en la industria de fertilizantes y productos de limpieza.

Surge como interrogante en realizar una revisión literaria de las tecnologías existentes en la producción de ácido fosfórico.

3. BASES TEORICAS EN LA PRODUCCION DEL ACIDO FOSFORICO

En el mundo, los yacimientos ricos en fosfatos están siendo reemplazados gradualmente con yacimientos de minerales que contienen todo tipo de impurezas tales como dolomita, materia orgánica, carbonatos, silicatos, cloruros y otras sustancias representando un reto para la transformación de las tecnologías tradicionales (Prud'homme, 2010).

Todos los nuevos procesos tecnológicos son impulsados por las altas impurezas de los yacimientos (stock), presentando una serie de desafíos a las técnicas de procesamiento tradicionales. Cuerpos de mineral de menor ley y recursos secundarios, aunque exhibiendo muy diferentes características físicas y químicas son abordados con novedosas soluciones de proceso que comparten ciertas características: minimiza la concentración de contaminantes y la alta eficiencia de los materiales (Hermann et al. 2014)

Finalmente, los esfuerzos generalizados para recuperación de recursos secundarios de los fosfatos, implican nuevos procesos y productos que gradualmente, pueden influir en el mercado de fertilizantes (Hermann et al. 2014).

En la tabla 1 se presentan un resumen de los procesos existentes y nuevos en la fabricación del ácido fosfórico:

Tabla 1 *Procesos en la fabricación del ácido fosfórico.*

	Ácido fosfórico por vía húmeda	**Ácido fosfórico por vía térmica**
Procesos actuales	Utilizando Ácido Sulfúrico	Horno eléctrico
		Alto horno
Procesos innovadores	Utilizando Ácido Clorhídrico	Horno Rotatorio

Elaboración propia, Fuente: Hermann, L. (2014, November). A review of innovations in mineral fertilizer production. In World Fertilizer Congress (Vol. 16, p. 105).

3.1. Procesos actuales.

3.1.1 Procesos por vía húmeda utilizando ácido sulfúrico.

De acuerdo a Hermann (2014), en el mundo aproximadamente el 96% de las rocas fosfatadas son procesadas. Más del 90% son acidulados por la ruta química húmeda: convertida con ácido sulfúrico a ácido fosfórico (72-78%), tratado con ácido sulfúrico a superfosfato simple y parcialmente acidulado (10-14%) o convertido con nitrógeno a nitrofosfatos (2-4%).

De acuerdo a Chaabouni et. al (2014) La tecnología de ácido fosfórico (H_3PO_4) del proceso húmedo comprende esencialmente el ataque de ácido sulfúrico (H_2SO_4) de la roca fosfórica ($Ca_{10}(PO_4)_6F_2$) y la separación del ácido fosfórico de los cristales del sulfato de calcio resultante de la reacción.

De acuerdo a Becker (1983) tanto el ataque como la separación, que se efectúa por filtración, se ven considerablemente afectados por la naturaleza del mineral y sus impurezas. Además del fosfato de calcio, los minerales de fosfato contienen 10-15 impurezas principales y otros 16 oligoelementos.

La reacción importante que ocurre en la producción del ácido fosfórico por vía húmeda es la siguiente:

$Ca_{10}(PO_4)_6F_2 + 10\ H_2SO_4 + H_2O \rightarrow 10\ CaSO_4.nH2O + 6\ H_3PO_4 + 2\ HF.$

Para Pereira (2003) Las condiciones operativas en el valor de los diversos parámetros (temperatura, concentración de ácido) en la producción del yeso ($CaSO_4.nH_2O$) definen el proceso:

- n = 0 formación de anhidrita $CaSO_4$ (50 - 55% P_2O5 a 120 - 130 ºC)
- n = 0.5 formación de hemidrita $CaSO_4.1/2H_2O$ (40 - 45% P_2O_5 a 20 -100 ºC)
- n = 2 formación de dihidrita $CaSO_4.2\ H_2O$ (30 - 32% P_2O_5 a 67 - 78 ºC)

De acuerdo Sluis (1987) Las tecnologías existentes en la fabricación del ácido por vía húmeda utilizando el ácido sulfúrico son anhidrita ($CaSO_4$) "AH", hemidrato ($CaSO_4.1/2H_2O$) "HH" y dihidrato ($CaSO_4.\ 2H_2O$) "DH", los cuales son descritos en la tabla 2.

Tabla 2 *Procesos húmedos utilizando el ácido sulfúrico.*

Proceso	**Temperatura (ºC)**	**Concentración % P2O5**	**Compañía / Nombre**
Dihidrato (DH)	70 – 85	28 – 32	Prayon, Jacobs Dorco, SIAPE Kellog -Lopker, Norsk Hidro, IITPIC, Rhone Poulenc
Hemidrato (HD)	90 – 100	35 – 50	Norsk Hydro, Jacobs Dorco, Occidental
DH / HH Doble filtración	Etapa 1: 65 – 70 Etapa 2: 95 – 100	35 – 38	Prayon
HH / DH Simple filtración	Etapa 1: 90 – 100 Etapa 2: 55 – 65	30 – 32	Nippon Kokan, Nissan Mitsubishi
HH / DH Doble filtración	90 – 100	30 – 50	Singmaster & Breyer, Norsk Hydro, Nissan, Nippon Kokan
Anhidrita (AH)	100 – 240	40 – 50	Nordengren

Fuente: Sier van der Sluis Clean Technology Phosphoric acid process (1987).

En la figura Nº 1 se muestra el diagrama de flujo de la tecnología dihidrato para la producción del ácido fosfórico (H_3PO_4) utilizando como materia prima la roca fosfórica ($Ca_{10}(PO_4)6F_2$) y al ácido sulfúrico (H_2SO_4) como reactivo.

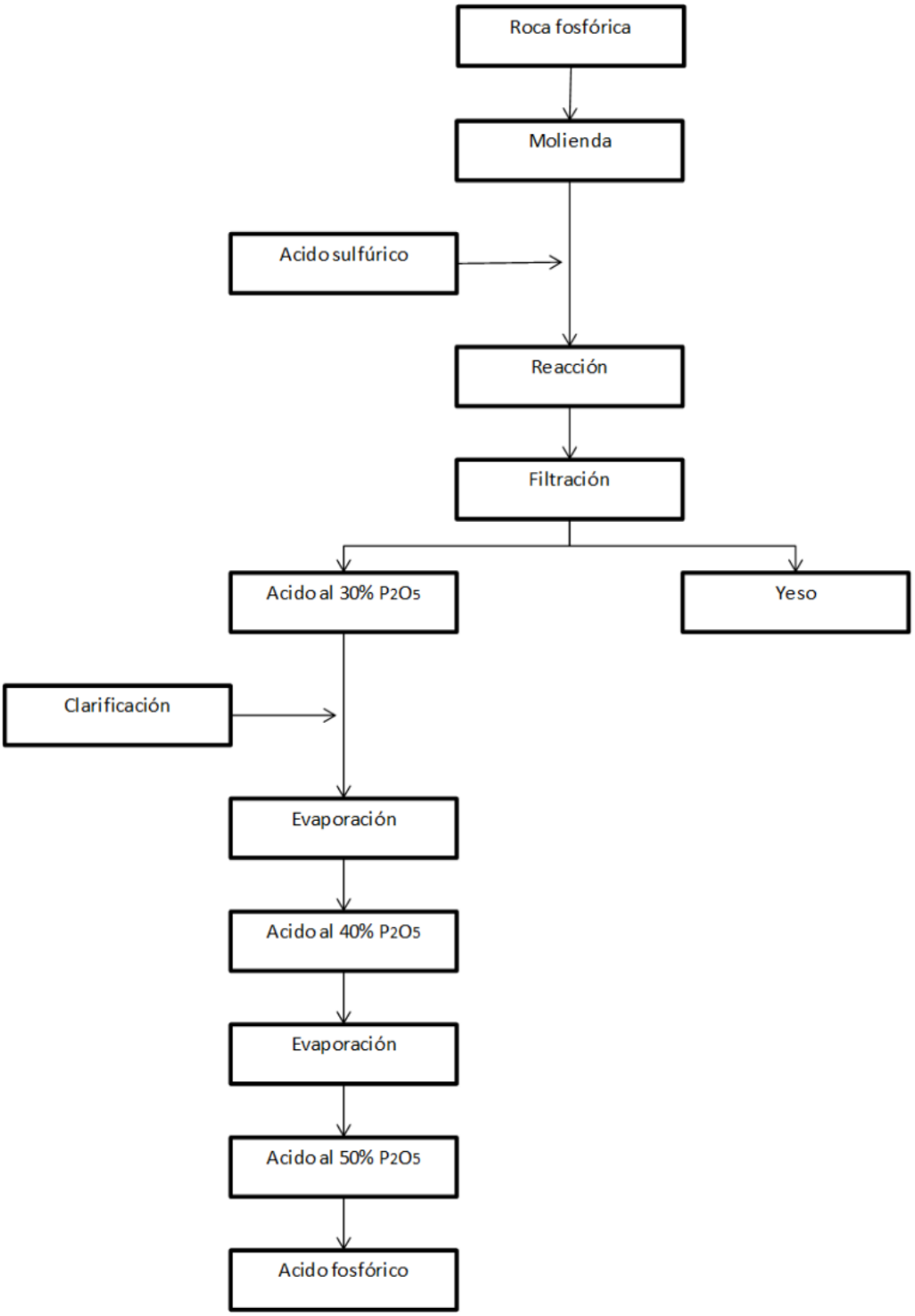


Figura 1 *Esquema principal del proceso dihihidrato.*

Fuente: Becker P. (1989) Phosphates and Phosphoric acid. Raw Materials, technology and economic of the wet process, Marcel Dekker, Inc, Second Edition.

3.1.2 Procesos por vía térmica.

Menos del 5 % se transforma mediante un proceso térmico, que se produce a partir de cloruros, óxidos y sulfuros actuando como punto de entrada para producir ácido fosfórico de alto grado (Hermann et al, 2014).

3.1.2.1 Procesos de horno eléctrico.

El proceso de arco eléctrico tradicional, que se usa en los Estados Unidos, China, Vietnam y Kazajstán, consta de dos pasos: El primer paso es una aglomeración de la roca a 1.500°C produciendo fragmentos de hasta 10 cm de tamaño o una granulación húmeda con una carpeta de arcilla, seguida por una fase de calentamiento a 800°C que produce pellets de 1-2 cm de diámetro.

Este paso también sirve para eliminar los carbonatos y sulfatos que son perjudiciales para el uso de energía en el subsiguiente proceso de horno de arco eléctrico (Hermann et al, 2014).
Los pellets de roca fosfórica mezclado con coque como agente reductor y roca de sílice (SiO_2) para la formación de escoria. La mezcla se alimenta a un horno calentado a 1,500°C por medio de resistencia eléctrica. Bajo estas condiciones, el fosfato se reduce a fosforo gaseoso (P_4) que sale del horno junto con el subproducto monóxido de carbono (CO) y algo de polvo. El polvo se retira en un precipitador electroestático y tras la calcinación el fosforo gaseoso (P_4) se condensa en líquido formado el ácido fosfórico.
El óxido de calcio que se deja en el horno después de que los fosfatos han reaccionado, se combina con la roca de sílice (SiO_2) para formar una escoria líquida, que es directamente enfriado con agua. Este material puede ser utilizado como material de construcción de carretera.
El hierro, presente como impureza en la roca, se reduce también en el horno, formando una escoria ferrofosforica que contiene aproximadamente el 75 % de fierro y 25 % de fosforo con pequeñas cantidades de otros metales. Este es usado como un aditivo de acero (Hermann et al, 2014).

3.1.2.2 Procesos de alto horno.

Esta tecnología nacida en Estados Unidos fue utilizada comercialmente por Victor Chemical Works entre 1929 y 1938. El proceso de fabricación del ácido fosfórico por el proceso de alto horno se realizaba utilizando sílice (SiO_2) y coque (carbón) con una relación molar apropiada. En estos equipos se liberará el fosforo (P_2) para luego continuar con la oxidación a P_2O_5 y finalmente con la hidratación a H_3PO_4.

3.2. Procesos innovadores.

Aunque la invención y desarrollo inicial de la mayoría de los procesos se presentan a continuación se remonta a las últimas décadas del siglo pasado, sólo recientemente han atraído inversiones correspondientes en piloto y pequeñas plantas industriales. Esto puede deberse en gran parte a los recientes cambios en la geología, marco ambiental y económica de la minería y el procesamiento de fosfato (Hermann et al, 2014).

3.2.1 Proceso utilizando ácido clorhídrico.

La representación de la acidulacion de la roca fosfórica ($Ca_{10}(PO_4)_6F_2$) utilizando ácido clorhídrico (HCl) para la formación del ácido fosfórico (H_3PO_4) puede ser representado en la siguiente reacción

$$Ca_{10}(PO_4)_6F_2 + 20\ HCl \rightarrow 6\ H_3PO_4 + 10\ CaCl_2 + 2\ HF$$

El proceso ocurre en dos etapas: En la primera etapa es la digestión directa de la roca fosfórico con el ácido clorhídrico (figura 2). En la segunda etapa el ácido fosfórico puede ser separado del cloruro de calcio mediante extracción por solventes con alcoholes que contienen un mix de C_4 y C_5 (figura 3).

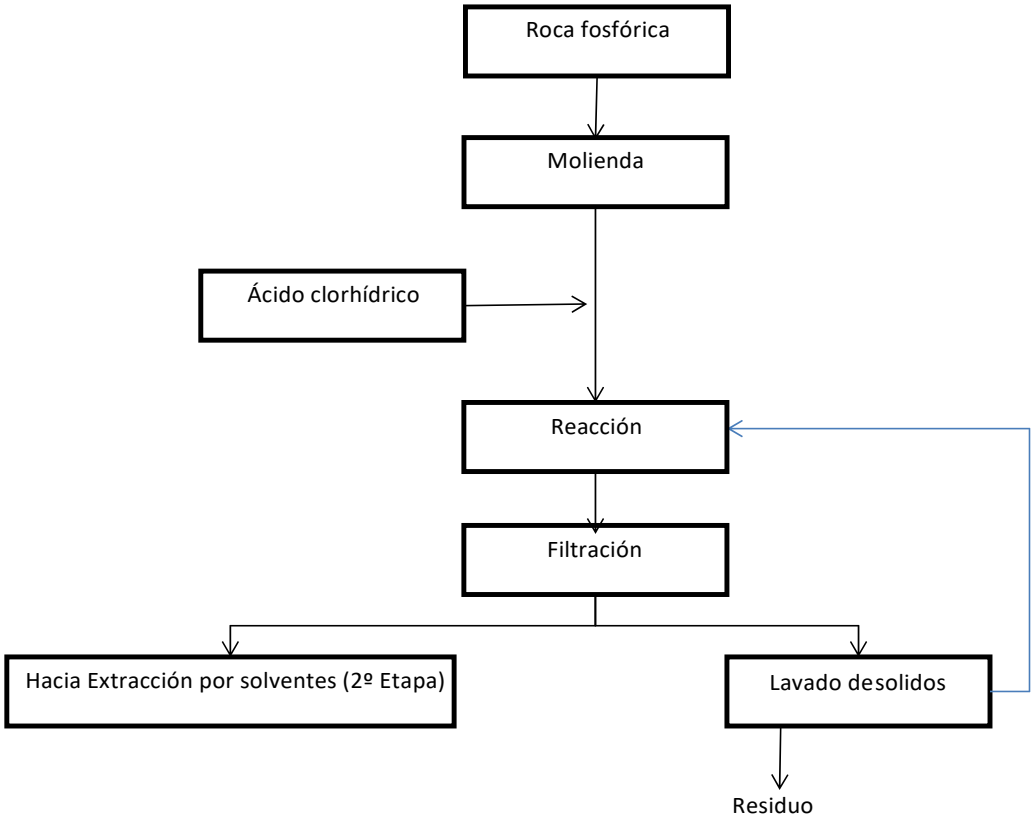


Figura 2 *Diagrama de flujo de la Primera etapa de digestión de roca fosfórica.*

Fuente: Sier van der Sluis Clean Technology Phosphoric acid process (1987).

Una de las ventajas importantes de este proceso es que reduce el nivel de impurezas obteniendo concentrados de ácido fosfórico mayor a 50% P_2O_5 y como desventaja es la alta corrosión de los equipos de planta

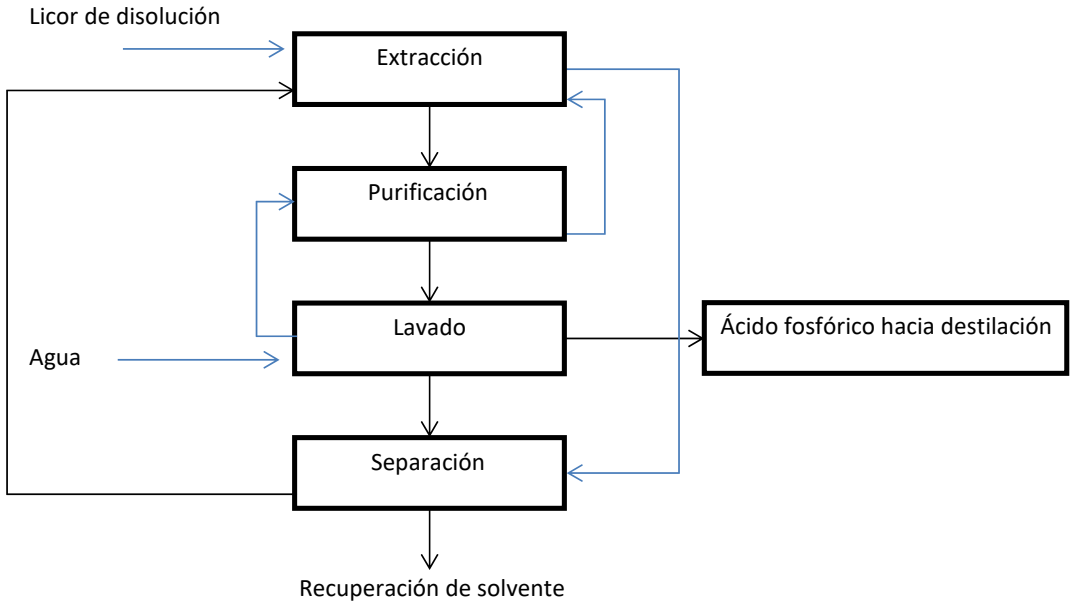


Figura 3 *Diagrama de flujo de la Segunda Etapa de Extracción por solvente*

Fuente: Sier van der Sluis Clean Technology Phosphoric acid process (1987).

3.2.2 Proceso térmico utilizando el horno rotatorio.

Los materiales como la roca fosfórica ($Ca_{10}(PO_4)_6F_2$) la roca de sílice (SiO_2) y el coque (C) son finamente molidos como preparación mecánica luego se producen pellets y estos son alimentados al horno rotatorio que se encuentra entren1200 a 1400 ºC,
La reacción más importante que ocurre en la producción del ácido fosfórico al interior del horno rotatorio es la siguiente:

$$Ca_{10}(PO_4)_6F_2 + 20\ SiO_2 + 28\ C \rightarrow 20\ CaSiO_3 + 3\ P_4 + 28\ CO + 2\ F_2$$

Después de que ocurra la reacción en el interior del, las moléculas de fósforo se oxidan con cinco moléculas de oxígeno forman dos moléculas de pentóxido de fósforo, tal como se muestra en la siguiente reacción.

$$P_4 + 5\ O_2 \rightarrow 2\ P_2O_5$$

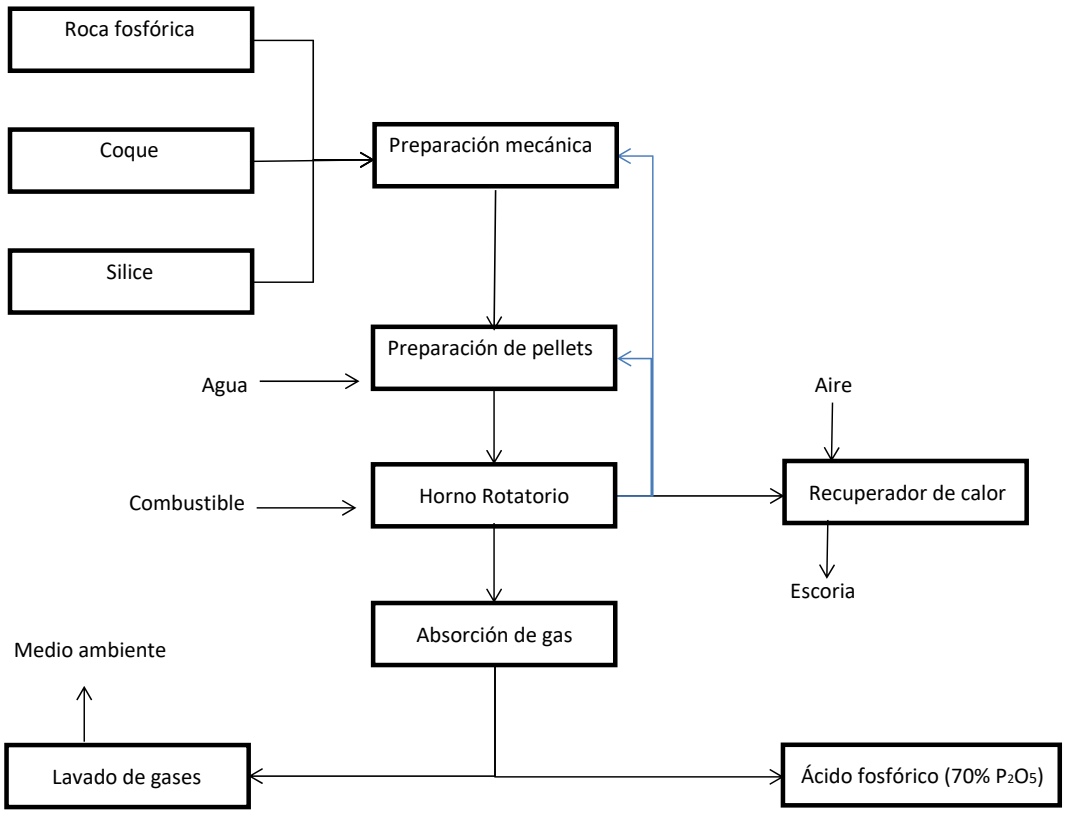


Figura 4 *Diagrama de flujo de la producción de ácido fosfórico utilizando horno rotatorio.*

Fuente: Sier van der Sluis Clean Technology Phosphoric acid process (1987).

Finalmente, la hidratación en la que una molécula de pentóxido de fósforo (P_2O_5) reacciona con tres de agua para formar finalmente dos moléculas de ácido fosfórico.

$$P_2O_5 + 3\ H_2O \rightarrow 2\ H_3PO_4$$

El Dr. Joseph Allen Megy (2015) fundador de JDC Phosphates (JDCP), Bartow, Florida, empresa donde se viene desarrollando esta tecnología que es adecuado para el uso en abonos sólidos y líquidos y para su uso en aplicaciones industriales. JDCP espera que este proceso una vez validado a escala industrial, aumentar significativamente la vida útil de las reservas de mineral de fosfato de todo el mundo; reducir los costos operativos asociados con el procesamiento de mineral de fosfato en ácido fosfórico de alta calidad; y tener un menor impacto ambiental de los procesos existentes.

4. CONCLUSIONES.

Todos los procesos desarrollados en la industrial del ácido fosfórico, son impulsados por las características de los distintos yacimientos existentes en el mundo, los cuales varían por su mineralogía y su composición, así también otro factor importante para la selección de la tecnología son la facilidad que exista en la obtención de insumos para su fabricación como son agua, acido y/o azufre, coque, rocas de sílice, energía eléctrica y otros recursos que permitan obtener el producto final.
Las nuevas tecnologías están enfocadas en dar uso a la roca fosfórica de menor contenido de fosforo (P) ley os minerales de baja ley con bajo ni que este requiere los que se encuentran con impurezas y distintos tipos de mineralogía
En el caso de nuestro país se tiene rocas fosfóricas tanto en la región de Piura como en Junín, así también la facilidad de los diferentes insumos y recursos como la energía eléctrica, para el desarrollo tecnológico en la producción del ácido fosfórico.

5. REFERENCIAS.

Alegre, J. C., & Chumbimune, R. (1992). Investigaciones y usos de la roca fosfórica en el Perú. Memorias de la II Reunión de la Red Latinoamericana de Roca Fosfórica, San Cristóbal, Edo. de Tachira, Venezuela.

Becker, P. (1983). Phosphate and phosphoric acid. Fertilizer Science and Technology Series, 3.

Campodónico, H. (13 de julio de 2015). Bayóvar, roca fosfórica y diversificación productiva. La República, Lima.

Chaabouni, A., Chtara, C., Nzihou, A., & El Feki, H. (2015). Textural And Mineralogical Studies Of Two Tunisian Sedimentary Phosphates Or Carbonated Fluorapatite Used In The Process Of Production Of Phosphoric Acid. International Journal of Scientific & T.

Chaabouni, A., Chtara, C., Nzihou, A., & El Feki, H. (2013). Kinetic study of the dissolution of Tunisian natural phosphate or francolite in industrial phosphoric acid. Journal.

Chaabouni, A., Chtara, C., Nzihou, A., & El Feki, H. (2014). Study the Nature and the Effects of the Impurities of Phosphate Rock in the Plants of Production of Phosphoric Acid. Journal: Journal of Advances in Chemistry, 7(2).

Cheney, T. M., McClellan, G. H., & Montgomery, E. S. (1979). Sechura phosphate deposits, their stratigraphy, origin, and composition. Economic Geology, 74(2), 232-259.

Focus Ventures LTD. Bayovar. (s.f.). Obtenido de http://www.focusventuresltd.com/s/Bayovar12.asp
Hermann, L. (2014, November). A review of innovations in mineral fertilizer production. In World Fertilizer Congress (Vol. 16, p. 105).

INEI & Ministerio de Agricultura y Riego. (2012). Resultados Definitivos IV Censo Nacional Agropecuario 2012.

Janikowski, S. M., Robinson, N., & Sheldrick, W. F. (1964). JanikInsoluble Phosphate Losses in Phosphoric Acid Manufacture by the Wet Process: Theory and Experimental.

Lehr, J. R. M., & Guerry, H. (1973). Phosphate rocks: important factors in their economic and technical evaluation (No. Folleto 4342).

León, L. (1991). La experiencia del Centro Internacional para el Desarrollo de Fertilizantes en el uso de rocas fosfóricas en América Latina. Revista de la Facultad de Agronomía, 17(1-4), 49-69.

McKelvey, V. E. (1967). Phosphate deposits (No. 1252-D). US Govt. Print. Off.
Mechay, A., Elfeki, H., & Jouini, N. (2014). Effect of spark plasma sintering process on the microstructure and mechanical properties of Nano crystalline hydroxyapatite ceramics prepared by hydrolysis in polyol medium. International Journal of Advanced Chemistry.

Oruna, J. C. (2016). Explotación de los yacimientos de fosfatos en Bayóvar. Perfiles de Ingeniería, 2(11).

Porter, M. (1990). Ventaja competitiva. México: Cecsa.

Sauchelli, V. . (1970). Química y tecnología de los abonos nitrogenados.

Scholz, R. W., Roy, A. H., & Hellums, D. T. (2014). Scholz, R. W.,Sustainable phosphorus management: a transdisciplinary challenge. In Sustainable Phosphorus Management (pp. 1-128).

Slack, A. V. (1968). Phosphoric Acid, Parts I and II. Fertilizer Science and Technology Series, Vol. 1.

Sluis, S. v. (s.f.). A clean technology phosphoric acid process. 1987 .

United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) and International Fertilizer Development Center (IFDC). (1979). Fertilizer Manual 1979.

Van Der Sluis, S., Witkamp, G. J., & Van Rosmalen, G. M. (1986). Crystallization of calcium sulfate in concentrated phosphoric acid. Journal of Crystal Growth, 79(1-3), 620-629.

COINI 2019

XIIº Congreso de Ingeniería Industrial

Este libro "Memorias del XII COINI 2019" reúne los trabajos presentados los días 31º de octubre y 1º de noviembre de 2019, en el Congreso Argentino / Internacional de Ingeniería Industrial. Estos 83 trabajos fueron sometidos a doble evaluación ciega, tienen el más alto rigor científico y se publican como es habitual, con Registro ISBN.

Encontrarán aquí escritos de gestión, de innovación, técnicos y de economía, de emprendodorismo, de educación, y otros. Como puede verse, el amplio campo de la Ingeniería Industrial permite además que otras especialidades se presenten en el COINI, haciendo a este libro muy variado y también muy interesante.

En tal sentido, podemos decir con gran satisfacción y orgullo que gracias a nuestros COINI –que organizamos hace 14 años- y sus publicaciones, dimos ya respuesta a más de 1200 trabajos y a 4000 autores. Así, hemos podido concretar tanto la necesaria transferencia de las investigaciones como el éxito de los procesos de Acreditación de las carreras donde participan.

En otro orden de cosas, debo destacar como novedades del COINI 2019, el acuerdo entre la AACINI y la Red REDICECIA de investigadores Latinoamericanos, que permitirá la edición de la Revista AACINI de Ingeniería Industrial Indexada.

Esta nueva Revista incluirá los mejores trabajos de este los futuros Congresos que organicemos.

Vemos así como la AACINI, la Red Argentina de la especialidad, reconocida por el CONFEDI, Consejo Federal de Decanos de Ingeniería, e integrada por más de 60 Directores de Carrera, contribuye con la producción científica y la educación en Ingeniería, tanto de la República Argentina como de América Latina y del Caribe.

Para concluir, es mi ferviente deseo que continuemos trabajando juntos -con el espíritu de cordialidad que siempre prima en nuestros COINI y en nuestra AACINI- para aportar no solo a la calidad y mejora de la carrera de Ingeniería Industrial, sino también a la producción, difusión y transferencia de conocimientos, indispensables para el desarrollo y bienestar de nuestra querida República Argentina y de América toda.

Espero entonces que disfruten de este libro y que también les sea de utilidad.

edUTecNe

aacini
ASOCIACIÓN ARGENTINA DE CARRERAS DE INGENIERÍA INDUTRIAL

UTN FACULTAD REGIONAL SANTA CRUZ
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL