

# \* CYTAL 2018

8<sup>º</sup> Jornadas de Ciencia y Tecnología

## MEMORIAS DE **TRABAJOS**



Secretaría de Ciencia,  
Tecnología y Posgrado



**UTN VILLA MARIA**

Compilación:

**Ing. Marcelo Cejas, Ing. Javier Gonella, Ing. Fabián Sensini**

# **8ª Jornadas de Ciencia y Tecnología CyTAL 2018**

**Memorias de Trabajos**

## **Universidad Tecnológica Nacional – República Argentina**

Rector: Ing. Héctor E. Aiassa

Vicerrector: Ing. Haroldo T. Aveta

### **Facultad Regional Villa María – UTN**

Decano: Ing. Pablo Andrés Rosso

Vicedecano: Ing. Franco Martín Salvático

Secretaría General: Ing. Norberto Gaspar Cena

Secretaría Administrativa: Cr. Sergio Miguel Gilabert

Secretaría Académica: Ing. Franco Martín Salvático

Secretaría de Extensión Universitaria: Ing. Huber Gabriel Fernández

Secretaría de Ciencia, Tecnología y Posgrado: Esp. Ing. Marcelo Oscar Cejas

Secretaría de Tecnologías de la Información y la Comunicación: Ing. Sebastian Mussetta

Secretaría de Infraestructura: Ing. José Luis Catalano

Secretaría de Asuntos Estudiantiles: Sr. Gonzalo Giorgis

Departamento Materias Básicas: Ing. Graciela Trombini

Departamento Ing. en Electrónica: Esp. Ing. Marcelo Oscar Cejas

Departamento Ing. Mecánica: Ing. Huber Gabriel Fernández

Departamento Ing. Química: Mg. Rubén Luis Baccifava

Departamento Ing. en Sistemas de Información: Ing. Norberto Gaspar Cena

Departamento Lic. en Administración Rural: Cr. Sergio Miguel Gilabert

# **8ª Jornadas de Ciencia y Tecnología CyTAL 2018**

**Memorias de Trabajos**

Marcelo O. Cejas, Javier N. Gonella, Fabián M. Sensini  
(Compiladores)

8ª Jornadas de Ciencia y Tecnología - CyTAL 2018: memorias de trabajos ;  
compilado por Marcelo Cejas ; Javier Gonella ; Fabián Sensini. - 1a ed. -  
Córdoba : 2018  
554 p. ; 22 x 15 cm.

ISBN 978-987-4433-19-0

1. Ciencia y Tecnología. 2. Jornadas. I. Cejas, Marcelo, comp. II. Gonella, Javier,  
comp. III. Sensini, Fabián, comp.  
CDD 607.2

## **8ª Jornadas de Ciencia y Tecnología, CyTAL 2018**

### **Memorias de Trabajos**

Compilación: Marcelo O. Cejas, Javier N. Gonella, Fabián M. Sensini

**Diseño de Tapa:** Javier Gonella

ISBN 978-987-4433-19-0



Impreso en Argentina – Printed in Argentina

Queda hecho el depósito que marca la ley 11.723

© UTN FRVM, 2018

Av. Universidad 450

(X5900HLR) Villa María, Córdoba, República Argentina

## Prólogo a la 8º Edición

Desde hace años, la ciencia y la tecnología se han ido convirtiendo en factores fundamentales para el desarrollo de las sociedades, mejorando la calidad de vida de los ciudadanos y transformando el proceso productivo de las comunidades.

Nuestro país posee una inmensa masa de recursos humanos con capacidad de llevar adelante este tipo de desarrollos, y es esto lo que se intenta llevar adelante desde las Universidades. Incentivar de manera fehaciente que cada vez más existan personas interesadas en analizar su contexto, encontrar problemas e investigar para dar soluciones tecnológicas a la sociedad. Esta es la razón por la que es necesario partir desde las bases, que son los estudiantes de las distintas carreras de todo el país, brindando un lugar donde mostrar el resultado del esfuerzo y la dedicación empeñados.

Estas Jornadas, parten de una propuesta que se iniciara hace ya dieciséis años con una enorme ilusión y el compromiso de incentivar a los alumnos, por aquel entonces de la Facultad Regional Villa María, a realizar investigaciones en ciencia y tecnología. Un compromiso tomado como institución de promover la actividad académica e investigativa, que en cada una de las ediciones bienales demuestra un continuo crecimiento.

Ya han pasado siete ediciones y cada vez se amplían más sus contenidos, sus objetivos, su poder de convocatoria y su ámbito de incidencia y difusión. Lo que permite inferir que desde sus inicios se está en el camino correcto, de concebir a la ciencia y la tecnología como creadores de nuevos escenarios y nuevas oportunidades.

El presente libro representa un hito más en la organización de la 8ª edición de las Jornadas de Ciencia y Tecnología, CyTAL 2018. En este sentido, la edición de memorias forma parte de la realidad científica como un hecho social e institucional. Tanto la presentación oral en las Jornadas como las memorias tienen un objetivo común: difundir la ciencia y la tecnología. No obstante, cada uno lo realiza a través de canales distintos. Las presentaciones orales, además de ser un espacio institucional de difusión entre pares, permite el diálogo, el debate, y la reflexión; al igual que posibilitan el encuentro y la convivencia entre los participantes. Por otra

parte, las memorias, preservan el conocimiento en las páginas de un libro impreso y digital; al igual que sirven como testimonio de lo acontecido.

A parte de lo característico de cada uno, ambos funcionan de manera complementaria, esto es, las presentaciones están circunscritas a un tiempo y un espacio determinado, lo cual limita el alcance de la difusión; en cambio, las memorias, al ser un medio escrito, posibilitan trascender el tiempo y el espacio, para así ampliar el círculo de alcance y permanecer a través del tiempo.

Así es que, gracias a la iniciativa de la Secretaría de Ciencia, Tecnología y Posgrado, desde el año 2012 estas memorias se presentan como edición impresa y digital con registro de ISBN. Como se indicaba, este libro representa un hito, la culminación de un proceso que llevó dos años de organización y el puntapié inicial para encarar uno nuevo que se completará en el 2020.

La heterogeneidad con la que se presentan los desarrollos científicos y tecnológicos, se ve reflejada en las temáticas diversas de los 91 trabajos aquí incorporados. Ellos resumen el trabajo de 193 estudiantes, tanto del nivel de grado como de posgrado, y sus 90 tutores, que le dan el marco a nuestras Jornadas.

Todos los trabajos han recorrido un largo camino que se inició con la presentación de un resumen que permitió, luego de su análisis de pertinencia, continuar en la confección de un documento final. Para brindar un marco de excelencia, cada trabajo pasa por una doble evaluación por parte de 91 reconocidos exponentes de 35 especialidades, que formaron parte del Comité Evaluador de esta edición.

El Comité Organizador ha tenido como meta desde siempre acompañar a los autores en el proceso de difundir sus ideas y resultados en todas las instancias que un congreso posee, desde la inscripción hasta la publicación de su trabajo final.

Es necesario agradecer a las 19 instituciones que dieron apoyo a sus estudiantes para que participen de CyTAL 2018, las cuales representan a las provincias de Buenos Aires, Chaco, Chubut, Córdoba, Entre Ríos, La Rioja, Mendoza, San Luis y Santa Fe. A todos los estudiantes y tutores que confiaron en nuestras Jornadas para presentar sus investigaciones, a los

evaluadores que brindan su tiempo para lograr obtener documentos pulidos acordes al nivel científico de un evento de estas características.

Asimismo, es necesario expresar el agradecimiento a las autoridades de la Facultad Regional Villa María, encabezada por su Decano Ing. Pablo Rosso, quienes siempre han brindado su apoyo y compromiso para dar continuidad a la organización de este congreso y así mostrar a la comunidad los resultados del esfuerzo conjunto que realizan los actores del sistema universitario nacional.

Esperamos que los trabajos aquí presentados se conviertan en disparadores de nuevas ideas e investigaciones y que sirvan de efecto multiplicador, como se expresaba al comienzo, del desarrollo de la sociedad toda.

Ing. Javier N. Gonella  
*Comité Organizador*



# LA EXPERIENCIA DEL APRENDIZAJE BASADO EN PROBLEMAS PARA EL DESARROLLO DE LAS COMPETENCIAS INGENIERILES

Nancy Aguilar, Laura Voelki, Ana M. Montenegro, María B. García  
nfaguilar13@yahoo.com.ar

Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Resistencia (UTN. FRRe). Grupo de Investigación Educativa Sobre Ingeniería (GIESIN).

## Resumen

El Grupo de Investigación Educativa sobre Ingeniería (GIESIN) viene realizando investigaciones sobre las competencias matemáticas en carreras de formación ingenieril desde hace siete años.

Nuestra metodología de trabajo se enmarca en la Investigación-Acción.

En el marco del proyecto de investigación anterior, en el año 2016 dictamos un curso para docentes que trabajaban en materias de 1° año, relacionadas con las Ciencias Matemáticas. A raíz del interés manifestado por los profesores en el Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) y las metodologías activas, surge en el año 2017 un nuevo proyecto denominado “El desarrollo de las Competencias en Materias Integradoras de las Carreras Ingeniería Química y Electromecánica de la FRRe de la UTN”. Comenzando nuestro trabajo analizamos la planificación de la cátedra Integración I de Ingeniería Química para el año 2017, con el objetivo de tomar conocimiento de las competencias enunciadas y mediante qué tipo de actividades y estrategias se pretenden desarrollar las mismas, observando clases mediante guías elaboradas para tal fin.

Nuestra propuesta para el año 2018, es continuar trabajando en conjunto con la cátedra Integración I realizando propuestas de actividades utilizando la metodología del ABP y sus beneficios para el desarrollo de competencias en los estudiantes.

Palabras Claves: Competencias. Enseñanza. Aprendizaje.

## Introducción

La Asignatura Integración I conforma el núcleo de asignaturas denominado Tronco Integrador de la carrera de Ingeniería Química. Comparte esta área con Integración II, Integración III, Integración IV e Integración V o Proyecto Final. Estas asignaturas también son denominadas Integradoras y de manera imaginaria es posible presentarlas como la “columna vertebral” sobre la que se construye la formación del Ingeniero Químico Tecnológico.

El Tronco Integrador conforma una línea curricular que se desarrolla a lo largo de la carrera, y que se forma con las Asignaturas Integradoras que parten de los Problemas Básicos de índole social que originan la actividad profesional. Las Asignaturas Integradoras son las que comprenden la integración tanto horizontal como vertical de los conocimientos básicos, específicos y las orientaciones sobre los que se basa el desarrollo de la Carrera de Ingeniería Química.

Tal como lo establece el Diseño Curricular (Ord. 1028 CSU) las actividades docentes se orientan a estimular al alumno para ser el actor principal de su formación [6].

Esto significa que el alumno es motivado a participar activamente en clase, es decir a que “aprenda participando” a través de la gestión docente de debates dado que “aprender a ser” es una de las bases de su formación profesional.

La propuesta desde Integración I es una enseñanza dinámica, con actividades autogestionarias de los alumnos, trabajo en equipo, exposiciones orales y presentación de trabajos usando el lenguaje técnico adecuado.

La Asociación Iberoamericana de Instituciones de Enseñanza de la Ingeniería (ASIBEI) [1], en el año 2013, adopta como propia la síntesis de competencias acordadas por el Consejo Federal de Decanos de Ingeniería (CONFEDI), dando lugar a la “Declaración de Valparaíso” [2]. En este documento se aclara que, para favorecer el desarrollo de competencias, el primer paso es tener claridad sobre cuáles son las que deben ser consideradas en todos los estudios de ingeniería y específicamente en cada especialidad.

Ello supone pensar la formación de grado del ingeniero desde el eje de la profesión, es decir desde el desempeño, desde lo que el ingeniero efectivamente debe ser capaz de hacer en los diferentes ámbitos de su quehacer profesional y social en sus primeros años de actuación profesional.

El Consejo Federal de Decanos de Ingeniería (CONFEDI) [3], identifica en su documento, tres tipos de competencias:

A) Las competencias básicas: que aluden a capacidades complejas y generales necesarias para cualquier tipo de actividad intelectual. Como ser la comprensión lectora; la producción de textos; el manejo de distintas estrategias de aprendizajes y la resolución de problemas, la capacidad de reflexión sobre sus procesos de aprendizaje, de trabajo en grupo, "aprender a aprender"

B) Las competencias transversales que refieren a capacidades claves para los estudios superiores. Como, por ejemplo: la autonomía en el aprendizaje y las destrezas cognitivas generales.

C) Las competencias específicas, indican la necesidad de tener saberes específicos sobre matemática, física y química, privilegiando el razonamiento lógico, la argumentación, la experimentación, el uso y organización de la información y la apropiación del lenguaje común de la ciencia y la tecnología.

Desde estos lineamientos parece claro que la estrategia del ABP constituiría una estrategia significativa para el desarrollo de las competencias específicas ingenieriles, ya que se trata de un tipo de aprendizaje activo.

## **Fundamentación Teórica**

El trabajo sobre las competencias matemáticas que venimos realizando hace siete años, profundiza sobre la necesidad de mejorar el aprendizaje de esta disciplina en el contexto de formación de las carreras de ingeniería que ofrece la Regional Resistencia de la UTN.

Esto nos da las herramientas y el conocimiento necesario para la aplicación de otras competencias, en materias no específicamente matemáticas, como ser la materia integración I.

Como medio de desarrollo y aprendizaje de las mismas, coincidimos claramente en que "la resolución de problemas es el mejor camino para desarrollar estas competencias ya que es capaz de activar las capacidades básicas del individuo" [9]. Tanto para producir e interpretar distintos tipos de información, como para ampliar el conocimiento sobre aspectos cuantitativos y espaciales de la realidad. Y también para resolver problemas relacionados con la vida cotidiana y con el mundo laboral.

En el mismo sentido, se expide el documento OCDE/PISA (Programa Internacional de Evaluación de Estudiantes auspiciado por la UNESCO y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico) [7]. Allí definen la competencia matemática como "capacidad de un individuo para identificar y entender el rol que juegan las matemáticas en el mundo, emitir juicios bien fundamentados y utilizar las matemáticas en formas que le permitan satisfacer sus necesidades como ciudadano constructivo, comprometido y reflexivo".

En relación con las carreras de ingeniería la Resolución 326/92 del Consejo Superior sobre el nuevo diseño curricular de la UTN [8], manifiesta que un "estudiante se va a formar como profesional realizando los procesos característicos de la profesión". Y que "un estudiante se formará como pensador en los problemas básicos que dan origen a su carrera si se enfrenta con ellos desde el principio".

Siguiendo a los autores Escribano y Del Valle, que definen el Aprendizaje Basado en Problemas como "un sistema didáctico que requiere que los estudiantes se involucren de forma activa en su propio aprendizaje hasta el punto de definir un escenario de formación auto dirigida". Puesto que son los estudiantes quienes toman la iniciativa para resolver los problemas, afirman que "es una técnica en la cual ni el contenido ni el profesor son elementos centrales" [4].

Consideramos que la metodología ABP es una colección de problemas cuidadosamente construidos por profesores de materias afines que se presentan a grupos de estudiantes auxiliados por un tutor. Los problemas, generalmente, consisten en una descripción en lenguaje muy sencillo y poco técnico de conjuntos de hechos o fenómenos observables que plantean un reto o una cuestión, es decir, requieren explicación. En tanto que las competencias transversales o genéricas serían aquellas que rebasan los límites de una disciplina para desarrollarse

potencialmente en todas ellas. Son habilidades necesarias para ejercer eficazmente cualquier profesión.

## **Desarrollo**

El trabajo con la materia desde el proyecto de investigación consistió en revisar la planificación y realizar observaciones de clases para comprobar el desarrollo de las competencias mencionadas arriba.

Por esto, nos planteamos como objetivos de estudio, por un lado, comprender las características que asumen los procesos de enseñanza y aprendizaje involucrados en el desarrollo de las competencias de la materia Integración I de la carrera Ingeniería Química, entre las cuales están las competencias matemáticas. Por otro lado, identificar las competencias específicas planteadas para la enseñanza y el aprendizaje de la ingeniería y su vinculación con los problemas básicos de la carrera.

Observamos que esta asignatura se presenta como el primer paso destinado a lograr el objetivo de formar un Ingeniero Químico de alta calidad, que cuente con una importante capacidad para el autodesarrollo, provisto de un espíritu autogestionario. Promueve la capacidad de autogestión y la aptitud para interpretar problemas y proponer soluciones, mediante metodologías de enseñanza dinámica y actividades tanto presenciales como virtuales.

Las estrategias metodológicas de enseñanza y aprendizaje planteadas en la planificación de la asignatura Integración I, son: debates, experiencias de laboratorio, talleres, trabajo de campo, exposición, coloquios, entrevistas, simulaciones, estudio de casos, tutoría entre pares y trabajos prácticos. Todas ellas adecuadas para desarrollar las competencias requeridas en un futuro ingeniero. La modalidad es mediante pequeños grupos fijos o flexibles y/o el grupo total de la clase

En una segunda instancia, se realizó una reunión de trabajo con los docentes de la cátedra para analizar la metodología de Aprendizaje Basado en Problemas e intercambiar información sobre metodologías de enseñanza activas y su aplicación en el dictado de la materia.

A solicitud del profesor, se elaboró un problema de aplicación referido a esta asignatura, donde se integran contenidos de Álgebra y Geometría Analítica.

El docente presentó a la clase el siguiente problema: “Se desea obtener agua potable por destilación de agua de mar. El evaporador produce 500 kg/h de agua pura y una corriente residual que contiene 18% en peso de sólidos. Si el agua de mar contiene 3,58% en peso de sólidos, ¿cuál es el flujo de alimentación de agua de mar al evaporador?”, para que los alumnos lo resuelvan en grupo, mediante la metodología ABP. La tarea del grupo de estudiantes es discutir estos problemas y producir explicaciones tentativas para los fenómenos describiéndolos en términos fundados de procesos, principios o mecanismos relevantes [5].

Además de la elaboración del problema, el equipo de investigación realizó observaciones de clases y encuestas a los estudiantes, con el objetivo de avanzar en la recolección de datos que enriquezcan nuestro estudio y análisis. En nuestro caso, realizamos una observación no participante, directa, estructurada, con la ayuda de una plantilla de observación diseñada para tal fin. Esta herramienta sirvió para establecer preguntas o criterios que nos ayudaron a definir los objetivos y focos de la observación.

### **Primeros resultados**

De las encuestas aplicadas pudimos observar que, poco más del 80% del curso estuvo satisfecho con la planificación de la cátedra, mientras que el 20% restante se divide en poco satisfecho y no satisfecho. Cuando se les consultó sobre las actividades colaborativas y los trabajos en grupo, en promedio el 75% manifestó estar de acuerdo con la propuesta, mientras que el 25% en desacuerdo. En cuanto a la pregunta de si estaban satisfechos con la nueva metodología del parcial en comparación con la metodología tradicional, poco más del 85% del total del curso expresó satisfacción con los nuevos cambios implementados, frente al 15% que optó por las metodologías tradicionales.

Esto nos permitió considerar a partir de la información obtenida, que la utilización de las estrategias metodológicas para el desarrollo de las competencias de formación, constituye un camino factible de implementarse en la enseñanza de la ingeniería.

## Conclusiones

Teniendo en cuenta que los Objetivos Específicos, enunciados en la planificación de esta asignatura son:

Estudiar el rol de la ingeniería química en el desarrollo industrial global y en el avance de las innovaciones tecnológicas mundiales y en el aporte que el profesional puede realizar en las distintas ramas a través de las competencias adquiridas.

Conocer las diferentes áreas de actuación en la profesión y los tipos de problemas y situaciones que deberá enfrentar y resolver, utilizando los conceptos y fundamentos impartidos por las diferentes disciplinas básicas y aplicadas que integran la carrera, como así también su relación con otras especialidades de la ingeniería a través del trabajo en equipo.

Complementar la formación de un intelecto lógico, analítico y científico, como fundamental en un Ingeniero.

Entender la necesidad de una sólida formación en Ciencias Básicas.

Infundir en los futuros Ingenieros el hábito de la identificación de problemas e iniciarlos en la metodología para su resolución.

Incentivar el espíritu participativo y colaborativo de los alumnos aplicando la ejecución de trabajos grupales que les exija interactuar con sus compañeros y los docentes en forma permanente.

Entendemos que trabajar con metodologías activas, entre las cuales se encuentra el ABP, posibilitarían la consecución de los objetivos mencionados y por ende de las competencias pretendidas.

En las observaciones realizadas en clase, cuando los alumnos aplicaron esta metodología, pudimos apreciar la incorporación de conocimientos, habilidades y creatividad por parte de los estudiantes a la hora de buscar información. Asimismo, trabajaron en grupo en forma ordenada, la comunicación fue fluida, demostraron capacidad de análisis, síntesis e investigación.

Se destaca el compromiso y la aceptación de la propuesta por parte del docente de la cátedra, fomentando en el estudiante la reflexión sobre las propias necesidades de información. Estas características fueron claves para una buena respuesta por parte de los alumnos. Se pudo comprobar, asimismo, que los alumnos quedaron muy motivados por la estrategia empleada y manifestaron su deseo que se extienda a otros temas de la asignatura. Esto quedó expresado en las encuestas, porque más del 85% del total del curso estuvo satisfecho con la nueva metodología.

La incorporación de ABP ha posibilitado tener una experiencia enriquecedora, siendo ampliamente aceptada por los profesores de la cátedra y por los alumnos abriendo así un abanico de herramientas para el dictado de clases.

Consideramos que los principales rasgos de la práctica reflexiva están en el aprender haciendo y que el ABP posibilita la construcción del conocimiento mediante procesos de diálogo y discusión, que ayudan a los estudiantes a desarrollar habilidades transversales de comunicación y expresión oral. Al mismo tiempo que también desarrollan el pensamiento crítico y la argumentación lógica, para la exploración de sus valores y de sus propios puntos de vista.

Entendemos que nuestra intervención en la materia integradora, puede ayudar a favorecer la coordinación horizontal y vertical entre cátedras como lo indica el Diseño Curricular de la UTN.

Luego de los siete años precedentes de investigación sobre las competencias, como equipo de trabajo hemos logrado cierta experiencia en la planificación, implementación y evaluación de estrategias centradas en el Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) y creemos que esto puede ser útil para colaborar con docentes de otras asignaturas y lograr que ellos apliquen estas metodologías activas en sus cátedras

## Referencias

- [1] ASIBEI: Competencias y Perfil del Ingeniero Iberoamericano, formación de profesores y desarrollo tecnológico e innovación (2013). <http://www.epn.edu.ec/wp-content/uploads/2016/07/Libro-Competencias-perfil-del-ingeniero-FINAL.pdf>
- [2] ASIBEI Declaración de VALPARAISO sobre competencias genéricas de egreso del Ingeniero Iberoamericano (2013). [https://confedi.org.ar/download/documentos\\_confedi/Declaracion-de-Valparaiso-Nov2013VF.pdf](https://confedi.org.ar/download/documentos_confedi/Declaracion-de-Valparaiso-Nov2013VF.pdf)
- [3] CONFEDI: Cuadernillo de Competencias de CONFEDI. <http://www.confedi.org.ar/documentos-publicos>.
- [4] Escribano A. y Del Valle A. (2008) El Aprendizaje Basado en Problemas. Madrid. NARCEA.
- [5] Norman, G. R., & Schmidt, Henk G. (1992). The psychological basis of problem-based learning: a review of the evidence. *Academic Medicine*.
- [6] Ordenanza 1028 (2004) Adecua el Diseño Curricular de la Carrera Ingeniería Química. San Martín de Tucumán. Consejo Superior Universitario.
- [7] Organización Para La Cooperación y El Desarrollo Económico (OECD en inglés). Definition and Selection of Competences (DeSeCo): The theoretical and conceptual foundation, strategy paper (2002).
- [8] Resolución 326/92 (2002) Aprobación de lineamientos generales de nuevos Diseños Curriculares. Consejo Superior Universitario.
- [9] Rupérez Padrón, José Antonio & García Déniz, Manuel (2008). Competencias, matemáticas y resolución de problemas. [http://www.sinewton.org/numeros/numeros/69/ideas\\_01.pdf](http://www.sinewton.org/numeros/numeros/69/ideas_01.pdf)



# HARDWARE MULTIDISCIPLINARIO PARA LA ENSEÑANZA DE CIENCIAS EXACTAS

Santiago Millicay, Diego Coll, Pablo Cayuela  
Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Rioja  
Av. San Nicolás de Bari 1100  
La Rioja, Capital - CP 5300 - Tel 0380 4421017

## Resumen:

El proyecto busca resolver una necesidad que es muy común en todas las instituciones educativas técnicas/científicas del país, la cual es “la falta de equipamiento especializado para laboratorios”. Estos son muy importantes, ya que para consolidar los conocimientos teóricos dictados en clase es necesaria la realización de las prácticas correspondientes. Con esto se logra que el proceso de aprendizaje sea más eficiente y completo.

Nuestra solución consiste en la realización de un dispositivo electrónico que pueda suplir la falta de la mayoría de estos instrumentos, combinándolos en un único equipo. Además se buscará que el mismo cumpla con ciertos criterios de versatilidad y costo; bajo esta idea, se aplica el concepto de la modularización.

El sistema estará constituido por 3 partes esenciales: un dispositivo principal (DAQ - Data Acquisition) que sirve como receptor y procesador de datos. Por otro lado los módulos-sensores que se conectaran de manera directa a dicho dispositivo principal y que son los encargados de generar los datos necesarios, estos serán definidos en función del concepto que se desea demostrar en el laboratorio. Y por último una aplicación web que permitirá visualizar los datos recolectados por el equipo.

El objetivo es que el alumno, de forma sencilla y didáctica, comprenda y experimente las temáticas expuestas en los laboratorios logrando un mayor aprovechamiento de las mismas.

## Problemática:

A raíz de la detección de una necesidad existente dentro de nuestra institución educativa UTN - Facultad Regional La Rioja, se dio inicio a este proyecto. El problema se centra en la falta de equipos especializados para la realización de diversas experiencias y prácticas de laboratorio, las cuales son esenciales para la demostración de los conceptos abordados por los docentes en las clases teóricas. Por otra parte, el costo total de estos equipos implica una suma considerable.

## Propuesta:

Se propuso realizar el desarrollo íntegro de un único sistema electrónico de propósito educativo, que permita suplir la falta de material especializado para la medición de parámetros físicos de diversas cátedras. Por otro lado se trabajó en el desarrollo de una aplicación web que permite visualizar la captura de datos realizada por el equipo.

## Objetivos principales:

- Que el sistema sea altamente versátil y económico.
- Obtener mediciones precisas y exactas del fenómeno físico analizado.
- Que las mediciones se realicen de manera automática al dispararse el evento.
- Que el usuario no requiera instalar ningún tipo de software adicional a su ordenador

## ¿Cómo?

La mejor manera para abordar el problema planteado es aplicando el concepto de modularización, es decir, fragmentar el sistema en un dispositivo principal, DAQ - Data Acquisition, que sirve como receptor y procesador de datos, y por otro lado los módulos sensores que se conectan de manera directa a dicho dispositivo principal y son los encargados de generar los datos necesarios en función del parámetro físico que se desea medir o el concepto que se desea demostrar.

## Método empleado

La utilización de una metodología de trabajo como herramienta es vital para el desarrollo de sistemas electrónicos. Tiene como objetivo facilitar el despliegue y asegurar el cumplimiento de los requisitos definidos inicialmente. Principalmente coste, tiempo y confiabilidad. La metodología implementada tiene un modelo denominado " V " debido a la forma que toma el ciclo de vida. Este es comúnmente utilizado en el desarrollo de sistemas embebidos

## Desarrollo del proyecto

### Investigación

Con el fin de lograr un producto innovador y tecnológico se realizó un análisis detallado sobre las tecnologías y técnicas actuales más utilizadas en trabajos de ésta naturaleza. También se investigó acerca de los proveedores de componentes más convenientes.

### Determinación de especificaciones

Partiendo de los objetivos principales se plantearon los requerimientos básicos que debe satisfacer el hardware. El sistema debe cumplir de manera adecuada con la medición de diversas variables físicas. Algunas de ellas se enumeran a continuación, las cuales son las necesarias para llevar a cabo las prácticas y laboratorios más relevantes.

- |             |               |               |
|-------------|---------------|---------------|
| • Tiempo    | • Temperatura | • Distancia   |
| • Velocidad | • Fuerza      | • Aceleración |

También se planteó la posibilidad de realizar futuras experiencias vinculadas a otras cátedras, por lo cual, el dispositivo se diseñó para adaptar actualizaciones de software y hardware. Entre las prácticas que se pretende abarcar posteriormente se citan las siguientes:

- |                                    |                             |
|------------------------------------|-----------------------------|
| • Procesamiento digital de señales | • Técnicas Digitales I y II |
| • Control Aplicado                 | • Informática I y II        |

## Estructura del sistema

Una vez definidos los requerimientos básicos del sistema se procedió a especificar la estructura que tomaría el conjunto. Prestando especial atención en las dependencias que requiere la plataforma a diseñar y dado que las tecnologías de mayor aceptación en la actualidad son las relacionadas a la conectividad IP y WEB se planteó la siguiente estructura. Esta configuración permite hacer estructuras más complejas, como las que se usan convencionalmente en el área del “Internet de las Cosas” o “IoT” (siglas en inglés). La mayor virtud de usar este tipo de tecnologías es que cualquiera que disponga de un dispositivo (celular o PC) puede conectarse a múltiples plataformas (DAQ).

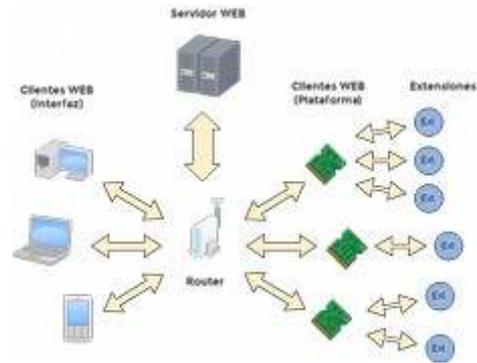


Fig. 1 - Diagrama de comunicaciones

## Factor de forma

Tras un extenso análisis en diferentes aspectos a nivel de usabilidad y portabilidad, se logró esquematizar las dimensiones y las disposiciones de los diferentes elementos del equipo.

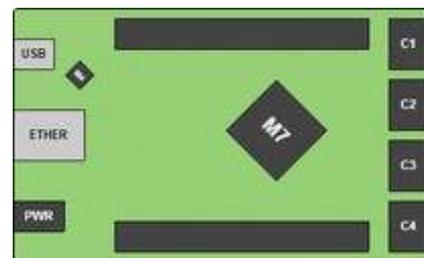


Fig. 2 - Representación del hardware

## Dependencias

Es esencial que el usuario se encuentre lo más aislado posible de las dependencias requeridas por la plataforma. Es decir, evitar al operario inconvenientes de compatibilidad, instalación de softwares, conexiones incorrectas y otras cuestiones similares, logrando así una rápida implementación del hardware.

## Selección de tecnologías

En ésta instancia se definieron las herramientas de software, tecnologías, componentes principales del hardware y los proveedores que se emplean en el desarrollo del proyecto, utilizando como criterio de selección lo investigado en las etapas previas del trabajo, además de considerar las que se emplean en la actualidad de la industria del software y hardware.

Tabla 1 - Resumen de las tecnologías y herramientas empleadas en el proyecto

Plataforma		Aplicación WEB	
hardware	firmware	FrontEnd	BackEnd
Diseño de hardware: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Altium 16</li> </ul> Simulación de variables en el tiempo: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Proteus 8</li> <li>• Altium 16</li> </ul> Testing de comunicación: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hércules</li> </ul>	IDE para firmware: <ul style="list-style-type: none"> <li>• mbed</li> </ul>	WEB App: <ul style="list-style-type: none"> <li>• vue js</li> <li>• Material</li> <li>• Chart js</li> </ul>	Servidor Http: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Node 8</li> </ul>
	IDE para desarrollo de Software: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sublime Text 3</li> </ul>		

Como se puede observar en la tabla se definieron 4 áreas de trabajo (**hardware, firmware, frontend, backend**) bien diferenciadas y como tal se las tratará a lo largo de todo el proyecto. Este criterio será de gran interés para mantener un esencial orden y lograr mayor eficiencia en el desarrollo de todo el sistema.

### Selección de componentes principales

Siguiendo la misma línea de trabajo de proyectos de igual naturaleza y envergadura, se establecen diferentes sectores en la placa, a partir de ahora: Módulos, cuyas funciones en la misma se encuentran bien definidas y se mencionan en la lista de abajo. En esta sección se seleccionan los componentes principales de cada módulo del hardware; se consideran siempre cuestiones como disponibilidad, costo, versatilidad, transporte, ventajas y desventajas que influyen en los objetivos del trabajo.

- Módulo controlador
- Módulo programador
- Módulo de alimentación
- Módulo de comunicación Ethernet
- Módulo de extensiones

El módulo más relevante e influyente del sistema es el Controlador. La correcta selección del microcontrolador fue vital para el proyecto. Al iniciar su búsqueda se tuvo en cuenta el conjunto de características esenciales que debe reunir dicho semiconductor.

Otro criterio de selección empleado se basó en la existencia y disponibilidad de material e información de desarrollo sobre el mismo, generalmente brindado por los fabricantes.

### Diseño en detalle

Esta fase consiste en la ejecución del proyecto. Como se mencionó anteriormente, se definieron cuatro áreas de trabajo: Diseño de **hardware**, Desarrollo del **firmware** del microcontrolador y Diseño de la Aplicación WEB (**backend - frontend**). A continuación se detalla un poco más de cada una de las áreas.

- **Diseño del hardware**

Cada módulo impone sus condiciones de diseño para el cálculo de parámetros y dispositivos a emplear. En ésta etapa se aplicaron los cálculos matemáticos que fijan los valores de las variables eléctricas de los distintos puntos del sistema. Para el diseño circuital se apoyó en las recomendaciones brindadas por los manuales de cada chip y en los criterios académicos de los desarrolladores de éste proyecto.

- **Desarrollo del firmware del microcontrolador**

Dadas las características del microcontrolador y las herramientas online disponibles por su arquitectura, se empleó el lenguaje C++ para desarrollar esta parte del proyecto.

Esencialmente se utilizó como base un sistema operativo regido por eventos diseñado específicamente para microcontroladores. El mismo se llama MBED.

- **Diseño de la Aplicación WEB (backend - frontend)**

A lo que refiere al front-end de la aplicación, bajo los conocimientos de CSS, HTML y JavaScript, se hizo uso del framework Vuetify; una herramienta actual en el momento de ejecución del proyecto, que permitió brindarle a la aplicación un entorno estético bien logrado. Otro framework utilizado y combinado con el anterior fue ChartJs, el cual permite reproducir las gráficas correspondientes a las variables medidas por la placa.

### Implementación del hardware

Una vez diseñados y confirmados los circuitos eléctricos finales, se procedió a realizar su implementación en el software de diseño Altium Designer. Para ello se llevan a cabo dos etapas: **Confección del modelo circuital (Esquemático)** y **Confección del PCB (layout)**.

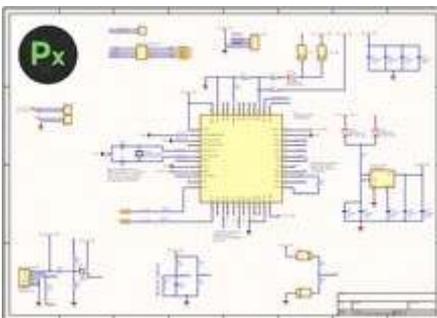


Fig. 3 - Esquemático del módulo de alimentación

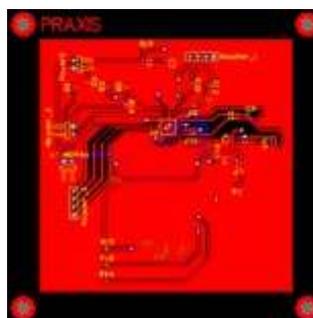


Fig. 4 - Layout del módulo de alimentación

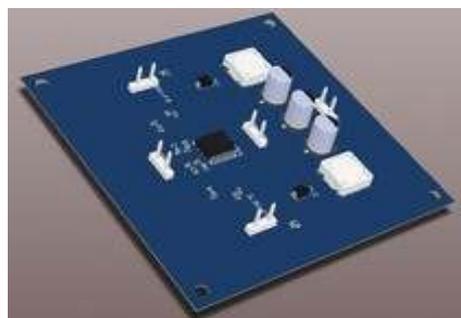


Fig. 5 - Representación 3D del módulo de alimentación

Una vez terminado el diseño del PCB, se aplicaron técnicas de fabricación de PCB mediante la insolación por rayos UV. Logrando así elaborar cada módulo por separado para realizar testeos unitarios y poder aislar posibles fallas de manera adecuada.



Fig. 6 - Proceso de insolación del módulo de alimentación

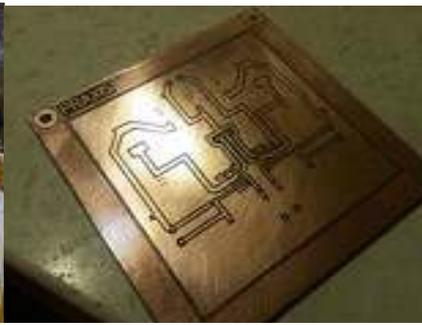


Fig. 7 - PCB recién revelado del módulo de alimentación

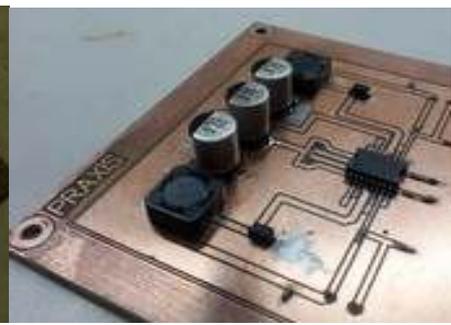


Fig. 8 - PCB del módulo de alimentación con los componentes soldados

### Implementación de la Plataforma web

La aplicación web está orientada en un principio a la cátedra de Física I, en donde el alumno puede acceder a una sección llamada *Teoría*, en donde encontrará los conceptos teóricos de cada unidad de dicha materia. También puede acceder a la sección *Práctica*, en donde podrá acudir a las consignas de los ejercicios prácticos de la cátedra. Finalmente, se encontrará con la sección *Laboratorios*, en donde debe seleccionar la variable a medir, apareciendo en la pantalla principal la gráfica correspondiente al fenómeno que se analizará. En este último caso, el alumno puede descargar la gráfica en formato PDF para un posterior informe. Las secciones mencionadas se pueden apreciar en las figuras 9 y 10.



Fig. 9 - Plataforma para la visualización de los datos.

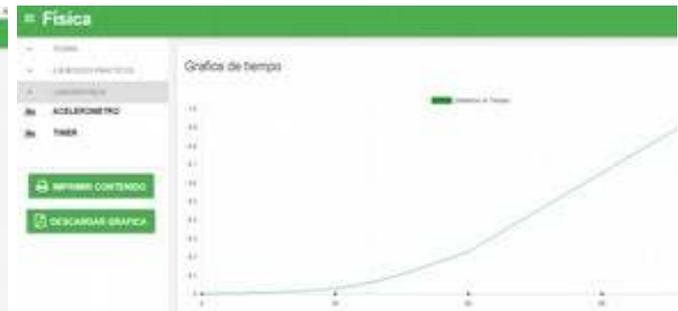


Fig. 10 - Medición de la "caída libre" de un objeto utilizando 5 sensores de cruce.

### Conclusión

Con este proyecto no sólo pretendemos que se mejoren las prácticas de las materias básicas y con ello el aprendizaje de los alumnos, sino que también ellos se sientan motivados y convencidos de que son capaces de participar en trabajos complejos de electrónica, sirviendo como ejemplo nuestro trabajo. Por otra parte, hacer notar que en la actualidad, un profesional en electrónica no sólo debe preocuparse por entender sobre hardware sino también sobre software. Además, cuando nos propusimos como solución realizar una placa de estas características sabíamos que sería un gran desafío. Pero quisimos demostrar que los alumnos de las facultades tecnológicas están más que capacitados para llevar a cabo un trabajo de esta naturaleza.

# TRANSFORMADA DISCRETA DE FOURIER: DEMOSTRACIÓN DIDÁCTICA SOBRE DISTORSIÓN ARMÓNICA EN REDES ELÉCTRICAS

Diego M. Ferreyra<sup>a,\*\*</sup>, Emanuel Bernardi<sup>b</sup>, Omar D. Gallo<sup>c,\*</sup>

*Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco.  
Avenida de la Universidad 501 (2400) San Francisco. Argentina.  
<http://www.sanfrancisco.utn.edu.ar/>*

<sup>a</sup>*GISEner (Grupo de Investigación Sobre Energía)*

<sup>b</sup>*GIDE (Grupo de Investigación y Desarrollo Electrónico)*

<sup>c</sup>*Grupo CIDEME (Cálculo, Investigación, Desarrollo y Ensayo de Máquinas Eléctricas)*

---

## Resumen

En este trabajo, se presenta el diseño de una actividad didáctica destinada a estudiantes avanzados de Ingeniería Electrónica y de Ingeniería Electromecánica, con el fin de ilustrar los aspectos centrales de la distorsión armónica en redes eléctricas. Para la implementación de dicha actividad, se recurre a la realización de mediciones de laboratorio y de campo sobre las tensiones y corrientes en ciertos elementos claramente distorsionantes, como un control por ángulo de fase, la salida de un sistema de alimentación ininterrumpida, y hasta un inversor solar fotovoltaico con conexión a red. Además, de forma complementaria, se incluyen simulaciones numéricas y gráficas que abordan la reconstrucción de las señales distorsionadas sobre la base del comportamiento temporal-fasorial para distintos órdenes de armónicos. Se considera de interés esta actividad en virtud de su aplicación y reajuste durante cuatro ciclos lectivos consecutivos. Se destaca la importancia de rescatar y sistematizar el diseño de la actividad propuesta en lo que respecta a la selección de las magnitudes por medir, las comparaciones que se establecen y el orden en que se desarrollan las sucesivas etapas.

*Palabras clave:* transformada discreta de Fourier, distorsión armónica, calidad de energía, educación en ingeniería

---

## 1. Introducción

En las redes eléctricas actuales, la distorsión armónica constituye uno de los aspectos de régimen permanente más críticos en el ámbito de la calidad de la energía. También denominada contaminación armónica o polución armónica, la distorsión armónica consiste en que las formas de onda de las tensiones de una red se apartan de una senoide ideal. Típicamente, surge distorsión armónica en dichas tensiones debido a la circulación de corrientes distorsionadas consumidas por cargas no lineales o inyectadas por fuentes de generación distribuida no lineales. Los efectos nocivos de este fenómeno obligan a cuantificarlo a fin de imputar responsabilidades sobre los causantes y acotar su impacto con el diseño de medios de mitigación.

---

\*Tutor

\*\* Autor en correspondencia

Correo electrónico: [dferreyra@sanfrancisco.utn.edu.ar](mailto:dferreyra@sanfrancisco.utn.edu.ar) (Diego M. Ferreyra)

Una herramienta analítica eficiente para el estudio y caracterización de señales es la transformada discreta de Fourier (*Discrete Fourier Transform*, DFT) [1], que permite obtener la distribución de energías sobre el espectro de frecuencias de una señal muestreada en el dominio del tiempo. Así, sobre la base de las señales involucradas en esta experiencia de laboratorio, se utiliza el algoritmo de la DFT para computar la magnitud y fase de las frecuencias que la componen. Como ejemplo de aplicación, se presenta la Fig. 1, donde la Fig. 1b contiene la magnitud de cada componente del espectro de la señal evaluada, que se observa en la Fig. 1a. Por tratarse de una señal cuasisinusoidal, correspondiente a una tensión habitual en las redes eléctricas, su descomposición espectral arroja valores de componentes armónicas casi insignificantes en relación con el valor de la fundamental.

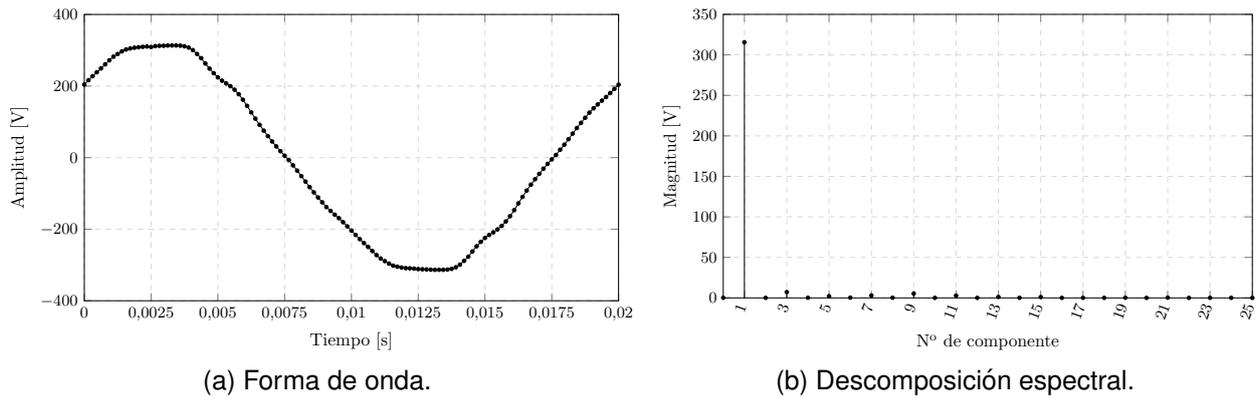


Figura 1: Tensión típica en una red eléctrica: señal cuasisinusoidal.

Las mediciones basadas en la DFT constituyen así un medio normalizado para la cuantificación requerida. Por lo general, se analizan frecuencias de hasta 63 veces la nominal, aunque la distorsión armónica total se calcula por norma con armónicas hasta el orden 40, y se acota la mayoría de los análisis a armónicas hasta el orden 25. Estos parámetros condicionan las especificaciones de las mediciones digitales relacionadas, que se orientan a describir fenómenos no lineales en las redes eléctricas. El ámbito de la calidad de energía en régimen permanente constituye así una aplicación práctica de la DFT valiosa para su visualización por estudiantes de grado de carreras de ingeniería afines a la temática.

## 2. Plan de clase propuesto

En la Fig. 2, se exhibe la disposición de los elementos involucrados en el ensayo de laboratorio propuesto en este trabajo con el formato de clase práctica.



Figura 2: Distintas disposiciones para el mismo ensayo

Según lo experimentado en sucesivas instancias de esta clase, se ha acordado la siguiente secuencia para el desarrollo de contenidos:

1. Breve puesta en contexto de la clase en el marco de la planificación de cada asignatura
2. Enumeración de los objetivos de la clase
3. Desarrollo de las mediciones sobre la disposición didáctica preparada y observación en línea de los parámetros medidos
4. Valoración adicional fuera de línea de las formas de onda y los parámetros registrados en las mediciones
5. Extrapolación de los criterios presentados al caso de las líneas eléctricas de distribución en baja tensión
6. Uso de animaciones didácticas para generalización de conceptos [2, 3, 4]
7. Resumen de la clase y provisión de los datos medidos

Siguiendo criterios didácticos de uso común en el ámbito universitario [5], este plan de clase se considera adecuado para una comprensión inmediata por parte de los estudiantes. Naturalmente, se espera que la denominada etapa de fijación de los conocimientos por transferencia se produzca con una etapa adicional de trabajo fuera de clase [6]. Por lo tanto, se proporcionan a los estudiantes los datos medidos sin procesar, a fin de que ellos mismos puedan elaborarlos, graficarlos y ponderarlos por su cuenta. En las Figs. 3, 4 y 5, se muestran algunas de las formas de onda que se visualizan en el instrumental y que luego se procesan fuera de línea.

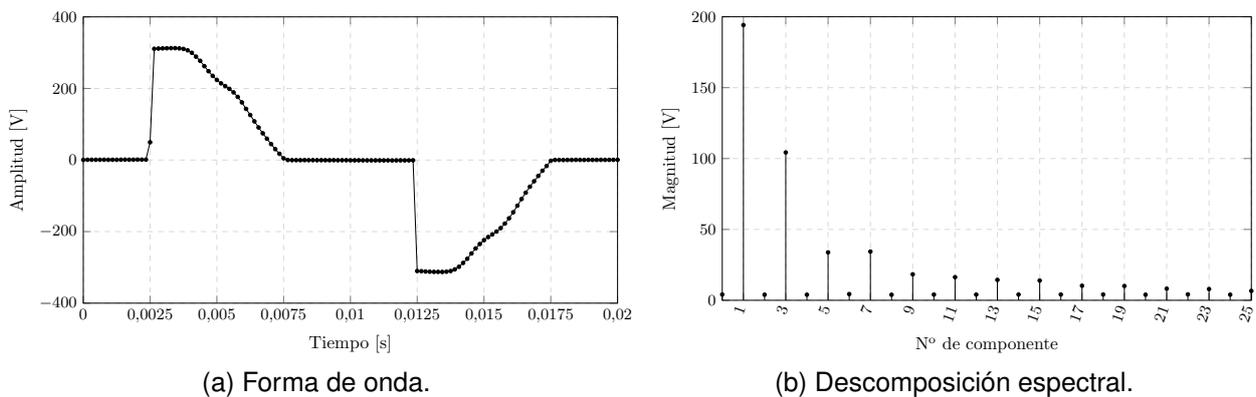


Figura 3: Tensión de salida de un sistema de control por ángulo de fase.

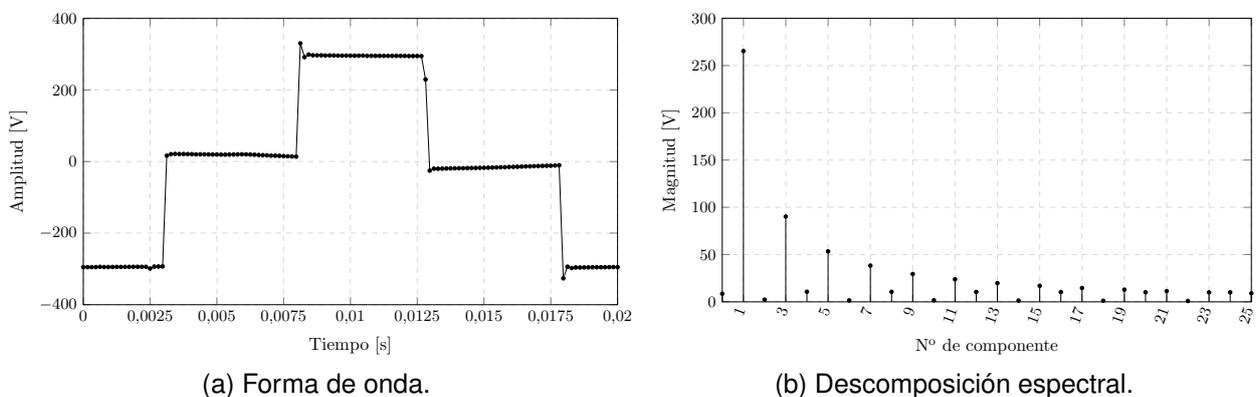


Figura 4: Tensión de salida de un sistema de alimentación ininterrumpida.

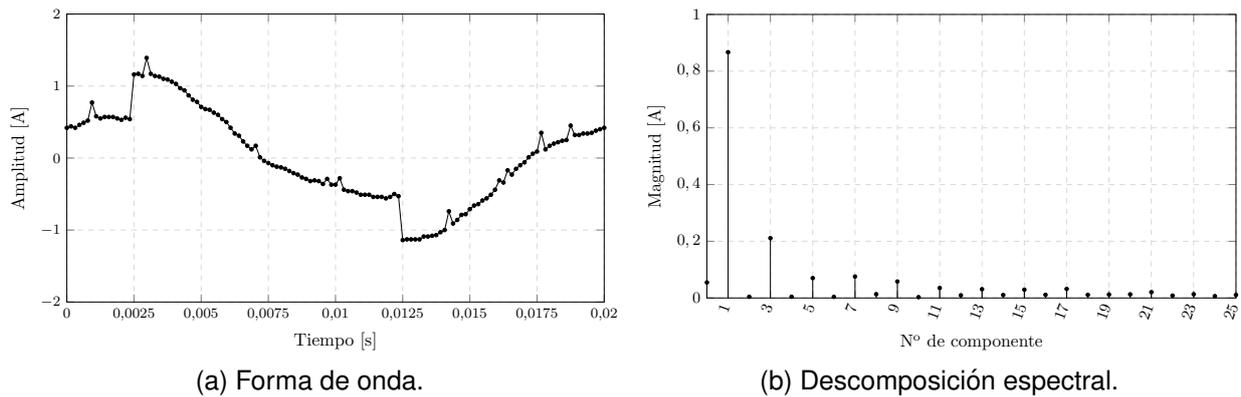


Figura 5: Corriente conjunta de una carga lineal más un control por ángulo de fase.

### 3. Desarrollo de la experiencia

Durante cuatro ciclos lectivos consecutivos (2014-2017), se destinó la actividad a la asignatura Análisis de señales y sistemas, del tercer nivel de Ingeniería Electrónica, para cohortes de diferentes cantidades de estudiantes: 8 en 2014, 12 en 2015, 10 en 2016, y 6 en 2017. En esos mismos ciclos lectivos, se desarrollaron instancias similares para la asignatura Mediciones eléctricas, del cuarto nivel de Ingeniería Electromecánica, con finalidades algo diferentes pero con la mayoría de los elementos en común en cuanto al plan de clase. Las cantidades de estudiantes involucrados en este caso fueron 13 en 2014, 7 en 2015, 15 en 2016, y 7 en 2017. En todos los casos, esta clase especial se llevó a cabo en el laboratorio académico de Electromecánica, con acceso a los medios de medición y simulación requeridos. En la Fig. 6, se muestra el desarrollo de algunas de estas clases.

En cada ocasión, se aplicaron sucesivas versiones de un plan de clase, hasta llegar a la versión final propuesta en el presente trabajo; los cambios implementados obedecieron a apreciaciones realizadas tanto por los estudiantes como por los docentes. En términos generales, la estructura del plan de clase y los contenidos abordados se mantuvieron similares en todas las ocasiones: los cambios consistieron en incrementar la diversidad y el contraste de los datos y gráficos mostrados sobre mediciones fuera de línea. Por ejemplo, por su significatividad para los estudiantes, se adicionó la curva diaria de carga de la instalación eléctrica del predio de la Facultad a fin de compararla con la curva de evolución de la tasa de distorsión armónica de tensiones y de corrientes en esta instalación. De manera similar, el análisis fuera de línea de diversas formas de onda de la tensión y corriente de salida del inversor fotovoltaico instalado en el predio de la institución constituye una muestra ilustrativa del impacto de la generación distribuida con energías renovables [7]. En la Fig. 7, se muestra una forma de onda de corriente del inversor fotovoltaico mencionado.



Figura 6: Diversas instancias de desarrollo de la experiencia.

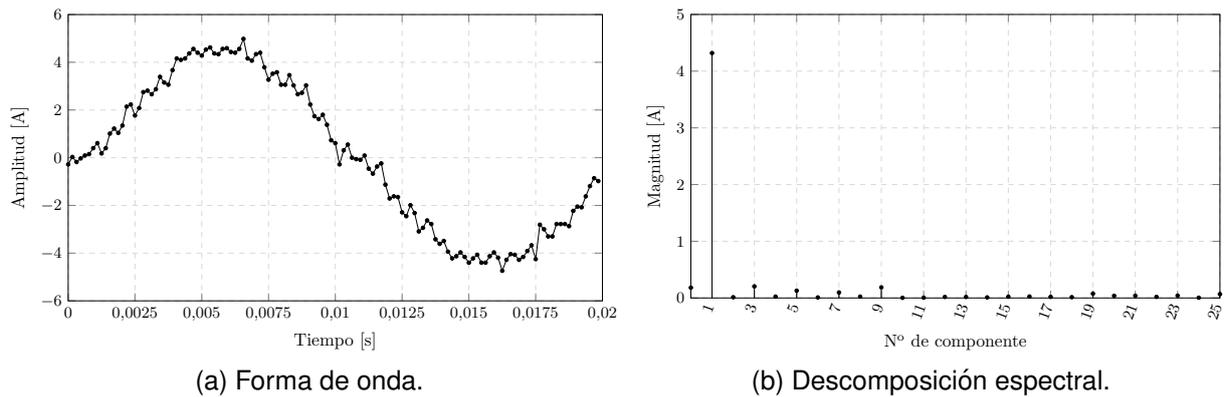


Figura 7: Corriente a la salida del inversor fotovoltaico con conexión a red conectado en la Facultad.

Con la presentación de ejemplos cada vez más específicos sobre la distorsión armónica en las redes eléctricas, cabe destacar que suele surgir de parte de los estudiantes un cuestionamiento sobre los criterios de imputación de responsabilidades por contaminación armónica. Este hecho pone de manifiesto la utilidad de esta actividad didáctica al hacer que los estudiantes desarrollen inquietudes propias y bien fundadas sobre los criterios vigentes o propuestos en este sentido, que se encuentran en el foco de diversos estudios [8].

Donde gradualmente se implementaron cambios más notorios es en la previsión explícita de ciertas instancias concretas de participación por parte de los estudiantes. Con el fin de que los contenidos abordados resulten significativos para ellos, se adicionaron ciertas interpelaciones específicas a los estudiantes para que elaboraran respuestas a criterio sobre la base de su formación previa. Uno de los ejemplos clave es, una vez mostrados los espectros en frecuencia correspondientes a diversas formas de onda, preguntar a los estudiantes si el espectro en frecuencia de las amplitudes de las componentes armónicas contiene suficiente información como para volver a sintetizar la forma de onda original. Los docentes han descubierto que este cuestionamiento en especial, entre otros, permite a los estudiantes revalorizar en contexto los contenidos que ya conocen de manera analítica. Se utilizan en este sentido diversas pautas y criterios explícitamente reconocidos para potenciar las interacciones sociales en las aulas de ingeniería.

Finalmente, el desarrollo de esta actividad marca un hito importante desde el punto de vista académico: en la planificación anual de las dos asignaturas involucradas, se ha asentado formalmente el desarrollo de esta clase especial con demostraciones didácticas como ámbito de interacción entre unidades curriculares y grupos de investigación. Dado que el material, las mediciones y las experiencias compartidas en esta actividad se proporcionan desde el ámbito de un grupo de I+D de la Facultad, se materializa así una modalidad concreta de extensión de actividades de investigación hacia las aulas de ingeniería.

#### 4. Discusión y conclusiones

En el presente trabajo, se enumeran las características de una clase con demostraciones didácticas relativas a la transformada discreta de Fourier aplicada a la distorsión armónica en redes eléctricas. La instancia práctica aquí detallada se desarrolla como instancia de transferencia de un grupo de investigación hacia espacios curriculares de la formación de ingenieros. Específicamente, se destina a estudiantes del tercer nivel de Ingeniería Electrónica, en el marco de la asignatura Análisis de señales y sistemas, y también se desarrolla para estudiantes del cuarto nivel de Ingeniería Electromecánica, dentro de la asignatura Mediciones eléctricas. Se considera de gran valor esta experiencia y el plan de clase propuesto,

a fin de ilustrar y potenciar la teoría de sendas asignaturas con una aplicación ingenieril concreta.

Como futura mejora, se propone sistematizar un método de evaluación y diagnóstico de la actividad propuesta, a fin de cuantificar su impacto académico y comprobar el grado de asimilación de los contenidos desarrollados.

## Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a la cátedra Análisis de Señales y Sistemas, de la carrera de Ingeniería Electrónica; a los Ings. Raúl O. Ferrero y Román Mapelli por fomentar el inicio de esta actividad en dicho ámbito; al Ing. Osvaldo E. Cordoni y al Sr. Paulo J. Gianoglio por acceder gentilmente al desarrollo de esta misma actividad en Mediciones Eléctricas, de la carrera de Ingeniería Electromecánica; al Mg. Ing. Omar D. Gallo por su orientación en aspectos didácticos y pedagógicos.

## Referencias

- [1] A. V. Oppenheim and R. W. Schaffer, *Tratamiento de Señales de Tiempo Discreto*, 3rd ed. Prentice Hall, 2012.
- [2] H. G. Asís, F. Dopazo, P. J. Gianoglio, and D. M. Ferreyra, "Digital determination of output voltage harmonics in a single-phase voltage controller," Diciembre 2011, (Visitado: 10/05/2018). [Online]. Disponible en: <http://demonstrations.wolfram.com/DigitalDeterminationOfOutputVoltageHarmonicsInASinglePhaseVo/>.
- [3] A. D. Gudiño, J. F. Russo, and D. M. Ferreyra, "Magnetizing current waveform in an ideal saturable inductor," Octubre 2011, (Visitado: 10/05/2018). [Online]. Disponible en: <http://demonstrations.wolfram.com/MagnetizingCurrentWaveformInAnIdealSaturableInductor/>.
- [4] D. M. Ferreyra, "Phasor representation and time-domain plot of distorted waveforms," Mayo 2012, (Visitado: 10/05/2018). [Online]. Disponible en: <http://demonstrations.wolfram.com/PhasorRepresentationAndTimeDomainPlotOfDistortedWaveforms/>.
- [5] O. D. Gallo, "Las interacciones sociales en aulas de ingeniería: un terreno poco explorado," UTN - Facultad Regional Córdoba, Abril 2011, tesis para la obtención del grado de Magíster en Docencia Universitaria.
- [6] O. Menin, *Pedagogía y Universidad - Currículum, didáctica y evaluación*, 1st ed. Homo Sapiens Ediciones, 2004.
- [7] D. M. Ferreyra, A. C. Sarmiento, G. D. Szwarz, and N. J. Rocchia, "Energía solar fotovoltaica con conexión a red en la zona central de argentina," *1er. Congreso Latinoamericano de Ingeniería (CLADI)*, Septiembre 2017.
- [8] D. M. Ferreyra, "Implementación de técnicas de estimación de estado armónico en sistemas eléctricos de distribución," Universidad Nacional de Río Cuarto, Septiembre 2014, tesis para la obtención del grado de Magíster en Ciencias de la Ingeniería, mención Ingeniería Eléctrica.

# REINGENIERÍA, VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN DE TRIBÓMETRO ABRASIVO

Juan Angel Barella  
Correo Electrónico: juan.barella@gmail.com

Tutor: Dr. Ing. Eldo José Lucioni

Departamento de Ingeniería Mecánica – Laboratorio de Metalurgia y Materiales  
Facultad Regional Villa María – Universidad Tecnológica Nacional  
Avda. Universidad 450 – (5900) Villa María (Córdoba)

## Resumen

La tribología es una técnica que estudia el rozamiento entre cuerpos sólidos con el fin de producir mejor deslizamiento y menor desgaste de ellos. De manera amplia, es la ciencia y la técnica de los sistemas en movimiento que se encuentran en contacto mutuo.

Los principales tipos de desgaste incluyen abrasión, fricción (adhesiva o cohesiva) y erosión.

Para este trabajo se utiliza una máquina construida bajo la norma ASTM G65 [1] (Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus). Este equipo se encuentra bajo un proceso de reingeniería consistiendo en diagnóstico de fallas presentes y posibles fallas futuras que pueda presentar el equipo. Si bien fue construido respetando los parámetros y lineamientos descriptos en la norma, fue necesario realizar adaptaciones sobre algunos componentes por falta de disponibilidad de forma local. De manera adicional se agregó la adquisición de datos en tiempo real de variables no mencionadas en dicha norma, como lo son la carga y la temperatura a la cual se somete la probeta durante el ensayo.

## Palabras clave

Tribómetro. Abrasión. Desgaste abrasivo.

## Introducción

En este artículo se exponen el diagnóstico y corrección de las inconsistencias que se presentaron durante el proceso de verificación y validación de un tribómetro abrasivo construido bajo la norma ASTM G65. Los diagnósticos se realizaron mediante ensayos piloto en conjunto con ensayos completos planeados para la verificación y validación del instrumento. Las correcciones se llevaron a cabo mediante reformas estructurales, mecánicas y de selección de consumibles (abrasivos y recubrimiento de caucho). Paralelamente a estas modificaciones fue necesario recalibrar la electrónica y el software de control. Ambos procesos, el de reingeniería y de verificación y validación no son aislados ni independientes entre sí. Se realizan de manera combinada para lograr el correcto funcionamiento del tribómetro abrasivo.

## Marco teórico

Según la Norma ASTM G40-99 [2], el desgaste abrasivo es la pérdida de masa resultante de la interacción entre partículas o asperezas duras forzadas a moverse a lo largo de una superficie sólida; implica la modificación de las capas superficiales de los cuerpos sólidos por acción de asperezas o partículas libres de alta dureza al deslizarse sobre otra superficie de menor resistencia mecánica.

La resistencia al desgaste abrasivo de los aceros se puede mejorar considerablemente mediante la adecuada selección de la dureza y la fase metalúrgica; elementos tales como cromo, manganeso y níquel generan considerables mejoras en la resistencia al

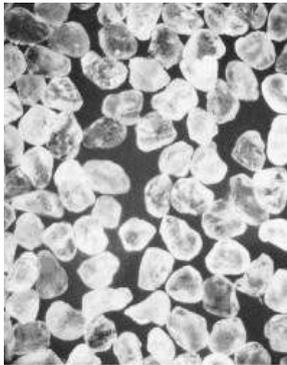
desgaste abrasivo. Además, la selección de un acero depende de la dureza de la partícula que abrasiona.

Para el estudio de los fenómenos de desgaste abrasivo se siguen los parámetros indicados por La norma ASTM G65 establece el método de ensayo para determinar el desgaste de un material empleando una máquina específica [3]. La muestra se somete a una carga contra la rotación de una rueda de goma mientras que un flujo de arena abrasiva atraviesa a la zona de contacto. Pesas adosadas a un brazo de palanca generan la fuerza normalizada. Luego, la masa perdida por la muestra se determina por diferencia de peso entre la muestra en estado original y la misma muestra desgastada. La masa perdida debe ser convertida a pérdida de volumen expresada en milímetros cúbicos;

## Reingeniería

### *Material abrasivo*

El primer problema a resolver fue la elección del medio abrasivo. De acuerdo a la norma ASTM G65 se requiere utilizar arena de Ottawa de granulometría compuesta por 95% malla 50 y 5% malla 70 (Figura 1). Debido al gran volumen de arena necesario y las complicaciones de importar áridos, se optó por un reemplazo local. Como primera opción se utilizó arena del Paraná, siendo necesaria tamizarla para lograr la mezcla de granulometría indicada por la norma. Para el tamizado se utilizó una batería de 3 tamices de malla 40/50/60. Bajo el microscopio se observó que el tamaño de grano y geometría es similar a la muestra fotográfica provista por la norma (Figura 2).



*Figura 1. Arena de Ottawa (25x aumentos) con mezcla de tamices 50/70.-*



*Figura 2. Muestra de arena del Paraná (10x aumentos) con mezcla de tamices 50/70). -*

La arena del Paraná presenta características muy similares a la de Ottawa, y con un costo relativamente bajo; siendo un reemplazo directo sin alterar lo recomendado por la norma. Sin embargo, se presenta el inconveniente del volumen de arena tamizada requerida y la capacidad de reciclado de la arena sometida a ensayos. Con el equipo de tamizado disponible se logra aproximadamente 1kg de arena por hora. Un ensayo tipo A requiere de 15kg de arena.

De acuerdo a ensayos piloto realizados, la arena del Paraná no soporta el esfuerzo a la que los granos son sometidos durante el ensayo. La arena recuperada presenta una granulometría mucho más fina que la requerida para los ensayos abrasivos. Para solucionar este inconveniente se optó por utilizar Oxido de aluminio con 96% de pureza y tamaño de malla 60. Si bien la norma especifica una mezcla de malla 50 y malla 70, los mismos no están disponibles comercialmente. Según especificaciones técnicas, el óxido de aluminio soporta entre 15 y 20 reutilizaciones en procesos erosivos (arenado). Siendo los esfuerzos de abrasión mucho menores a los de erosión, se supone un número de reutilizaciones mayor. Dadas las ventajas como

disponibilidad comercial, capacidad de reciclado y uniformidad de grano, se eligió como reemplazo directo del medio abrasivo.

### *Tipo de Ensayo*

En la norma se enumeran 5 ensayos distintos, nominados de A hasta E, los cuales varían en carga y duración del ensayo de acuerdo a las muestras a analizar. Para el caso particular del laboratorio de materiales de UTN-FRVM, el caso de mayor interés es el ensayo tipo A, utilizado en aceros AISI 304, 316 y 420. Este ensayo en particular es el mayor carga y duración, siendo este la prueba que más eleva la temperatura en el punto de contacto rueda-probeta. Esto se comprobó utilizando probetas roscadas en las cuales se insertó una termocupla para medir el incremento de temperatura durante el ensayo, tomando una medición por cada revolución de la rueda. La temperatura máxima registrada fue de 190°C. la adición de toma de temperatura cumple dos propósitos:

- Agregar la variación de temperatura como parámetro para el estudio del desgaste abrasivo. A futuro se espera lograr vincular (o no) con los fenómenos abrasivos.
- Obtener el dato de temperatura máxima promedio permite realizar una correcta selección de la goma que recubre la rueda del tribómetro.

### *Recubrimiento*

En la norma se especifica que se debe utilizar un recubrimiento de ½" de espesor de goma de clorobutilo vulcanizada, la cual debe tener una dureza Shore A de entre 58 y 62. El reemplazo del recubrimiento de goma de clorobutilo vulcanizada se efectuó por los siguientes motivos:

- *Económico*: Se debe contar con un proveedor o el equipamiento para realizar el re-vulcanizado de la rueda una vez superado el diámetro mínimo permitido por la norma (insertar diámetro).
- *Práctico*: Se requieren al menos dos ruedas para poder realizar ensayos de forma continua mientras que se vulcaniza la(s) restante(s).
- *Disponibilidad*: Dificultad para conseguir materia prima para realizar dicho recubrimiento.

Debido a los requerimientos de la norma sobre la rueda, el reemplazo directo más factible resultó ser goma en presentación de burlete de sección cuadrada de ½" (12,7mm) de lado. El compuesto policloroprenopiroten se seleccionó a partir del catálogo de Dunlop, teniendo en cuenta la dureza del compuesto y la temperatura máxima de trabajo.

### *Brazo de palanca y celda de carga*

La norma indica las medidas sugeridas para la construcción del brazo de palanca. Para este tribómetro abrasivo se agregó una celda de carga, en conjunto con una interfaz HX711 conectada a Arduino. Para corroborar que la geometría del brazo de palanca con el agregado de la celda de carga continuaba aplicando 130N en el punto de contacto de la probeta con la rueda se realizó un modelo simulación con SolidWorks Motion.

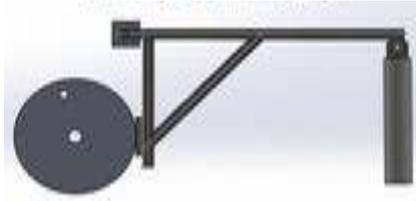


Figura 3. Modelo del brazo de palanca, rueda y celda de carga. -

Para la modelización se tuvo en cuenta los posibles desbalances de la rueda agregando una perforación sobre el diámetro exterior de la misma. El brazo se modelizó siguiendo las medidas dadas por la norma (Figura 3). El peso utilizado también se modelizó de acuerdo al material disponible para la fabricarlo. Se tuvo en cuenta la velocidad de la rueda y la gravedad, arrojando resultados que oscilan entre los 120 y 145 N (debido al desbalanceo) (Figura 4).

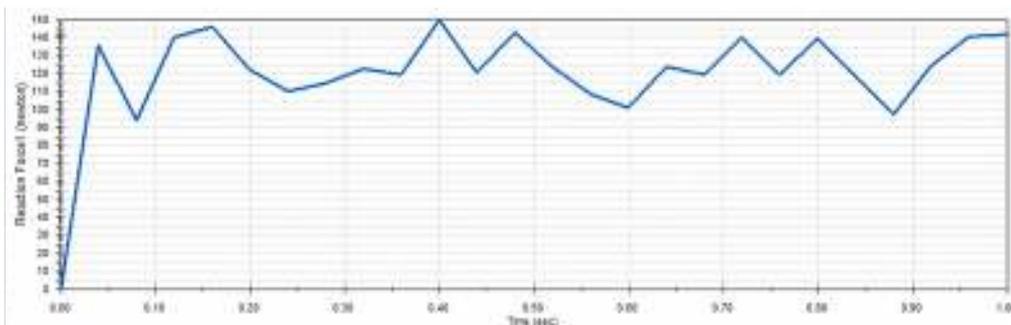


Figura 4. Gráfico tiempo/fuerza de contacto (N). -

Dados los resultados positivos de la simulación se procedió a modificar el brazo de palanca original del tribómetro.

El agregado de la celda de carga presenta la gran ventaja de poder controlar que la fuerza de contacto sea la adecuada a lo largo de un ensayo o bien para controlar que entre cambios de ensayos (A, B, C, D, E. de acuerdo a la norma) las distintas pesas a utilizar sean las correctas. Para poder incorporar la celda de carga al equipo se consideró que el porta probeta al cual se fija la celda alcanza aproximadamente la misma temperatura que la probeta (190°C). para proteger a la celda y garantizar la correcta medición se mecanizó un porta probeta de aluminio refrigerado por agua (Figura 5 y 6).

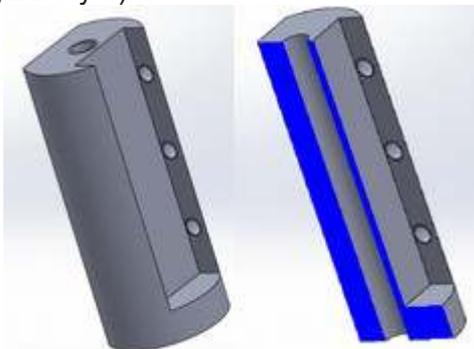


Figura 5. Modelo y vista de sección, se muestra el canal refrigerado.



Figura 6. Porta probeta refrigerado por agua con probeta y celda de carga

#### Boquilla dosificadora

Los primeros ensayos del tribómetro abrasivo se realizaron con una boquilla dosificadora construida de acuerdo a las dimensiones y materiales indicadas por la norma (apertura de 1,6mm/ acero inoxidable). Se indica un caudal de entre 300 y 400 g/min. El abrasivo debe caer en forma “cortina pareja y constante”. Con la boquilla

original solamente se lograba entre 80 g/min y 110 g/min y una caída despereja a causa de obstrucciones en la salida de la boquilla. Se realizaron impresiones 3D de una boquilla de acuerdo a lo indicado en la norma y una serie de boquillas con una salida de mayor apertura (2mm/2.5mm/ 3 mm) (Figura 7). El resultado más óptimo se logró con la boquilla de 3mm, alcanzando 290 g/min a 320 g/min.

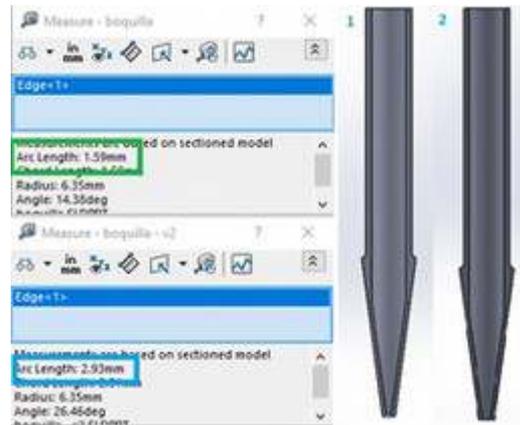


Figura 7. Corte sobre la boquilla original y la modificada de 3mm de apertura. -

### Otras modificaciones

Modificaciones menores, que no influyen en la capacidad de medición del equipo, pero si en la facilidad de operación incluyen:

- Armado de un tablero aislado y sellado contra polvo. Se aloja variador de frecuencia, borneras y electrónica del tribómetro.
- Reemplazo de válvula esférica por una de guillotina, mejorando el caudal y operación de la válvula.
- Sellado de la cámara donde se realizan los ensayos, evitando la voladura de polvos finos de abrasivo y del material ensayado.

### Resultados

Las modificaciones realizadas en el tribómetro abrasivo se pueden apreciar mediante la adquisición de datos del mismo y los ensayos realizados. En la figura 8 se muestra vuelta a vuelta la velocidad y la fuerza (0 a 1023 puntos) y en kilogramos, con un exceso de carga de 2 kg debido a la geometría del brazo de palanca. En la figura 9 se puede ver el cambio de color causado por el exceso de temperatura y el patrón de rayado en la superficie de contacto de la rueda de goma y la probeta, esto es consecuencia del exceso de carga y el caudal bajo y desperejo del abrasivo.

Posterior a las modificaciones se repitieron los ensayos y en la toma de datos (figura 10) donde se muestra una carga más aproximada a la especificada por la norma. La probeta mostrada (fig 11) presenta un patrón de desgaste mucho más parejo y sin efectos térmicos visibles.

Resultados:  
28-Jul-2017 1 7:09:54  
juan

Vuelta	RPM	Fuerza	(kg)
1	2	316	6.162
2	105	255	4.9725
3	141	255	4.9725
4	169	308	6.006
5	194	262	5.109
6	208	260	5.07
7	198	725	14.1375
8	70	790	15.405
9	43	788	15.366
10	54	797	15.5415
11	118	791	15.4245

Figura 8. Toma de datos previa a modificaciones.

Resultados:  
18-Sep-2017 16:14:22  
juan

Vuelta	RPM	Fuerza	(kg)
1	1	697	13.59
2	164	618	12.08
3	179	608	11.88
4	175	636	12.43
5	171	613	11.98
6	170	613	11.98
7	167	644	12.59
8	165	589	11.51
9	162	614	12.00
10	159	621	12.14
11	157	617	12.06

Figura 10. Toma de datos posterior a modificaciones



Figura 9. Ensayo previo a modificaciones.



Figura 11. Ensayo posterior a modificaciones.

## Conclusiones

La norma ASTM G65 no impone grandes requisitos en cuanto a lo mecánica y lo estructural para el diseño y construcción de un tribómetro abrasivo. Los desafíos de ingeniería que se presentaron con este equipo de medición fueron en parte resultado de la necesidad de adaptar el instrumento para adecuarlo a los recursos disponibles de manera nacional (abrasivos, recubrimiento de goma de la rueda, etc.). Dichas adaptaciones no solamente influenciaron a la selección de estos consumibles sino también en el rediseño de la válvula y boquilla dosificadora.

El otro aspecto que llevó a la necesidad de proceder al rediseño del tribómetro abrasivo fue la incorporación de electrónica de control a la misma, la cual no se encuentra contemplada por la norma. Esto permite controlar en tiempo real y por cada revolución de la rueda controlar velocidad, carga y temperatura. A futuro se espera poder correlacionar estos parámetros antes no considerados con los fenómenos del desgaste abrasivo.

## Referencias

- [1] Stuppa, N.; Cavalchini, C.; Carpené, F.; Becerra, P. Diseño de una máquina para ensayos tribológicos de desgaste abrasivo. Jornadas de Ciencia y Tecnología CyTAL 2014. Edutecne, Buenos Aires, 2014
- [2] ASTM G40-99 (Standard Terminology Relating to Wear and Erosion)
- [3] Vite, M.; Hurtado, F.; Nango, J.; Aguilar, J. Diseño de la instrumentación asociada a una maquina tribológica para pruebas de desgaste abrasivo. Instituto Politécnico Nacional. SEPI-ESIME. México D.F.2002

## NORMATIVA DE AGUA DE REUSO: ESTADO DEL CONOCIMIENTO

M. Carrasco<sup>(1)</sup>, P. Di Nanno<sup>(2)</sup>, G. Menéndez<sup>(2)</sup>

(1) Estudiante de Licenciatura en Organización Industrial. (2) Docente Investigador.  
Facultad Regional Chubut - Universidad Tecnológica Nacional  
Av. del Trabajo 1536, Puerto Madryn, Chubut, Argentina

### Resumen

En Argentina, los morteros y hormigones continúan siendo dos de los materiales más ampliamente utilizados en la construcción de distintos tipos de estructuras y edificios. Su elaboración representa un consumo extremadamente alto de recursos naturales al punto tal, que el mayor desafío en esta industria es y será lograr que las necesidades que se presenten puedan sustentarse económica, ambiental y socialmente en el tiempo. La ciudad de Puerto Madryn se halla emplazada en una zona con clima de característica árida desértica donde la disponibilidad de agua potable se logra a través de un acueducto que recorre 67 km desde la ciudad de Trelew. En función de ello, en trabajos anteriores se estudió la incorporación de agua de reuso, subproducto proveniente del circuito cloacal de la ciudad de Puerto Madryn, como reemplazo del agua de mezcla en la elaboración de morteros con el objetivo de minimizar el consumo de recursos naturales no renovables. En nuestro país, los lineamientos para el empleo de agua en el proceso de preparación y curado de morteros y hormigones se establece a través de la Norma IRAM 1601.

En el presente trabajo, se explora la normativa existente relacionada al agua de reuso a nivel internacional, nacional, provincial y local, con foco en aquellas que tuvieran alguna vinculación con la industria de la construcción.

Se observa que la regulación a nivel de promoción y condiciones de uso de agua de reuso es escasa y más bien se focaliza en uso en riego, apuntando al control de los riesgos de transmisión de enfermedades.

### Introducción

El reuso del agua es importante para mejorar la disponibilidad de agua en zonas con déficit hídrico, mejorar la gestión del agua, minimizar la contaminación ambiental y promover el reciclaje de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo en el caso de efluentes cloacales [1]. Sin embargo el reuso implica la necesidad de gestionar ciertos riesgos adicionales como la presencia de químicos contaminantes o patógenos, lo cual requiere el desarrollo de estándares para su tratamiento, disposición y distribución, que permitan minimizar los riesgos tanto ambientales como a la salud.

A nivel global el reuso de efluentes ha presentado un crecimiento muy acelerado y algunos especialistas consideran que será el mayor desafío del siglo XXI [2]. El mayor nivel de reuso se da en zonas con escasez de agua así como en zonas con muchas restricciones a nivel de disposición de efluentes líquidos y altamente pobladas [2].

A nivel local, en particular en nuestra zona, un incremento en el reuso de efluentes tratados facilitaría reducir la demanda de agua sobre el río Chubut (único cuerpo de agua dulce que abastece a las ciudades del NE de Chubut), evitar o minimizar la descarga de efluentes al río o al golfo Nuevo, y aprovechar los nutrientes en caso de reuso en riego.

Las alternativas a nivel de reuso incluyen [3]:

- *Uso agrícola.* Uso para irrigación (restringida y no restringida en relación con los cultivos y el acceso de terceras partes).

- *Uso industrial.* Importante en industrias como la metalúrgica, papelera y de producción de plásticos. Se puede usar en refrigeración (torres de refrigeración, condensadores evaporativos, etc.).
- *Uso urbano.* En usos como descarga de inodoros y urinarios, riego de jardines, limpieza de calles, combate de incendios, lavado de vehículos. Puede incluir reuso en producción de hormigón, en algunos casos.
- *Uso ambiental.* Recarga de acuíferos, riego de bosques, mantenimiento de humedales, suplementos de caudales a ríos y arroyos. Pueden incluirse en esta categoría la creación de estanques y lagos artificiales para uso recreativo.

## Materiales y metodología

En el presente trabajo, se exploró la normativa existente relacionada al agua de reuso a nivel internacional, nacional, provincial y local, con foco en aquellas que tuvieran alguna vinculación con la industria de la construcción. Se realizó una búsqueda bibliográfica tanto sobre la legislación de reuso de efluentes o aguas tratadas, como de normas que regulen calidad de agua para elaboración de hormigones.

En el presente trabajo se presenta una evaluación de normas correspondientes a: Argentina, España, Estados Unidos, México, Colombia, Costa Rica, China, Chile, Comunidad Europea y Organización Mundial de la Salud.

## Resultados

A continuación se presenta en la Tabla 1 el resumen de la normativa y guías relevadas, detallando la fuente y si la norma contempla de manera específica el reuso en la producción de hormigón, que es el reuso específico de interés en este trabajo.

Tabla 1. Normativa vinculada a reuso de efluentes [4-24].

Origen	Tipo de requerimiento	Parámetros de reuso regulados	Regula reuso en hormigón?	Cita
Argentina	No aplica	No fijados en el proyecto de ley.	No	Proyecto de Ley Nacional para reuso de aguas residuales. FRBB UTN.
España	Obligatorio	Físico químicos y microbiológicos.	No	Real Decreto N° 1620/2007. Régimen jurídico de reutilización de las aguas depuradas.
México	Voluntario	Microbiológico	No	NOM-003-ECOL-1997. Límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público.
Estados Unidos	Voluntario	Microbiológico	Sí (Urban reuse, restricted)	EPA/600/R-12/618 (2012).
Colombia	Obligatorio	Físico químicos y microbiológicos.	No	Resolución N° 1207 (2014) Disposiciones sobre uso de aguas residuales tratadas.
Costa Rica	Obligatorio	Físico-químicos y microbiológicos	Sí (Reuso tipo 8)	Decreto N° 33601-MINAE-S. Reglamento de vertido y reuso de aguas residuales.
China	Voluntario	Físico-químicos y microbiológicos	Sí (Urban miscellaneous water-Building operations)	The reuse of urban recycling water-Water quality standard for miscellaneous urban water consumption (GB/T 18920-2002). <i>Cuando se usa para elaboración de concreto la norma indica que además debe cumplir con el estándar JGJ 63 (Standard of water for concrete)</i>
Chile	Obligatorio	Físico-químicos y microbiológicos	No	-NCh 1333.Of78 (1987) Norma chilena sobre requisitos de calidad de agua para distintos usos. -Criterios de calidad de aguas o efluentes tratados para reuso en riego. Servicio Agrícola y Ganadero (SAG)
Organización Mundial de la Salud	Voluntario	Físico-químicos y microbiológicos	No	Guías para el reuso de aguas residuales en agricultura y acuicultura (1989)
Comunidad Europea	1) Obligatorio	Físico-químicos	No	1) Council Directive 91/271/EEC Concerning Urban Wastewater Treatment.

Origen	Tipo de requerimiento	Parámetros de reúso regulados	Regula reúso en hormigón?	Cita
	2) Voluntario			2) Council Directive 2008/105/EEC Environmental Quality Standards for Priority Substances and Certain Other Pollutants.
Argentina, Chubut	Obligatorio	Microbiológicos.	No	Decreto PEP N° 1540/16
Argentina, Mendoza	Obligatorio	Físico químicos y microbiológicos.	No	Resolución N° 400/2003 Dirección General de Irrigación (DGI)
Argentina, Córdoba	Obligatorio	Físico químicos y microbiológicos.	Sí	Decreto PEP N° 847/2016 Ministerio de Agua, Ambiente y Servicios públicos.
Argentina, Río Negro	Obligatorio	Físico químicos y microbiológicos.	No	Decreto PEP N° 1423/15
Argentina, Entre Ríos	Obligatorio	Físico químicos y microbiológico	No	Resolución N° 554/15 S.A
Argentina, Chubut, Pto. Madryn	Obligatorio	Microbiológicos	No	Ordenanza 6301 de Puerto Madryn
Abu Dhabi, Emiratos Arabes Unidos	Obligatorio	Físico químicos y microbiológico	No	Abu Dhabi/UAE guidelines for the reuse of wastewater for different reuse options
British Columbia, Canadá	Obligatorio	Físico químicos y microbiológico	Sí (uso con acceso público restringido)	Permitted Uses and Standards for Reclaimed Water; British Columbia 1999

Tabla 2. Comparación de parámetros para reúso en producción de hormigón.

Parámetro	EEUU	Costa Rica	China	British Columbia, Canadá	España (Calidad 3.1)	Córdoba, Argentina
pH	6 a 9	NR	6 a 9	6 a 9	NR	6,5 a 8
DBO (mg/L)	<30	Variable	<15	<45	NR	<30
SST (mg/L)	<30	Variable	NR	<45	<35	<50
DQO (mg/L)	NR	Variable	NR	NR	NR	NR
Coliformes fecales/100 ml	<200	<1000	NR	<200	NR	NR
Cloro residual (mg/L)	>1	NR	>1	NR	NR	NR
Nematodos intestinales (N° huevos/litro)	NR	<1	NR	NR	NR	<1
Color	NR	NR	<30	NR	NR	NR
Olor	NR	NR	sin olor	NR	NR	NR
Turbidez (NTU)	NR	NR	<20	NR	<15	NR
Nitrógeno amoniacal (mg/L)	NR	NR	<20	NR	NR	NR
Alquil sulfonato lineal-LAS (mg/L)	NR	NR	<1	NR	NR	NR
Oxígeno disuelto (mg/L)	NR	NR	<1	NR	NR	NR
Coliformes totales/100 ml	NR	NR	<3	NR	NR	NR
<i>Escherichia coli</i> (UFC/100 ml)	NR	NR	NR	NR	<10.000	Nr
<i>Legionella</i> (UFC/L)	NR	NR	NR	NR	<100	NR
Conductividad ( $\mu\text{mho/cm}$ )	NR	NR	NR	NR	NR	<1000
Sólidos disueltos (mg/L)	NR	NR	NR	NR	NR	<500
RAS	NR	NR	NR	NR	NR	<3
Coliformes termotolerantes (NMP/100 ml)	NR	NR	NR	NR	NR	<1000

Parámetro	EEUU	Costa Rica	China	British Columbia, Canadá	España (Calidad 3.1)	Córdoba, Argentina
NR: no regulado.						

## Discusión

Se observa que si bien algunos organismos o gobiernos a nivel internacional han regulado directamente el reuso (como España, Estados Unidos, Costa Rica, entre otros), otros lo regulan indirectamente al establecer niveles guía de calidad para uso en irrigación o absorción en suelo por ejemplo (Unión Europea, Chile, la mayoría de las provincias en Argentina, entre otros).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) desarrolló guías y estándares generales para el reuso con la intención de que fueran empleados por los países en el desarrollo de sus propios programas o estándares [3].

### *A nivel internacional*

Canadá no posee en la actualidad un estándar nacional para reuso [2], pero sí algunas normas a nivel local (British Columbia 1999). British Columbia fija criterios para reuso en producción de hormigón, más allá de los necesarios para riego como se muestra en las Tablas 1 y 2.

España ha establecido a nivel nacional una norma de reuso de efluentes para distintos usos que incluye usos industriales, no obstante no menciona específicamente el uso en la industria de la construcción, como sí lo hacen otros entes.

México ha establecido un set de parámetros bastante acotado, restringiendo la regulación al reuso en servicios al público con contacto directo o indirecto u ocasional. Estos usos contemplan riego de jardines, uso para combate de incendio, lagos artificiales no recreativos, entre otros. No contempla uso industrial para proceso ni para la industria de la construcción en particular.

Estados Unidos, China y Costa Rica han establecido un amplio set de parámetros analíticos han regulado específicamente las características que debe tener el agua de reuso para su uso en la producción de hormigón (ver Tabla 2). Se observa una amplia dispersión en los límites así como en los parámetros fijados.

Colombia sólo contempla reuso agrícola en riego de distintos cultivos o áreas parquizadas, y uso industrial, dentro de los cuales no contempla el uso en la construcción. Tampoco establece criterios para usos no contemplados por la normativa citada en la Tabla 1.

Por último, Chile ha orientado la normativa o redacción de guías específicamente al reuso en irrigación, mientras que la OMS, lo ha dirigido al reuso en irrigación y acuicultura.

### *A nivel Argentina*

En la actualidad, si bien algunas provincias como Chubut, Mendoza, Córdoba, Entre Ríos y Río Negro han establecido normativas propias, nuestro país no posee una norma nacional de reuso de efluentes. Cabe destacar que Córdoba sí ha adoptado un reuso específico, que incluye específicamente el uso en la construcción. A nivel municipal no se encontraron referencias de normas vinculadas a reuso en la industria de la construcción.

## Conclusiones

De la bibliografía relevada, se observa que el reuso a nivel industrial no ha sido desarrollado a los niveles que lo han hecho otros usos, esta tendencia podría modificarse con el desarrollo de sistemas eficientes de tratamiento que permitan promover el reuso industrial [3].

Se observa que en aquellas normas donde se han establecido criterios para uso en elaboración de hormigón, los parámetros seleccionados son variables, así como los niveles establecidos para los mismos. Esto último sumado a la alta demanda de agua en la industria de la construcción, hace cada vez más necesario focalizar los estudios acerca de la incorporación de agua de reuso y sus efectos, a los fines de brindar la información necesaria que permita determinar el ámbito de aplicación de la misma.

## Agradecimientos

A la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Chubut.

## Referencias

- [1] FAO. Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura. Reutilización de aguas para agricultura en América Latina y el Caribe. Estado, principios y necesidades. 2017. ISBN 978-92-5-309906-1
- [2] K. Schaefer , K. Exall & J. Marsalek (2004) Water Reuse and Recycling in Canada: A Status and Needs Assessment , Canadian Water Resources Journal, 29:3, 195-208, DOI: 10.4296/cwrj195
- [3] Sahar Dalahmeh et al. Reclaimed Wastewater Use Alternatives and Quality Standards. From Global to Country Perspective: Spain versus Abu Dhabi Emirate. SLU Rapport 070. IVL Rapport C 24. ISSN 1654-9406. Uppsala/Stockholm. 2014
- [4] Sartor, Aloma; Cifuentes, Olga. Propuesta de Ley Nacional para Reuso de Aguas Residuales. UTN FRBB. 18º Congreso Argentino de Saneamiento y Medio Ambiente AIDIS Argentina  
Asociación Argentina de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. 18 y 20 de abril 2012 - Buenos Aires
- [5] Real Decreto N° 1620/2007. Régimen jurídico de reutilización de las aguas depuradas. España.
- [6] Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997 Límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público.
- [7] NOM-003-ECOL-1997. Límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público. México.
- [8] Environmental Protection Agency (EPA) Guidelines for water reuse. EPA/600/R-12/618 | September 2012
- [9] Resolución N° 1207 (2014) Disposiciones sobre uso de aguas residuales tratadas. Colombia.
- [10] Decreto N° 33601-MINAE-S. Reglamento de vertido y reuso de aguas residuales. Costa Rica.
- [11] Rodríguez, Sasha. China Reclaimed Water Reuse Regulations  
[http://www.iwa-network.org/filemanager-  
uploads/WQ\\_Compendium/Cases/China%20Reclaimed.pdf](http://www.iwa-network.org/filemanager/uploads/WQ_Compendium/Cases/China%20Reclaimed.pdf)
- [12] The reuse of urban recycling water-Water quality standard for miscellaneous urban water consumption GB/T 18920-2002. China.
- [13] NCh 1333.Of78 (1987) Norma chilena sobre requisitos de calidad de agua para distintos usos.
- [14] Criterios de calidad de aguas o efluentes tratados para reuso en riego. Servicio Agrícola y Ganadero (SAG). Gobierno de Chile. 2005.
- [15] Organización Mundial de la Salud (OMS). Guías para el reuso de aguas residuales en agricultura y acuicultura (1989)
- [16] Council Directive 91/271/EEC Concerning Urban Wastewater Treatment. Unión Europea.
- [17] Council Directive 2008/105/EEC Environmental Quality Standards for Priority Substances and Certain Other Pollutants. Unión Europea.
- [18] Decreto PEP N° 1540/16. Chubut.
- [19] Resolución N° 400/2003 Dirección General de Irrigación. Provincia de Mendoza, Argentina  
[http://www.irrigacion.gov.ar/dgi/sites/default/files/resolucion\\_400\\_del\\_ano\\_2003\\_del\\_hta.pdf](http://www.irrigacion.gov.ar/dgi/sites/default/files/resolucion_400_del_ano_2003_del_hta.pdf)

- [20] CEPIS. Sistemas Integrados de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales en América Latina: Realidad y Potencial. Convenio IDRC – OPS/HEP/CEPIS. 2000 - 2002  
<http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/proyecto/complemen/casos/mendoza.pdf>
- [21] Decreto PEP N° 847/2016 Ministerio de Agua, Ambiente y Servicios públicos. Prov. Córdoba
- [22] Decreto PEP N° 1423/15 Provincia de Río Negro.
- [23] Resolución N° 554/15 S.A Provincia de Entre Ríos
- [24] Ordenanza 6301 de la Municipalidad de Puerto Madryn

# DESARROLLO DE UN CIRCUITO VERSÁTIL DE INTERCAMBIO DE CALOR A ESCALA PILOTO

Guadalupe A. Broggi, Lautaro Molinengo.

TUTORES: Ing. Diego G. Semprini, Ing. Rubén Baccifava.

Planta Piloto de Química - Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Villa María, Av. Universidad 450, CP 5900, Villa María, Córdoba, Argentina. e-mail: ppqca@frvm.utn.edu.ar

## Resumen

En la industria se encuentran muchos procesos en los cuales es necesario transferir calor, desde un fluido a otro. El objetivo de este trabajo es adaptar una serie de equipos y sensores, en arreglos serie y/o paralelo, en flujo co-corriente y contracorriente. Que permitan estudiar el fenómeno de transferencia de calor. La disponibilidad de un espacio físico para la realización de prácticas y proyectos es fundamental para lograr una enseñanza de calidad al futuro ingeniero. El desarrollo presentado en este trabajo permite visualizar el fenómeno de transferencia, alternar entre distintos arreglos de flujo y modificar los caudales. Para tal objetivo se conectaron mediante mangueras flexibles con acoples rápidos dos intercambiadores de calor de casco y tubo, una torre de enfriamiento, dos bombas centrifugas y un tanque calefactor. Las temperaturas de entrada, intermedias y de salida se midieron empleando sensores Pt100, registrando y almacenando los valores en un adquirente de datos. Con los datos obtenidos de caudal y temperatura se procede al cálculo de: calor de intercambio, diferencia de temperatura media logarítmica y coeficientes de transferencia limpio, sucio y de ensuciamiento. Los valores prácticos se simulan para evaluarlos comparativamente. Como resultado se obtienen los valores de temperaturas en los distintos puntos, para realizar los cálculos pertinentes a los fenómenos de intercambio y familiarizar el uso de equipamiento de procesos industriales a escala piloto, estableciendo como mejor sistema para el intercambio de calor, utilizando como fluido calefactor y frío el agua, el arreglo flujo dividido; paralelo por los tubos y contracorriente por la coraza.

## Introducción

Los ingenieros químicos analizan simultáneamente los fenómenos de transporte de materia, calor y movimiento. En el aprendizaje de estos fenómenos, es importante conocer y manejar los modelos matemáticos para aplicarlos al diseño de equipos basados en estas operaciones unitarias. La verificación experimental de estos modelos refuerza notablemente su comprensión (Vargas E.M, 2004). La ciencia de la transferencia de calor está relacionada con la razón de intercambio de calor entre cuerpos calientes y fríos. Puesto que la transferencia de calor considera un intercambio en un sistema, la pérdida de calor por un cuerpo deberá ser igual al calor absorbido por otro dentro de los confines del mismo sistema. El equipo de transferencia se define por las funciones que desempeña en un determinado proceso. Los intercambiadores recuperan calor entre dos corrientes en un proceso (Imbert-González, 2011). La expresión que vincula estas relaciones se conoce como primer principio de la termodinámica, o principio de la conservación de la energía. Los mecanismos que rigen el intercambio son la convección y la conducción, donde se da una cesión de energía desde el fluido de mayor temperatura a otro de menor temperatura, de este modo, se establece el flujo de calor en la dirección decreciente de temperaturas. (Kern, 1999). La diferencia de temperaturas en cada punto del intercambiador constituye la fuerza impulsora mediante la cual se transfiere el calor. En el

intercambiador los fluidos pueden circular en contracorriente, paralelo, flujo cruzado o una combinación de ellas, experimentado variaciones de temperatura que no son lineales a lo largo de su recorrido (Imbert-González, 2011).

El aprendizaje de estos fundamentos teóricos se logra mediante el desarrollo de modelos matemáticos y su verificación experimental se hace en prototipos a escala. Por esto la disponibilidad de un espacio físico para la realización de prácticas y proyectos es fundamental para lograr una enseñanza de calidad (Vargas E.M, 2004). Una planta piloto es una planta de procesos a escala reducida, cuyo objetivo es obtener información sobre un proceso, que permita determinar si este es técnica y económicamente viable. Pudiendo establecerse los parámetros óptimos de operación y diseño (Johnstone, 1957). Pueden obtenerse equipos altamente versátiles, interconectados entre sí, con calidad comercial y a menor costo. Para los involucrados en el desarrollo, el beneficio es evidente, logran llevar a la práctica ejercicios de diseño, construcción y puesta a punto de equipos típicos de la Ingeniería Química. Además, el conocimiento y la tecnología se apropian localmente, facilitando su adaptación a las necesidades del entorno y disminuyendo la dependencia tecnológica (Vargas E.M, 2004). El objetivo de este trabajo se centra en el análisis de un equipo de transferencia de calor a escala piloto ubicado en Planta Piloto de Química de la Universidad Tecnológica Facultad Regional Villa María, el mismo, se encuentra en funcionamiento y es utilizado por distintas cátedras de enseñanza.

### Materiales

Los equipos empleados fueron dos intercambiadores de calor de casco y tubo (Fig. 1) elaborados con material de acero, se puede visualizar la especificación del equipo en la Tabla 1. Estos se encuentran dispuestos sobre un banco móvil e interconectados por tuberías y válvulas esféricas de 1 pulg., que permiten direccionar el flujo de circulación del fluido frío (FF) y fluido caliente (FC), por los tubos y por la coraza. Así mismo, se dispusieron conectores rápidos y válvulas esféricas a la entrada y salida de los FF y FC que permite invertir el sentido de circulación, y alternar los fluidos entre la coraza

Tabla 1 : Especificaciones del intercambiador

Tubos	Coraza
Nº de tubos :12	Diámetro externo: 3,5 plg
Longitud: 51 plg	Diámetro interno: 3,068 plg
Paso: 0,65, plg triangular	Paso 1:1
Diámetro externo: 0,5 plg	
Diámetro interno: 0,37 plg	
BWG: 16	
Área de transferencia total: 1,2 m <sup>2</sup>	

y los tubos. Una torre de enfriamiento (Fig. 2) marca Favra 190/10 con una capacidad de máximo trabajo de 113,8 l/min, está adosada a una estructura móvil, posee un caudalímetro rotacional y dos sensores Pt100 para medir temperatura de salida y retorno. Una bomba centrífuga marca Adas de 0-63 l/min, impulsa el fluido desde la torre de enfriamiento a los intercambiadores de calor, un tanque calefactor (Fig. 3) de 400 l con una potencia de 4,5 kW dispuesto sobre un soporte móvil, se encuentra conectado a una bomba centrífuga de 10-40 l/min marca Sylwan la cual se encarga de proveer el fluido caliente al sistema. La estructura de los dos intercambiadores permite anexar sensores de temperatura Pt100, los cuales son conectados a un adquirente de datos (Fig. 4)

construido en la planta piloto de esta facultad, que tiene una capacidad de adquisición de 8 canales, dónde la información obtenida es visualizada a través de una interfaz SCADA (Fig. 5) y posteriormente analizados en el simulador Chemcad v6.1.3.



Fig. 1: Intercambiadores de calor



Fig. 2: Torre de enfriamiento



Fig. 3: Tanque Calefactor



Fig. 4: Adquisidor de datos



Fig. 5: Gráfico del adquisidor

El control de la temperatura del fluido de proceso es llevado a cabo a lo largo de la estructura del intercambiador, en función de los valores sensados y apreciados en la interfaz SCADA, es posible regular el caudal del fluido de servicio que entra a través de la manipulación de las válvulas, provocando variación de la temperatura del fluido de proceso, es decir, logrando mayor o menor intercambio de calor.

## Método de cálculo

Se procede al cálculo de: calor de intercambio, diferencia de temperatura media logarítmica y coeficientes de transferencia limpio, sucio y de ensuciamiento. Se siguen los siguientes pasos enumerados:

1. Especificar las condiciones de proceso de los fluidos como temperaturas de entrada y de salida, flujos máxicos, caídas de presión toleradas a cada fluido y factores de obstrucción.
2. Emplear las condiciones de proceso para cada fluido, determinar el calor específico a la temperatura media de cada uno y obtener el calor intercambiado.

$$Q = W * C_p * \Delta T \quad (1)$$

W= Flujo de fluido que circula por el equipo (m<sup>3</sup>/h).

C<sub>p</sub>= Calor específico a presión constante (Kcal/kg °C).

ΔT = Diferencia de temperatura entre la entrada y la salida del intercambiador (°C).

Se realiza además el cálculo del coeficiente global de transferencia a través de la ecuación de la segunda ley de la termodinámica.

$$Q = U * A * LMTD \quad (2)$$

Q= Calor transferido (Kcal/h)

U= Coeficiente de transferencia global (Kcal/kg °C)

A= Área de transferencia de calor (m<sup>2</sup>)

LMTD= Temperatura media logarítmica

Teniendo en cuenta el área de transferencia de calor donde:

$$A = \pi * d * L \quad (3)$$

d= Diámetro exterior del ánulo (m).

L= Longitud de los tubos (m)

3. Determinar la diferencia de temperatura media logarítmica, LMTD.

$$LMTD = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln\left(\frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1}\right)} \quad (4)$$

Siendo T: fluido caliente, t: fluido frío; 1: Entrada; 2: Salida

## Desarrollo

Los ensayos se llevan a cabo con diferentes combinaciones para observar la existencia del mejor rendimiento en el intercambio de calor, se tomó como punto de partida experiencias realizadas por cátedras que se dictan en la FRVM. En la Fig. 6 se muestra la disposición de los canales de un determinado momento del trabajo desarrollado. Se toman valores de caudales y temperaturas que van a ser usados para obtener resultados. Las disposiciones de las corrientes en el intercambiador

fueron las siguientes: En paralelo-contracorriente; paralelo-cocorriente; serie-contracorriente; serie-cocorriente. En el arreglo co-corriente o paralelo, los fluidos caliente y frío entran por un extremo (ambos por el mismo) y salen por el otro. En el arreglo contracorriente, los fluidos entran por extremos opuestos y fluyen en sentidos opuestos hasta su salida. El sistema de control permite almacenar datos en tiempo real a través de una interface de computador, y cuenta con un simulador que permite comparar los resultados experimentales con los de diversos modelos matemáticos.

### Resultados

Los fluidos utilizados en la experiencia fueron agua caliente por los tubos y agua fría por la coraza. Los datos del resultado de la experiencia fueron obtenidos a través del adquirente de datos interconectado con el equipo y visualizados en una interfaz SCADA. Estos fueron cargados al simulador Chemcad v6.1.3. para su posterior análisis, comparación y desarrollo de conclusiones.

A modo de ejemplo se dispone de una tabla de resultados (Tabla 2) de la experiencia realizada en planta piloto, donde se puede observar los distintos arreglos, flujos, temperaturas de entrada-salida y calor, con el fin de obtener el valor de la incógnita planteada qué para este trabajo, era el calor intercambiado.

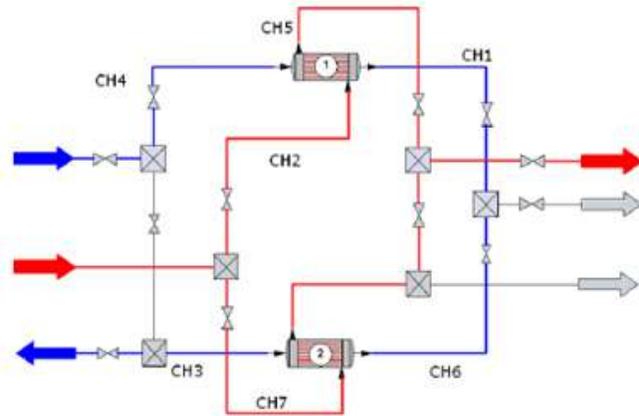


Fig. 1 : Disposición de canales

Tabla 2: Resultados de la experiencia

Arreglo y Tipo de flujo	T1 (°C)	T1 (°C)	T2 (°C)	T2 (°C)	Caudal (m³/h)	Caudal (m³/h)	Calor (Kcal/h) E1	Calor (Kcal/h) E2
	E1	E2	E1	E2	E1	E2		
Flujo dividido								
Paralelo por los tubos	10	10	17	17	1300	1300	7800	7800
Cocorriente por coraza	51	51	24	24	360	360		
Paralelo por los tubos	14	14	19	119	1900	1900	8700	8700
Contracorriente por coraza	51	51	21	21	290	290		
Flujo en serie								
Tubos	10	16	16	20	1350	1350	8000	5000
Contracorriente por coraza	51	37	37	28	580	580		
Tubos	16	19	19	23	1800	1800	5700	6900
Cocorriente por coraza	51	41	41	29	580	580		

T1: Temperatura entrada; T2: Temperatura salida; E1: Equipo 1; E2: equipo 2

Como se puede observar en la tabla anterior el arreglo flujo dividido; paralelo por los tubos y contracorriente por la coraza es el que mayor cantidad de calor intercambiado posee, por lo cual es el más eficiente.

## Conclusión

Al finalizar la experiencia, que fue extraída de la cátedra de Tecnología de la Energía Térmica de la carrera Ingeniería Química, se pudo llegar a la conclusión de que el arreglo: flujo dividido; paralelo por los tubos y contracorriente por la coraza es el más eficiente de los ensayos realizados. Esto se debe a que el calor intercambiado es el mayor obtenido, debido a que la temperatura de salida del fluido frío puede acercarse a su temperatura de ebullición. Cabe destacar que esta experiencia puede ser replicada y modificada para alcanzar distintos resultados que respondan al fenómeno de transferencia en cuestión.

El objetivo del desarrollo de un circuito versátil de intercambio de calor a escala piloto logra llevar a la práctica el diseño, puesta a punto y verificación del equipo típico de intercambio de calor. El conocimiento y las tecnologías abordadas son locales, facilitando la adaptación a las necesidades del involucrado en la realización de la experiencia. El trabajo contribuye a la educación particularmente en el campo del monitoreo de procesos de transferencia de calor. Las experiencias realizadas en planta piloto logran que el estudiante no solo fortalezca los conocimientos adquiridos, sino que también permite la familiarización con un conjunto de actividades propias del quehacer profesional del ingeniero.

## Bibliografía

- Vargas Edgar M. Rodriguez Carlos F. *Construcción de equipos de apoyo docente para Ingeniería Química: Una alternativa de aprendizaje integral* // Scielo revista de ingeniería. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0121-49932004000200011&lang=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-49932004000200011&lang=es) 2004.
- Johnstone Robert Edgeworth y Thring, Meredith Wooldridge *Pilot plants models, and scale-up, methods in chemical engineering* - Estados Unidos: McGraw-Hill Book Company, - 1957.
- Kern Donal Q. *Procesos de transferencia de calor*. - Editorial McGraw-Hill, Tercera edición- Cap. 1, - 1999.
- McCabe W., Smith J.C., Harriott P., *Operaciones unitarias en Ingeniería Química*. Ed. McGraw Hill, 1998.
- Perry, R. *Manual del Ingeniero Químico*. Volumen I. Editorial McGraw-Hill, 1992.
- Ocon J, Tojo G., *Problemas de Ingeniería Química*. Editorial Aguilar, 1986.
- González Ing. Mahuli A. <https://operacionesunitarias1.files.wordpress.com/2011/07/unidad-iv-intercambiadores-de-calor.pdf>. - 2011.
- Imbert-González Josué redalyc <http://www.redalyc.org/pdf/4455/445543774005.pdf>. - 2011.

# ANÁLISIS DE LA INFILTRACIÓN EN HORMIGONES POROSOS CON ÁRIDOS DE LA PROVINCIA DE ENTRE RÍOS - DESEMPEÑO HIDROLÓGICO

Autores: Gerardo M. Sasso, Sergio R. Gonfiotti y Vanesa J. Cayecul.

Tutores: Gustavo R. Larenze y María E. Garat

UTN Facultad Regional Concordia, Salta 277, Entre Ríos, Argentina.

gerardo\_sasso@hotmail.com, gonfiotti\_sergio@yahoo.com.ar, vane.yaca@hotmail.com, guslarenze@gmail.com, eugarat@yahoo.com.ar

## Resumen

Esta investigación tiene como objetivo evaluar la capacidad de infiltración de diferentes muestras de hormigón poroso, bajo condiciones variables de intensidad de lluvia, pendiente del pavimento y grado de colmatación, para caracterizar el comportamiento hidráulico de los pavimentos permeables utilizados como sistemas de captación y retención para el control en origen de la escorrentía urbana. Se desarrolló la primera etapa de experimentación en laboratorio, mediante un simulador de lluvia construido en la regional Concordia. Se analizó el efecto de la variación de la intensidad de precipitación y de la pendiente del escurrimiento superficial en la capacidad de infiltración de probetas a escala de prototipo, elaboradas con áridos de la zona y grado de colmatación nulo. En estas condiciones, las muestras estudiadas permitieron la percolación total del volumen precipitado, sin formación de encharcamientos en superficie ni generación de escurrimiento directo. La capacidad de infiltración alcanzó valores muy elevados, cuyo orden de magnitud es compatible con los valores reportados por la bibliografía. La etapa posterior, en desarrollo, incluye ensayos en laboratorio y en campo de diferentes escenarios de colmatación, con el objeto de cuantificar la reducción de la capacidad de infiltración a lo largo del tiempo de servicio del pavimento.

## 1. Introducción

Este trabajo resume los resultados de la primera etapa del Proyecto de investigación tutorado (ECTUNCO0004283) de la Universidad Tecnológica Nacional, el cual se encuentra actualmente en curso en la Facultad Regional Concordia. Está siendo tutorado por la Regional Córdoba, que ha desarrollado proyectos de investigación en esta temática, en particular los trabajos realizados por Positieri et al. (2015). A nivel internacional, es muy amplia la experiencia vinculada a este tipo de hormigones. Las primeras investigaciones de las propiedades de estas mezclas se realizaron en los Estados Unidos en la década de 1970, y desde entonces varios países han desarrollado gran cantidad de trabajos de investigación para la publicación de monografías y manuales específicos.

En general, el porcentaje de vacíos varía en un rango comprendido entre 15 y 25% (FHA, 2012). A medida que se incrementa el porcentaje de vacíos se reduce la resistencia mecánica del hormigón poroso, y a su vez se incrementa su capacidad de infiltración. En la Fig. 1 se presenta la relación existente entre la resistencia a compresión a los 7 días, la relación de vacíos y la permeabilidad de varias mezclas PCPC (Portland Cement Pervious Concrete) obtenida por Kevern et al, (2008). Puede observarse que para un porcentaje de vacíos comprendido entre el 15 y el 25% la resistencia supera los 15 Mpa a los 7 días, mientras que la permeabilidad de la mezcla puede alcanzar valores de hasta 10000 mm/h. Esta figura presenta una disminución con tendencia lineal de la resistencia a compresión y un crecimiento exponencial de la permeabilidad en función del porcentaje de vacíos.

En la República Argentina los antecedentes disponibles son muy escasos, y especialmente en nuestra región (Provincia de Entre Ríos, Corredor del Río Uruguay) prácticamente no se dispone de información específica. El objetivo de la primera etapa es la selección de la dosificación óptima de la mezcla de Hormigón Poroso que permita un adecuado desempeño desde el punto de vista hidrológico, verificando a su vez los requisitos mecánicos y estructurales.

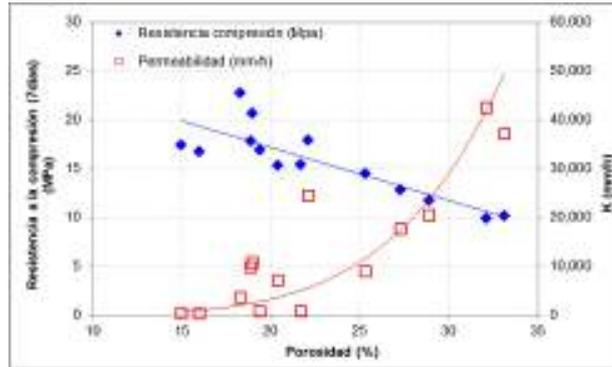


Fig. 1.- Relación entre la Resistencia a compresión, permeabilidad y % de vacíos  
Adaptada de Kevern et al., (2008)

## 2. Metodología

### 2.1 Simulador de lluvia

La etapa preliminar de preselección de los hormigones porosos consiste en una metodología experimental basada en la utilización de un simulador de lluvia a escala de laboratorio.

El simulador de lluvia (Fig. 2) fue construido a partir del diseño del Infiltrómetro Cántabro Fijo (ICF) de la Universidad de Cantabria Sañudo (2014), desarrollado a partir de diseños previos realizados en la Universidad de Coventry (Reino Unido). El principal elemento soporte de la estructura del simulador es un bastidor con inclinación regulable, que permite caracterizar las distintas pendientes de la superficie permeable. Cuenta con un soporte superior, constituido por una estructura metálica ubicada a 50 cm sobre la superficie permeable, que se utilizó como estructura de fijación del simulador de lluvia directa.



Fig. 2.- Simulador de lluvia

El simulador tiene cinco líneas de distribución, sobre las que se instalaron 15 goteros por línea (75 goteros en total). La alimentación de agua al simulador se realizó a través de un tanque a nivel constante. La regulación del caudal de entrada al simulador de lluvia se realizó mediante flotámetro monoblock para pequeños caudales, marca Schillig modelo MB-60V-B, caudal máximo 40 l/h. Este dispositivo se utilizó para simular intensidades de lluvia variables entre 80 y 160 mm/hora.

La intensidad de precipitación se calculó de acuerdo a Ecuación (1), siendo  $i$ : intensidad en mm/hora,  $Q$ : caudal a la salida del flotámetro (L/hora) y  $A$ : superficie de la probeta en ( $m^2$ ).

$$i = \frac{Q}{A} \quad (1)$$

La probeta de hormigón se confinó perimetralmente mediante un marco de policarbonato, que intercepta las salpicaduras originadas por el choque de las gotas con la superficie de la probeta, reteniéndolas en el interior del volumen de control. El contacto entre ambas superficies está sellado, para evitar la eventual percolación lateral, que altera la hipótesis de flujo unidimensional. Para coleccionar el caudal proveniente del escurrimiento superficial que abandona la superficie permeable se dispuso una bandeja que transfiere esta fracción hacia una cámara. El simulador cuenta con cinco recipientes totalizadores de policarbonato, que recolectan el agua que percola a través de la probeta de hormigón poroso y una cámara recolectora del escurrimiento superficial.

## 2.2 Propiedades físico mecánicas de las muestras de hormigón poroso

La dosificación de las mezclas se llevó a cabo en el Laboratorio de Hormigón de la Regional Concordia, sus principales resultados se describen en Palacio et al. (2018).

En esta etapa se estudiaron tres dosificaciones de mezcla, con el objetivo de evaluar la influencia de la forma de las partículas en la resistencia y porosidad de las muestras. Para su elaboración se utilizó canto rodado 10-20 mm del Río Uruguay, proveniente de la ciudad de Concordia y basalto partido 10-20 mm con origen en la localidad de Puerto Yerúa, también en el departamento de Concordia. En los tres casos se empleó arena gruesa proveniente de cantera de la ciudad de Concordia como agregado fino. Estas mezclas fueron identificadas como Pastón 4, Pastón 5 y Pastón 6. Los resultados del ensayo de resistencia a compresión y porosidad total de cada pastón se indican en la Tabla 1 y Fig. 3, donde puede observarse que la mayor resistencia (y menor porosidad) corresponden al pastón 4, mientras que la menor resistencia (y mayor porosidad) al pastón 6, ubicándose los valores del pastón 5 en resultados intermedios.

Para el pastón 4 se empleó canto rodado como árido grueso, tiene una porosidad media de 3,5% y una resistencia promedio de 38,6 MPa, obtenida a partir del ensayo de dos probetas cilíndricas. El pastón 5, elaborado con piedra basáltica tiene una resistencia promedio de 24,7 MPa obtenida a partir del ensayo de 3 probetas, y una porosidad media de 14,4%. El pastón 6, elaborado con piedra basáltica, arrojó un porcentaje de vacíos de 17,5% y resistencia promedio de 20,7 MPa obtenida a partir del ensayo de 3 probetas.

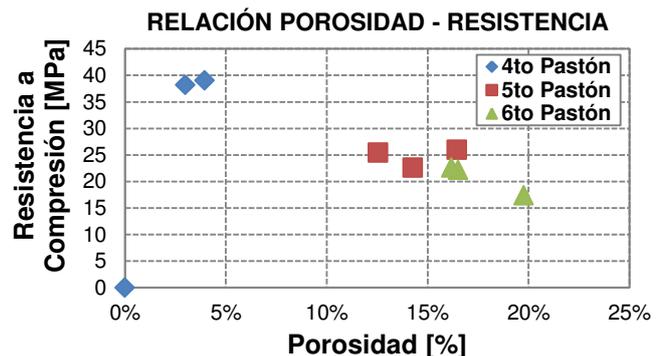


Fig. 3.- Probetas de Hormigón estudiadas

Tabla 1.- Resistencia a la compresión y porosidad total de las probetas

Dosificación	Probeta	Resistencia Compresión [Mpa]	Porosidad Total [%]
4to pastón	1	38,17	2,99%
	2	39,01	3,95%
5to pastón	1	25,97	16,44%
	2	25,43	12,54%
	3	22,58	14,26%
6to pastón	1	17,36	19,77%
	2	22,2	16,51%
	3	22,62	16,18%

## 2.3 Variables hidrológicas intervinientes

Para caracterizar el desempeño hidrológico de las muestras de hormigón poroso se consideraron las variables indicadas en la Fig. 4. La precipitación total P (mm) se genera de modo artificial mediante el simulador de lluvia. Si bien el dispositivo no puede reproducir la componente aleatoria de la lluvia real (punto de impacto y diámetro de las gotas), permite simular intensidades de precipitación variables para evaluar la respuesta hidrológica de las muestras de hormigón poroso. El escurrimiento directo Pe (mm) se registra recolectando el volumen que escurre superficialmente

sobre la probeta. En aquellos casos en que esta componente sea nula, y cuando tampoco se observa encharcamiento superficial sobre la probeta se considera que toda la lámina precipitada ha infiltrado, por lo tanto  $Pe=0$ . La infiltración  $F$  (mm) se obtiene como diferencia entre la precipitación total y el escurrimiento directo. Su derivada temporal es la tasa de infiltración  $f$  (mm/h). La percolación  $R$  (mm) se registra directamente a partir del volumen de agua recolectado en la cara inferior de la probeta. Su derivada temporal es la tasa de percolación  $r$  (mm/h).

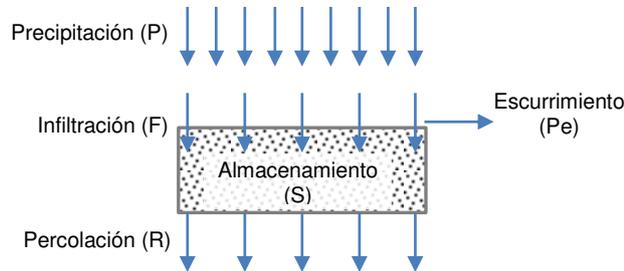


Fig. 4.- Variables hidrológicas intervinientes - Adaptada de Weber et al. (2015)

El almacenamiento  $S$  (mm) representa el volumen de agua almacenado en el interior del hormigón poroso. Se obtiene de la integración de la ecuación de continuidad hidrológica, de acuerdo a Ecuación (2).

$$\frac{dS}{dt} = f(t) - r(t) \quad (2)$$

## 2.4 Modelo conceptual de funcionamiento

En el instante denominado  $t_0$  en la Figura 5 comienza la precipitación sobre la probeta. A partir de este momento la lámina precipitada se almacena en el interior de la probeta, hasta el instante característico  $t^*$ , denominado tiempo de encharcamiento. En ese instante la probeta comienza a percolar. La tasa de percolación  $r$  se incrementa gradualmente hasta alcanzar (teóricamente) el valor de la intensidad de lluvia generada.

Es decir que la curva de percolación acumulada  $R$  aproxima su pendiente a la de la precipitación acumulada  $P$  cuando se le da al ensayo una duración suficiente para que el almacenamiento alcance el valor  $S_{\max}$ .

El límite superior del almacenamiento equivale en teoría al producto entre la altura de la probeta y su porosidad, sin embargo su valor es sensiblemente menor, debido a la presencia de vacíos de magnitud significativa en la matriz porosa del material.

La tasa de percolación  $r$  se calcula según Ecuación (3), donde  $\Delta V$  representa el volumen recogido en los recipientes inferiores del simulador,  $A$  es el área de la probeta y  $\Delta t$  el intervalo de tiempo.

$$r = \frac{\Delta V}{A \Delta t} \quad (3)$$

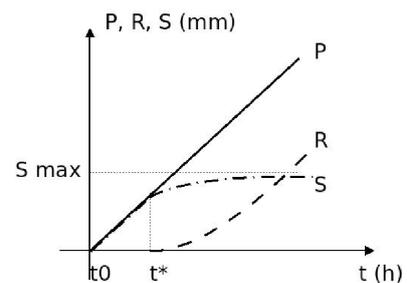
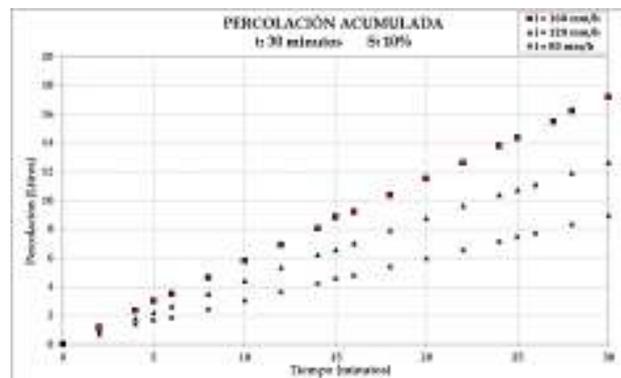


Fig. 5.- Modelo conceptual del funcionamiento hidrológico Fuente: Weber et al. (2015)

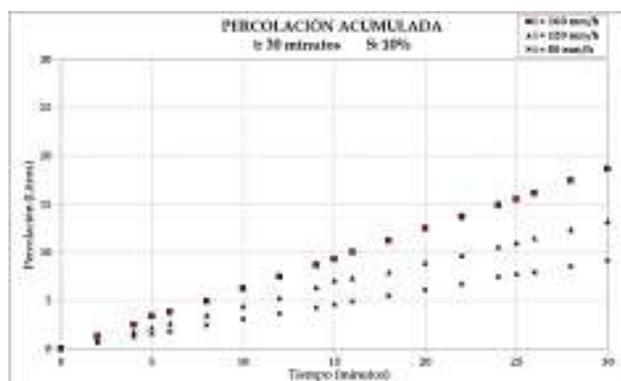
### 3. Resultados

Las probetas correspondientes a los tres pastones se ensayaron en el simulador de lluvia, adoptando una duración de 30 minutos e intensidades de precipitación total de 80 mm/h, 120 mm/h y 160 mm/h. En el caso del pastón 4 (elaborado con canto rodado, porosidad media de la mezcla 3,5%) debido a que presenta una matriz porosa muy cerrada la percolación fue nula. Es decir que la única variable registrada fue el escurrimiento superficial. Los resultados preliminares señalan su falta de aptitud para desempeñarse como pavimento permeable. En el caso de las mezclas correspondientes a los pastones 5 y 6, el escurrimiento superficial fue nulo. Las tasas de percolación fueron muy elevadas desde el comienzo del ensayo.

La evolución de la percolación acumulada se representa gráficamente en la Fig. 6, donde se indica el volumen total (en litros) que percola a través de la cara inferior de la probeta en cada intervalo de tiempo. El mismo se cuantificó gravimétricamente, utilizando una balanza de alta resolución para registrar el peso del líquido recolectado en los recipientes totalizadores. En esta figura se aprecia el comportamiento lineal de percolación, es decir que su derivada temporal, la tasa de infiltración (en mm/hora) es constante, e igual a la intensidad de precipitación. Este comportamiento se mantuvo para todo el rango de pendientes analizado (0% a 10%). Esto se justifica por el elevado porcentaje de vacíos de ambas mezclas (porosidades promedio de 14,4% y 17,5%) y por tratarse a su vez de muestras de hormigón recién elaborado, donde estos poros se encuentran libres de sedimentos (grado de colmatación nulo). Una vez puestas en servicio, se produce la colmatación de los vacíos, que origina una gran reducción de la capacidad de infiltración. Este análisis se encuentra actualmente en etapa de desarrollo y análisis. Del examen de los resultados obtenidos se evidencia que las tasas de infiltración máxima son muy superiores al rango de intensidades analizado.



a.- Pastón 5



b.- Pastón 6

Fig. 6.- Resultados del ensayo de infiltración de probetas sin colmatar

Debido a que el flotámetro disponible permite registrar intensidades máximas de 160 mm/h ( $Q_{\text{máx}}$  40 l/h) se utilizó un caudalímetro Arduino para la medición de caudales superiores. De este modo,

se registró el caudal máximo suministrado por la red de agua potable que alcanza un valor  $Q_{\text{máx}}=10,20 \text{ L/min} = 612 \text{ L/h}$ , equivalente a una intensidad  $i_{\text{máx}} = 2448 \text{ mm/hora}$ . En estas condiciones de funcionamiento, persiste la percolación completa del caudal máximo a través de la superficie permeable, sin observarse encharcamiento en superficie ni escurrimiento superficial. Es decir que la máxima intensidad de diseño analizada ( $i_{\text{máx}}=160 \text{ mm/h}$ ) equivale al 6,5% de su capacidad de infiltración máxima registrada. El orden de magnitud de estos resultados concuerda con los valores informados por la bibliografía, entre otros por Kevern et al. (2008) y Iowa State University (2016).

#### 4. Conclusiones

En esta etapa del proyecto de investigación se ha construido un simulador de lluvias que permite la medición directa de la percolación y el escurrimiento superficial, y la cuantificación de las tasas de infiltración y almacenamiento en probetas de hormigón poroso.

Se analizó el comportamiento hidráulico de tres pastones de prueba de diferente porosidad elaborados con áridos de la zona. Los ensayos realizados corresponden a probetas sin colmatar en condiciones de intensidades variables de precipitación, habiéndose efectuado una estimación de la capacidad de infiltración máxima, cuyo orden de magnitud concuerda con los valores típicos reportados por la bibliografía. La etapa siguiente, actualmente en curso, consiste en la simulación correspondiente a distintos grados de colmatación, para cuantificar la reducción de la capacidad de infiltración en función de la intensidad de lluvia y pendiente del pavimento. Del análisis y discusión de los resultados, se espera, además, entender el comportamiento de un pavimento permeable en condiciones extremas de colmatación en función de la pendiente de la superficie; y su eficacia en la atenuación de grandes volúmenes de agua pluvial, retardando y reduciendo los picos de hidrogramas de escurrimiento superficial que producen las lluvias extremas.

#### 5. Referencias

- FHA, 2012. *"Pervious Concrete - FHWA- HIF-13-006"*. USA: Federal Highway Administration (FHWA), Office of Pavement Technology.
- Iowa State University, 2016. *"Pervious Concrete Physical Characteristics and Effectiveness in Stormwater Pollution Reduction"*. Ames, Iowa, USA: Institute for Transportation - Iowa State University.
- Kevern, J.T., Schaefer, V.R., Wang, K. & Suleiman, M.T., 2008. *"Pervious Concrete Mixture Proportions for Improved Freeze-Thaw Durability"*. West Conshohocken, PA, USA: Journal of ASTM International, Vol. 5, No. 2.
- Palacio, A.J., Sota, J., Rodríguez, M.B. & Fracaro, E., 2018. *"Análisis de la infiltración en hormigones porosos con áridos de la Provincia de Entre Ríos - Dosificación de las mezclas"*. VIII Jornadas de Ciencia y Tecnología, CyTAL 2018 Villa María, Córdoba, Argentina: Universidad Tecnológica Nacional (en evaluación).
- Positieri, M.J.; Weber, J.F.; Gonzalez, N.; Rautenberg, D.P.; Monetti, M.; Baronetto, C.E., 2015. *"Análisis experimental y caracterización de pavimentos porosos y su respuesta hidrológica"- Proyecto de Investigación UTN sin incorporación al Programa de Incentivos ECUTNCO1596*. Córdoba, Argentina: Universidad Tecnológica Nacional.
- Sañudo F, L.A., 2014. *"Análisis de la infiltración de agua de lluvia en firmes permeables con superficies de adoquines y aglomerados porosos para el control en origen de inundaciones"*. Santander: Universidad de Cantabria. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- Weber, J.F., Positieri, M.J., Gonzalez, N. & Rautenberg, D.P., 2015. *"Metodología para la Determinación en Laboratorio de la capacidad de Infiltración y almacenamiento de hormigones Porosos"*. La Plata, Argentina: IV Simposio sobre métodos experimentales en Hidráulica.

# CENTRALES ELÉCTRICAS A BASE DE BIOGÁS. ESTUDIO DEL POTENCIAL DE PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LOS DISTRITOS DE RECONQUISTA Y AVELLANEDA SEGÚN LOS RESIDUOS URBANOS Y AGROINDUSTRIALES DISPONIBLES.

Dino GHISOLFI<sup>1</sup>, Juan Francisco MONTI<sup>1</sup>, Mariano PERDOMO<sup>1</sup>, Matías BARLASINA<sup>1</sup>, Ulises MANASSERO<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Alumno, Grupo CySE/Departamento Eléctrica, FR Santa Fe, UTN

<sup>2</sup>Graduado Grupo CySE/Departamento Eléctrica, FR Santa Fe, UTN

E-mail: dinoghisolfi@live.com, juanmontif@gmail.com, matiasbarlasina@gmail.com, perdomomariano@hotmail.com, umanassero@frsf.utn.edu.ar

## Resumen

En el presente trabajo, se pretende brindar un destino útil al guano generado por gallinas ponedoras producido por 37 granjas avícolas ubicadas en zonas aledañas a las ciudades Reconquista y Avellaneda, de la provincia de Santa Fe. Los desechos mencionados se presentan como un gran potencial aprovechable para la generación de energía eléctrica bajo la descomposición anaeróbica en tecnologías de biodigestión, generando biogás y utilizando el mismo en motores de combustión interna (MCI) para la posterior generación de energía.

En base a la distribución geográfica de las granjas y de las líneas de distribución de 13,2 y 33 kV de las ciudades mencionadas, se definieron 8 centrales térmicas de biogás y se realizaron estudios logísticos relacionados al aprovisionamiento de la biomasa. Se analizó la factibilidad técnico-económica frente a la inserción de potencia de las centrales, definiendo costos de inversión, operación y mantenimiento e ingresos por venta de energía.

**Palabras claves:** Centrales Térmicas de biogás; Valor Actual Neto; Tasa Interna de Retorno; Payback; Logística

## 1. Introducción

Las plantas de biogás son sistemas que permiten tratar pasivos ambientales como ser los efluentes provenientes de feedlots, granjas de pollos, granjas de cerdos y agroindustrias.

El biogás es un combustible gaseoso que se obtiene al transformar, liberar y reciclar la energía contenida en los residuos orgánicos a través del proceso de biodigestión anaeróbica y es capaz de transformarse en energía eléctrica por medio de MCI (Unión Europea, 2010).

En este trabajo se analiza el potencial energético del guano de gallinas ponedoras de 37 granjas avícolas localizadas en los alrededores de las ciudades de Reconquista y Avellaneda, determinando el número total de centrales térmicas de biomasa (CTB) que es posible introducir en los sistemas de subtransmisión de 33 kV y distribución de 13,2 kV de dichas ciudades, teniendo en cuenta la factibilidad técnico-económica de las centrales, respecto a la logística de recolección del guano, costos de inversión operación y mantenimiento, e ingresos por MWh generados.

El sistema de subtransmisión en 33 kV, abastecido por la ET Reconquista 132/33/13,2 kV se compone de tres alimentadores conformados por líneas aéreas. La red de distribución de Avellaneda se divide en un sector urbano-rural con operación radial, pero con una topología mallada y otra zona suburbana-rural de topología radial (Ghisolfi et al., 2017).

El análisis de factibilidad técnico-económica se hizo en base a distintos indicadores económicos como lo son: el valor actual neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el tiempo de recupero del dinero invertido (Payback); bajo estudios de sensibilidad de diferentes precios adjudicados por venta de energía, distintas tasas de intereses y diferentes tiempos de vida útil de los proyectos de las CTBs- 15 y 20 años-.

## 2. Metodología

En la fig. 1 se presenta el flujograma de las actividades realizadas en este trabajo con el objetivo de analizar la factibilidad técnico-económica de las CTBs en función a la logística de recolección del guano y a la determinación de costos de inversión, operación y mantenimiento, e ingresos por venta de energía.

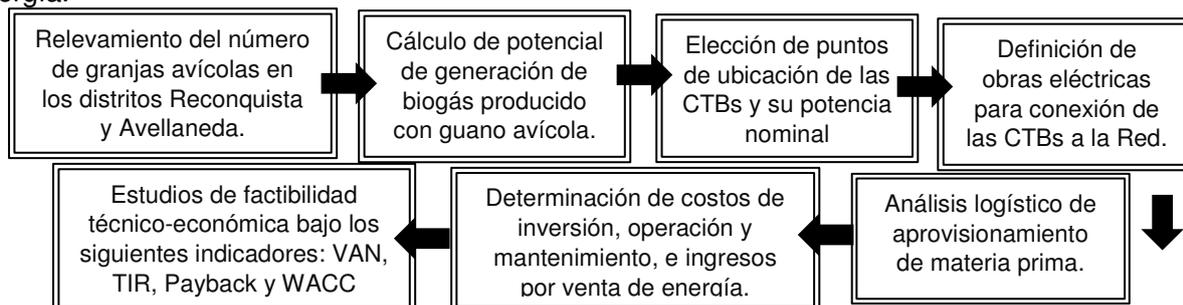


Fig 1. Flujoograma de actividades realizadas.

## 2.1. Estimación de potencia nominal de las CTBs

Se seleccionó el guano de las granjas avícolas como materia prima de las CTBs. En función a la ubicación de las 37 granjas avícolas disponibles en la zona de estudio (circunscriptas en un radio de 25 km con epicentro en la ciudad de Reconquista), por razones logísticas, se definieron 8 CTBs y se estimó la potencia de las mismas con relación al número de aves disponibles en cada una de ellas. Para ello, se determinaron los niveles de producción de estiércol animal y el volumen de biogás diario generado a partir del mismo, siendo este último, apto para la generación de energía eléctrica por medio de motores de combustión interna (MCI). Para el cálculo, se adoptó un promedio del peso de las aves igual a 1,4 Kg, cuya biomasa diaria aprovechable (guano) constituye el 9% de su peso vivo. Considerando que con 1 m<sup>3</sup> de biogás se generan 2,2 kWh de energía eléctrica (Ifes et al. 2016), se calculó para cada granja, la potencia eléctrica disponible. A continuación, en la Tabla 1 se muestran las características de las CTBs definidas (Ghisolfi et al., 2017).

Tabla1. Características de las CTBs.

CTB	N° de Granjas	N° de Aves	P <sub>nom</sub> [kW]	U <sub>conex.</sub> [kV]	Nodo de conexión	Obras de conexión de CTB a red	
						Línea [Km]	Transformador bloque (kVA)
1	4	216.000	170	13,2	MOUSSY	1,81	250
2	4	99.500	78	13,2	AV_R17	0,46	125
3	3	46.500	37	33	LA SARITA	1,85	63
4	5	200.000	157	13,2	REC_09(EI Arazá)	2,00	250
5	8	248.500	195	13,2	AV_R9	1,19	315
6	7	260.500	205	33	LOS LAURELES	2,60	315
7	3	89.000	70	33	BERNA RURAL	1,50	125
8	3	73.000	57	13,2	REC_07 (N. Molinas)	0,40	100

En la fig. 2 se observa la distribución de las CTBs con su correspondiente nodo de conexión en el sistema de distribución de 13,2 y 33 kV.



Fig 2. Imagen satelital de la Distribución geográfica de las CTBs (resaltadas en color magenta).

## 2.2. Aprovechamiento de la biomasa

Diariamente se deberá recolectar el guano producido por las granjas avícolas para lograr el aprovisionamiento de la biomasa en las CTBs en tiempo y forma. Para ello, es necesario contar con un medio de transporte que se encargue de realizar un recorrido diario, recolectando los desechos orgánicos de las granjas. En este aspecto, existen varias alternativas de transporte de carga en base a camiones y tractores con tráiler de diferentes capacidades de carga. Para este trabajo se evaluaron dos capacidades de carga diferentes cuyas características de transporte se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Características técnicas de las alternativas de transporte de la biomasa.

Tipo de transporte	Capacidad [Tn]	Velocidad [Km/h]	Precio [USD\$/h]
Tractor	8	40	28,46
Camión	14	60	36,70

Tabla 3. Aprovechamiento de biomasa de las CTBs.

CTBs	Tn/día	Capacidad adjudicada [Tn]	Recorrido [km]
1	19,44	14	20,26
2	8,96	8	69,00
3	4,18	8	23,80
4	18,00	14	24,78
5	22,37	14	30,00
6	23,45	14	47,40
7	8,00	8	65,70
8	6,57	8	34,30

En base a la distribución geográfica de las granjas implicadas en cada CTB, y de acuerdo con la producción diaria de guano de estas, se realizó un estudio logístico para determinar la capacidad del camión necesario para la recolección del guano, y con ayuda de software de imagen satelital, se realizó el trazado del recorrido de los camiones para saber cuál es la distancia recorrida y poder así estimar el gasto diario de cada camión. En la tabla 3 se presentan los resultados obtenidos del estudio logístico para cada CTB.

### 2.3. Costos de inversión, operación y mantenimiento. Ingresos por venta de energía

En lo que respecta a costos, por un lado, existen costos fijos ligados a la inversión de la CTB y por otro, costos variables relacionados a la operación y el mantenimiento de la central y el aprovisionamiento de la materia prima. En la tabla 4 se presenta el desagregado de costos según valores de referencia obtenidos de los autores Garay García (Garay García, et al. 2011) y Escobar Morales (Escobar Morales, et al. 2015).

El costo logístico ligado al aprovisionamiento de la materia prima depende de dos variables, una de ellas depende del tiempo que demora el camión para hacer el recorrido previsto y la otra, el costo del combustible necesario para dicho recorrido. Con los datos de las tablas 2 y 3 se logró determinar el costo anual de la logística de materia prima de acuerdo con el tiempo necesario para realizar el recorrido completo del camión, teniendo en cuenta, además, un tiempo muerto de carga y descarga de la materia prima igual a 15,7 [Tn/h] (Cañadas Molina et. al, 2014). Para el cálculo del costo asociado al gasto de combustible, se estimó que el camión tiene un rendimiento de 6 [km/litro] siendo el precio promedio del gas oíl igual a 1,14 [US\$/litro] (Ministerio de Energía y Minería, 2018). Se supuso un factor de utilización de la central de 0,87 debido a que la misma presenta paradas programadas para mantenimiento.

Finalmente, en la tabla 5 se resumen los costos de inversión y de operación y mantenimiento anuales de cada uno de los proyectos de CTBs analizados para la región. Además, se detalla cuánto representa el costo logístico de aprovisionamiento en relación con la inversión total.

Tabla 4. Costos de inversión, operación y mantenimiento de las CTBs.

Tipo de costo	Sistema	Costo anual o unitario	
<b>COSTOS FIJOS DE INVERSIÓN</b>	Sistema Biodigestor	2199,00	[US\$/kW]
	Moto-Generador	700,00	[US\$/kW]
	Sist. de tratam. Bioq.	126,67	[US\$/kW]
	Conexión a la red	37000,00	[US\$/km Línea]
		33,33	[US\$/kW]
	<b>Inversión inicial de la obra</b>	Total	
<b>COSTOS VARIABLES (ANUALES)</b>	Mano de obra	15% Inversión Inicial	
	Ingeniería	8% Inversión inicial	
	Logística	Costo total de transporte	
	Operación y mto.	5 % valor inicial	

Tabla 5. Detalle de costos variables anuales

CTBs	Inversión [US\$]	Costos Variables [US\$/Año]		Costo logístico en relación con la inversión
		Logística	Operación y Mto.	
1	721.555	41.991,44	36.077,75	5,82 %
2	314.415	31.420,11	15.720,75	9,99 %
3	223.407	12.152,42	11.170,43	5,44 %
4	681.743	40.646,31	34.087,17	5,96 %
5	787.858	49.693,52	39.392,90	6,31 %
6	889.653	59.230,85	44.482,64	6,66 %
7	331.645	12.822,64	16.582,25	3,87 %
8	232.670	18.179,76	11.633,52	7,81 %

En la tabla 5 se destaca que los costos logísticos relacionados con el aprovisionamiento de la biomasa representan anualmente entre el 4 al 10% de los costos de inversión, según la CTB. Las diferencias de los costos logísticos entre CTBs radican en la cantidad de viajes y las distancias a recorrer para la recolección de la biomasa hasta la CTB (centro de acopio). En la fig 3, se desglosan los costos

relacionados al transporte, donde se observa que la mayor parte de los mismos refiere al tiempo de carga y descarga del camión, seguido del tiempo necesario para realizar el recorrido de recolección.

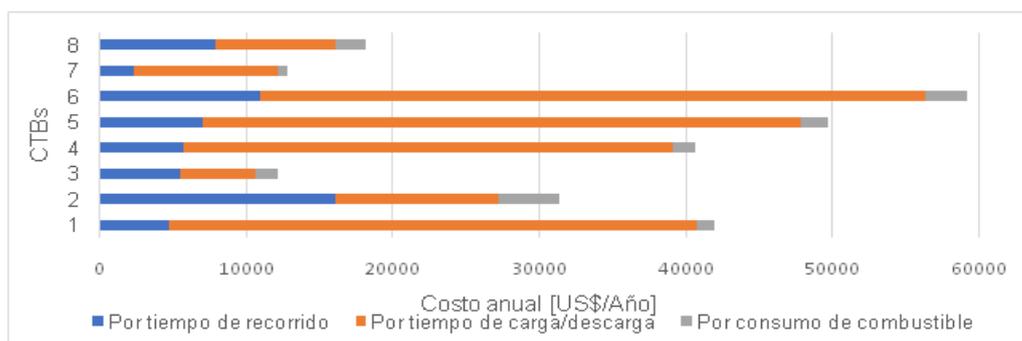


Fig. 3. Detalle de costos logísticos por transporte de la biomasa.

## 2.4. Ingresos por venta de energía

Los ingresos por venta de energía se calculan de acuerdo con la Convocatoria de Renovables “RenovAr– Ronda 2” (Ministerio de Energía y Minería, 2017), donde el precio máximo de adjudicación de la energía para centrales a base de biogás es de 160 [US\$/MWh]. Además, existe un ingreso extra otorgado como “Incentivo por Escala Biomasa/Biogás” de 30 [US\$/MWh] para centrales cuyas potencias nominales sean menores o iguales a 0,5 MW.

## 3. Resultados

### 3.1. Financiación del proyecto e indicadores financieros: VAN, TIR, Payback, en función al precio de venta de la energía eléctrica

Se asume que el costo de inversión del proyecto es financiado con un 20% de capital propio y una tasa de retorno pretendida igual a 8%, y un 80% proveniente de créditos, con una tasa de interés del 5%. Así, se calcula el Costo Medio Ponderado del Capital, obteniéndose una WACC del 5,6 %.

Para el caso de estudio, se evaluaron los indicadores financieros mencionados para 3 escenarios distintos, relacionados a diferentes precios de adjudicación por venta de energía eléctrica. Por un lado, se realizó el estudio para un escenario optimista, con un precio máximo de 180 [US\$/MWh]; por otro lado, se evaluaron los mismos indicadores para un escenario pesimista, con un precio igual 60 [US\$/MWh], siendo éste el precio máximo de referencia de adjudicación de los proyectos de parques eólicos y fotovoltaicos de las convocatorias Renovar 1.5 y 2.0. Por último, se determinó cuál es el precio mínimo que se les debería adjudicar a las CTBs para obtener un VAN =0. Con estos precios por venta de energía se determinó el flujo neto de caja utilizado para el cálculo del VAN y la TIR. La tasa de interés utilizada para el cálculo del VAN se corresponde con la WACC, es decir, 5,6 %. Los estudios se realizaron para dos tiempos de vida útil de los proyectos de CTB, de 15 y 20 años; suponiendo un plazo de un año para la instalación y puesta en marcha de las centrales (Carrasco Allendes et al. 2015).

Tabla 6. Indicadores financieros a 15 y 20 años, para distintos precios de venta de energía.

CTB	VAN a 15 años				VAN a 20 años			
	Precio [US\$/MWh]	VAN [US\$]	TIR %	Pay Back	Precio [US\$/MWh]	VAN [US\$]	TIR %	Pay Back
1	60,00	-321.197	1,07	18,70	60,00	-264.841	0,64	18,72
	<b>83,90</b>	0,00	5,60	10,40	<b>77,25</b>	0,00	5,60	11,85
	180,00	1.294.068	26,65	3,70	180,00	1.577.796	26,65	3,72
2	60,00	-248.339	-10,98	49,40	60,00	-239.038	-7,41	49,44
	<b>100,21</b>	0,00	5,60	10,40	<b>93,93</b>	0,00	5,60	11,85
	180,00	492.783	23,91	4,00	180,00	606.408	24,40	4,05
3	60,00	-202.051	-16,91	108,70	60,00	-199.044	-12,56	108,68
	<b>129,00</b>	0,00	5,61	10,40	<b>119,56</b>	0,00	5,60	11,90
	180,00	149.507	14,13	6,20	180,00	202.000	15,10	6,22
4	60,00	-339.370	-2,87	20,70	60,00	-291.177	-0,32	20,69
	<b>87,60</b>	0,00	5,60	10,40	<b>80,54</b>	0,00	5,60	11,85
	180,00	1.152.375	25,18	3,90	180,00	1.410.554	25,62	3,86
5	60,00	-323.809	-1,12	17,60	60,00	-258.487	1,23	17,64
	<b>80,97</b>	0,00	5,60	10,40	<b>74,68</b>	0,00	5,60	11,85
	180,00	1.528.996	27,74	3,50	180,00	1.855.127	28,11	3,53
6	60,00	-506.308	-4,46	24,10	60,00	-452.347	-1,72	24,11
	<b>104,50</b>	0,00	5,60	10,40	<b>84,43</b>	0,00	5,60	11,85
	180,00	1.441.512	24,46	4,00	180,00	1.769.657	24,93	3,96
7	60,00	-313.474	-1,24	189,60	60,00	-111.098	1,12	189,62
	<b>84,97</b>	0,00	5,60	10,40	<b>77,58</b>	0,00	5,60	11,85
	180,00	351.636	24,13	5,00	180,00	647.636	24,61	5,040
8	60,00	-136.221	-4,85	25,10	60,00	-122.644	-2,06	25,06
	<b>90,20</b>	0,00	5,60	10,40	<b>83,83</b>	0,00	5,60	11,85
	180,00	405.368	25,72	3,80	180,00	495.181	26,14	3,79

La rentabilidad de las CTBs en todos los casos es negativa para precios de adjudicación por venta de energía de 60 [US\$/MWh] y positiva para precios de 180[US\$/MWh]. El VAN para este último precio es sensiblemente mayor para la proyección de 20 años. Analizando los precios obtenidos para un VAN=0, se observa que, para la proyección a 20 años, se logra una reducción en el precio por venta de energía que ronda entre los 6,3 y 9,4 [US\$/MWh], llegando a ser 20,07 en la CTB 6.

### 3.2. Cálculo de indicadores financieros en función al precio de venta de la energía eléctrica, considerando la inflación anual

Se realiza un estudio similar al caso anterior, considerando una tasa de inflación anual del 20%, - impacta directamente en el costo de alquiler del camión- y un incremento anual del precio del gas oil del 18%. Se analizan los mismos escenarios relacionados al precio de adjudicación por venta de energía. Los resultados se muestran en la tabla 7.

Tabla 7. Indicadores financieros a 15 y 20 años, para distintos precios de venta de energía.

CTB	VAN a 15 años				VAN a 20 años			
	Precio [US\$/MWh]	VAN [US\$]	TIR %	Pay Back	Precio [US\$/MWh]	VAN [US\$]	TIR %	Pay Back
1	60.00	-961.215		18.72	60.00	-1.130.584		18.72
	<b>131.40</b>	0.00	5.60	5.51	<b>133.63</b>	0.00	5.60	5.39
	180.00	654.051	19.79	3.72	180.00	712.054	20.01	3.72
2	60.00	-722.231		49.40	60.00	-880.065		49.40
	<b>176.95</b>	0.00	0.01	4.10	<b>184.92</b>	0.00	9.87	3.90
	180.00	18.891	1.73	4.00	180.00	-34.619	7.43	4.00
3	60.00	-385.619		108.70	60.00	-447.355		108.7
	<b>191.60</b>	0.00	5.59	5.70	<b>193.86</b>	0.00	5.60	5.60
	180.00	-34.062	2.04	6.20	180.00	-46.310	-1.60	6.20
4	60.00	-958.410	-2.87	20.70	60.00	-1.128.542		20.70
	<b>137.10</b>	0.00	5.60	5.40	<b>139.59</b>	0.00	5.60	5.30
	180.00	1.167.598	25.18	3.90	180.00	1.427.962	25.84	3.90
5	60	-1.080.626		17.6	60	-1.282.223		17.60
	<b>130</b>	0.00	5.61	5.3	<b>132.8</b>	0.00	5.60	5.20
	180	772.179	21.02	3.5	180	831.391	21.21	3.50
6	60	-1.407.347	-4.46	24.1	60	-1.671.160		24.10
	<b>146.7</b>	0.00	5.60	5.3	<b>150.26</b>	0.00	5.60	5.00
	180	540.474	24.46	4.0	180	550.834	16.28	4.00
7	60	-760.977	-20.60	189.6	60	-374.988		189.60
	<b>120.16</b>	0.00	5.60	4.4	<b>119.31</b>	0.00	5.60	6.60
	180	-95.868	18.52	5.0	180	383.745	20.21	5.00
8	60	-410.956	-4.85	25.1	60	-494.274		25.10
	<b>151.1</b>	0.00	5.60	4.1	<b>156.01</b>	0.00	5.61	4.60
	180	130.633	25.72	3.8	180	123.551	16.00	3.80

De igual manera que el estudio anterior, para ambas proyecciones las rentabilidades de los proyectos son negativas para el precio de 60 [US\$/MWh], pero no todas son positivas para precios de 180 [US\$/MWh]. En todos los casos, para el análisis del VAN=0 es necesario que el precio de venta para la proyección a 20 años sea mayor que el de 15 años. Este precio de venta llega a ser hasta un 7,97 [US\$/MWh] para la CTB 2.

### 3.3. Cálculo de indicadores financieros en función a distintas tasas de interés

Se asume que el costo de inversión del proyecto es financiado con un 20% de capital propio y una tasa de retorno pretendida igual a 8%, y un 80% proveniente de créditos, analizando variaciones para tasas de interés del 3% (WACC = 4,0%), 5% (WACC = 5,6%), 7,5% (WACC = 7,6%) y del 10% (WACC=9,6%).

Para este análisis se evaluaron los indicadores financieros VAN, TIR y PayBack con un precio de adjudicación por venta de energía eléctrica de 160 [US\$/MWh].

En la tabla 6 se muestran los indicadores TIR y Payback, donde se puede ver que la TIR no se modifica de forma considerable, sino que presenta una variación muy pequeña. Por otra parte el payback es idéntico para ambas proyecciones.

Tabla 8. Indicadores financieros a 15 y 20 años

Proyección		CTB1	CTB2	CTB3	CTB4	CTB5	CTB6	CTB7	CTB8
15 años	TIR [%]	22,4	19,8	11,0	21,4	23,7	20,6	20,6	21,7
	PayBack [años]	4,3	4,8	7,4	4,5	4,1	4,6	4,6	4,4
20 años	TIR [%]	22,9	20,4	12,2	21,9	24,2	21,2	21,2	22,2
	PayBack [años]	4,3	4,8	7,4	4,5	4,1	4,6	4,6	4,4

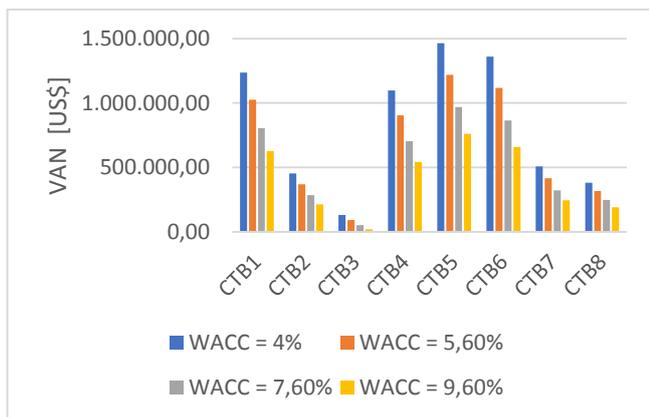


Fig 4. VAN de las CTBs a 15 años para distintos valores de WACC.

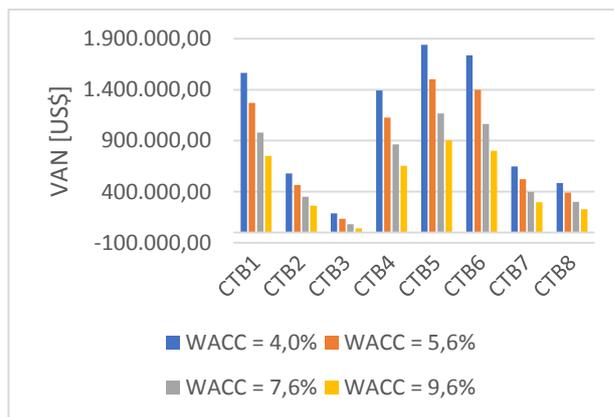


Fig 5. VAN de las CTBs a 20 años para distintos valores de WACC.

#### 4. Conclusiones

En este trabajo se propusieron 8 proyectos de CTBs ubicadas de manera óptima a partir de un estudio logístico logrando cubrir efectivamente la recolección del guano de las 37 granjas avícolas disponibles en la zona para producir biogás. Se estima la potencia de las mismas con relación al número de aves disponibles en cada una de ellas. Dentro del estudio logístico también se determinó la capacidad máxima y el recorrido necesario que deben realizar los transportadores de carga.

Se realizaron los cálculos de los costos de inversión, operación y mantenimiento y el de aprovisionamiento de la materia prima para cada proyecto de CTBs analizado. Como factor de peso en los costos operativos, se destacan los costos de logística aprovisionamiento de la biomasa que pueden alcanzar valores anuales relativos que varían entre un 4 y 10% del costo de inversión de la CTB. Dentro de los costos de la logística, el de mayor peso se encuentra en los tiempos de carga y descarga del camión.

Con la realización de distintos estudios de sensibilidad se pudo verificar si es rentable o no cada uno de los proyectos de CTBs, mediante el análisis de los indicadores económicos VAN, TIR y Playback. Estos estudios permiten analizar casos interesantes, como ser distintos tiempos de proyección de las centrales, tasas de interés, y precios de adjudicación por venta de energía eléctrica.

En el último estudio se puede visualizar que todas las centrales tienen VAN positivo y TIR cercano al 20% (excepto la CTB 3), siendo más rentables las CTBs 1, 4, 5 y 6, y la menos rentable la CTB 3. Por lo tanto se hace evidente que las rentabilidades de las centrales aumentan a medida que es mayor su potencia nominal.

#### 5. Bibliografía

- Blanco G.; Santalla E.; Córdoba V.; Levy A. (2017). Generación de electricidad a partir de biogás capturado de residuos sólidos urbanos: Un análisis teórico-práctico. (pág. 42)
- Cañadas Molina, V., (2014).Análisis de la viabilidad técnica y económica de una planta de gasificación de biomasa residual agrícola para suministro de una central de cogeneración en la comarca del Segrià. (Anexo I).
- Carrasco Allendes, J.L. (2015). Evaluación técnica y económica de una planta de biogás para autoabastecimiento energético: una estrategia para diferentes contextos.
- Escobar Morales, D. A., (2015). Diseño y factibilidad de una planta de biogás en una vitivinícola. (pág. 77)
- Ghisolfi D.; Barlasina M.; Ledesma N.; Guisoni E.; Ledesma N. (2017). Análisis del potencial de generación de biogás para la producción de energía eléctrica en los distritos de Reconquista y Avellaneda.
- Ifes, (2016) Proyecto para la promoción de la energía derivada de biomasa (págs. 1-195).
- Jianing L.; Weiqi Z.; Rui Z.; Zhong, J. (2012).
- López Lezama, J. M.; Padilha-Feltrin, A.; Gallego, L. A. (2009). Ubicación y dimensionamiento óptimo de generación distribuida en sistemas de energía eléctrica. Scientia et Technica Año XV, Vol. 41, Universidad Tecnológica de Pereira.
- Ministerio de Energía y Minería, (2017). Resolución 275/2017. Convocatoria Programa Renovar 2.0. Pliego de bases y condiciones.
- Ministerio de Energía y Minería, (2018).Resolución 1104/2004. Precios y volúmenes mayoristas y minoristas de combustibles.
- Unión Europea, (2010). Informe complementario sobre el estudio de soluciones viables para el aprovechamiento del biogás en Extremadura, en el marco del proyecto de cooperación transfronteriza España-Portugal Altercexa, para el apoyo al cambio climático a través del fomento de las energías renovables en Extremadura, Alentejo y centro (págs. 1-429).

# PROYECTO DE PARQUE EÓLICO EN EL LÍMITE INTERPROVINCIAL SAN LUIS-CÓRDOBA. ANÁLISIS EN RÉGIMEN ESTÁTICO Y DINÁMICO DE SU ACCESO A LA RED SEGÚN APLICACIÓN DEL CÓDIGO DE RED ARGENTINO.

Carlos A. LUCERO<sup>1</sup>, Nicolás LEDESMA<sup>1</sup>, Dino GHISOLFI<sup>1</sup>, Esteban SALVETTI<sup>1</sup>, Ulises  
MANASSERO<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Alumno, Grupo CySE / Departamento Eléctrica, FR Santa Fe, UTN

<sup>2</sup>Graduado, Grupo CySE / Departamento Eléctrica, FR Santa Fe, UTN

E-mail: ariellucero05@gmail.com, nicgale@hotmail.com

## Resumen

Se estudia el acceso a la red del Parque Eólico Achiras, ubicado en la provincia de Córdoba, República Argentina, considerando el análisis en régimen dinámico. Para tal fin, se modela el parque eólico y la red de influencia lo que permite realizar simulaciones para determinar el comportamiento dinámico del conjunto de aerogeneradores. Luego, se verifica la curva de inmunidad de tensión.

Los resultados se comparan con los requisitos del código de red argentino que determina si es factible de poner en servicio la nueva generación.

Se demuestra que el Parque Eólico Achiras cumple con las normativas y puede ser puesto en servicio en la red de 132 kV.

**Palabras Claves:** Parque Eólico; Generador Equivalente; Estudio dinámico, Inmunidad de Tensión

## Introducción

En la actualidad, el mundo vive un proceso de cambio de un modelo económico basado en una energía "ilimitada y barata" hacia un nuevo marco en el cual los recursos energéticos son limitados (Vigueras Rodríguez, 2008). En este nuevo contexto, el empleo de las energías renovables representa uno de los factores vitales, dado que pueden asegurar una producción de energía estable en el medio y largo plazo. Dentro de estas alternativas renovables, la energía eólica se destaca como la más madura y la más extendida de las tecnologías renovables en este momento, y por lo tanto recibe la mayor atención de los organismos reguladores, así como de los fabricantes y usuarios finales (Kang, J., et al, 2010). Para integrar los parques eólicos (PE) en la red, se les solicita que cumplan con los requisitos del código de red según lo estipulado en el Anexo 27 por CAMMESA (CAMMESA, 2012), en el punto de la red donde se proyecta su acceso. Dentro de los recursos solicitados, los requisitos de potencia reactiva y control de voltaje resultan cada vez más estrictos, al igual que los requisitos de tolerancia a fallas y la permanencia en servicio frente a desvíos transitorios de la tensión –también llamado *low voltage righ through* (LVRT)-. El propósito del requerimiento de LVRT exigidos al PE, se basan en mantener la estabilidad transitoria del sistema, para reducir el riesgo de un colapso de tensión en el mismo (Malia, et al, 2013). Todos los requisitos del código de red se definen para el punto de conexión a la red y, en algunos casos, se pueden satisfacer con equipos adicionales, como compensadores estáticos (Garin, et al, 2007).

El estudio presentado se propone como una continuación del trabajo denominado "Acceso a la Red del Parque Eólico Achiras. Estudio de Aplicación del Código de Red Argentino" (Lucero, et al;

2017), donde se realizaron los estudios estáticos de acceso a la red del PE Achiras de 50,4 MW a vincularse en 132 kV. En ese trabajo, se determinó el tipo de PE acorde a la curva de capacidad que corresponde implementar y se realizó la curva de capacidad del conjunto de generadores que forman el PE según los procedimientos de CAMMESA (CAMMESA, 2011). Se utilizó el concepto de generador equivalente (Muljadi et al, 2006), y se evaluó el acceso a la red del proyecto de generación en condiciones normales de operación a partir de simulaciones de flujos de carga en estado estacionario para diversos escenarios de carga diaria y para fluctuaciones rápidas de potencia en el PE.

En este trabajo se estudia el desempeño dinámico y las características de LVRT del PE Achiras. A los fines de validar el desempeño dinámico del PE, se analiza la respuesta de los modelos dinámicos del regulador de tensión, regulador de velocidad y alternador del PE de acuerdo a la simulación de ensayos de respuesta de ambos controladores ante cambios en sus valores de consigna. Luego, se obtiene de la curva de inmunidad de tensión LVRT del PE según simulaciones dinámicas de diferentes tipos de fallas y tiempos de despeje de las mismas en la red de acceso (asociados a las protecciones existentes en el equipamiento de la red de potencia).

## **Metodología**

El proyecto del PE Achiras consta de 12 aerogeneradores de 4,2 MW cada uno de tipo 3 (generador asincrónico doblemente alimentado -DFIG-); totalizando una potencia nominal de 50,4 MW. El PE se vinculará en 132 kV a la actual línea de alta tensión (LAT) de interconexión provincial Río Cuarto (provincia de Córdoba) - Villa Mercedes (provincia de San Luis).

Para la evaluación de su acceso a la red se aplicó el código de red nacional vigente para la vinculación de PE a las redes de transmisión y transporte del sistema argentino de interconexión (SADI).

A continuación, se presenta la secuencia de actividades implementadas para el análisis de acceso a la red del PE Achiras en esta etapa del proyecto:

- Modelado detallado de la configuración del PE en PSS-E®, contemplando a su vez los modelos dinámicos de las demás máquinas generadoras de la zona.
- Adopción de los niveles de calidad del producto técnico exigidos en el Anexo 27 de los procedimientos de CAMMESA (CAMMESA, 2012).
- Determinación y parametrización del modelo dinámico para el generador equivalente calculado.
- Simulación de diferentes cambios de condiciones de funcionamiento la red para obtener el comportamiento dinámico del PE.
- Obtención de la curva de inmunidad de tensión "LVRT" del PE según simulaciones dinámicas de diferentes tipos de fallas y tiempos de despeje acordes al nivel de tensión. Verificación del cumplimiento de la curva límite tensión-tiempo exigida por CAMMESA en Procedimiento Técnico N°4 Anexo J (CAMMESA, 2017).

### *Descripción del PE Achiras y las redes de sub-transmisión modeladas*

El PE Achiras ha sido adjudicado en la licitación de Renovar 1.5 impulsada por la Secretaría de Energía de la Nación. El mismo se instalará 7 km al suroeste de la localidad de Achiras.

El subsistema fue modelado con el software de simulación de sistemas eléctricos de potencia PSS-E®, versión 34 universitaria (ver figura 1). Fueron utilizadas sus herramientas de cálculo de flujo de potencia en estado estable y simulación de modelos dinámicos.

En la figura 1 se indican los componentes del subsistema donde se simularon las fallas que permiten analizar la respuesta dinámica de la red en estudio con el acceso del PE Achiras.

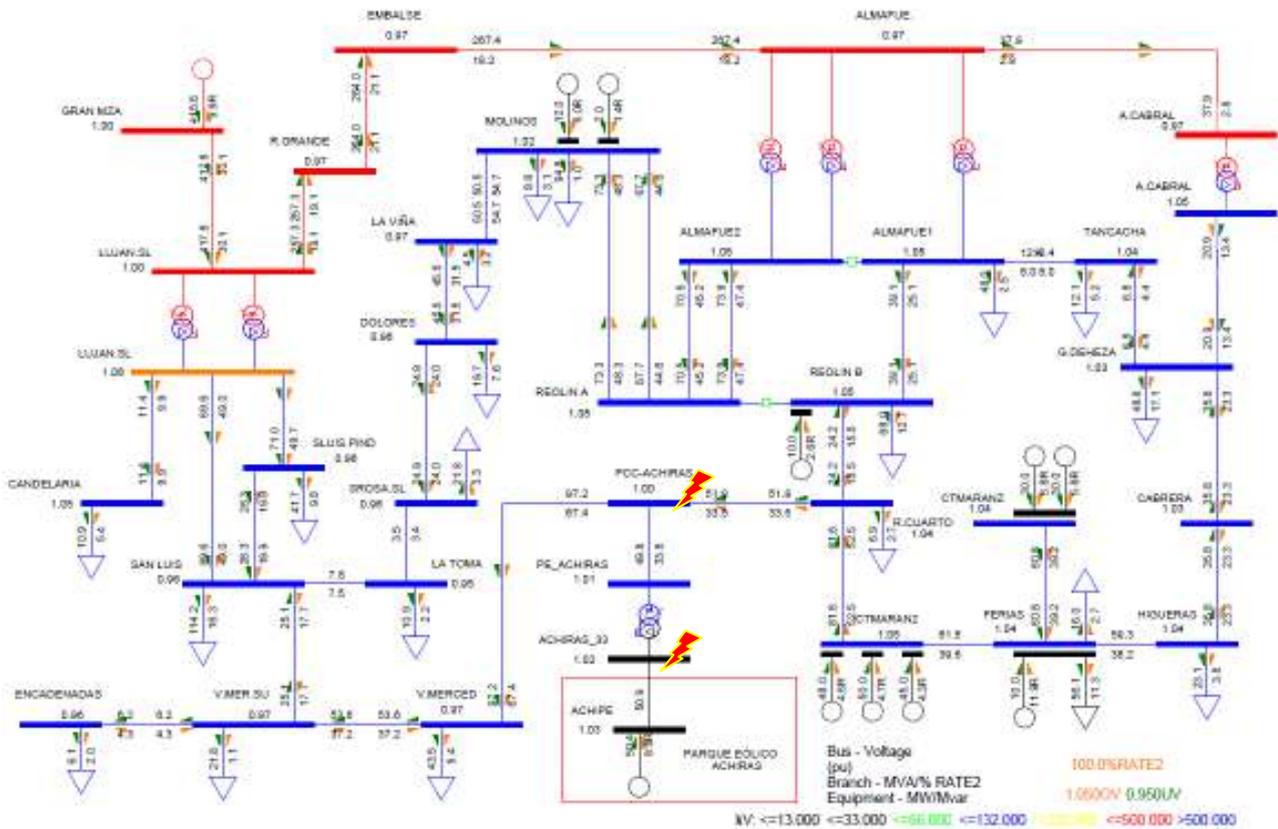


Fig. 1. Modelo del corredor radial de 500/132 kV. Escenario pico de verano 2015/2016.

*Consideraciones generales adoptadas para las simulaciones*

Para las simulaciones de estabilidad transitoria se consideran los modelos dinámicos de todos los generadores y funcionando dentro de su curva de capacidad en modo control de tensión. Para las fallas testigos se realiza un cortocircuito en barra a 1 ms de simulación, que perdura 150 ms para fallas en 132 kV o 300 ms en el nivel de 33 kV, pasado ese tiempo se supone la falla autodespejada y se restablece el servicio. En todo momento se analizan las diferentes variables del sistema y se observan su variación en el tiempo.

*Parametrización de los modelos dinámicos*

Para el modelo del generador equivalente se utilizó el modelo de librería de PSS-E® denominado WT3G1, para un generador de inducción doblemente alimentado, un control eléctrico WT3E1, modelo del sistema mecánico WT3T1 y control de Pitch (ángulo de paso de las palas del rotor) WT3P1. La parametrización de estos modelos se encuentra en las figuras 2 a 4.

WT3G1		
Doubly-Fed Induction Generator (Type 3)		
ICONS	Description	Value
M	Number of lumped wind turbines	12

WT3G1		
Doubly-Fed Induction Generator (Type 3)		
CONs	Description	Value
J	Xeq, Equivalent reactance for current injection (pu)	0.1
J+1	K <sub>pll1</sub> , PLL first integrator gain	30
J+2	K <sub>pll2</sub> , PLL second integrator gain	0
J+3	P <sub>limax</sub> , PLL maximum limit	0.1
J+4	P <sub>rated</sub> , Turbine MW rating	4.2

Fig. 2: Parametrización WT3G1

WT3E1 Electrical control for Type 3 wind generator			WT3E1 Electrical control for Type 3 wind generator		
CONs	Description	Value	CONs	Description	Value
J	Tfv, Filter time constant in voltage regulator (sec)	0.15	J+15	T_Power, Power filter time constant	5.0
J+1	Kpv, Proportional gain in voltage regulator (pu)	18.0	J+16	Kqi, MVAR/Voltage gain	0.05
J+2	KIV, Integrator gain in voltage regulator (pu)	5.0	J+17	VMINCL, Min voltage limit	0.9
J+3	Xc, Line drop compensation reactance (pu)	0	J+18	VMAXCL, Max voltage limit	1.2
J+4	TFP, Filter time constant in torque regulator	0.05	J+19	Kqv, Voltage/MVAR gain	40.0
J+5	Kpp, Proportional gain in torque regulator (pu)	3.0	J+20	XIQmin	-0.5
J+6	KIP, Integrator gain in torque regulator (pu)	0.6	J+21	XIQmax	0.4
J+7	PMX, Max limit in torque regulator (pu)	1.12	J+22	Tv, Lag time constant in WindVar controller	0.05
J+8	PMN, Min limit in torque regulator (pu)	0.1	J+23	Tp, Pelec filter in fast PF controller	0.05
J+9	GMX, Max limit in voltage regulator (pu)	0.296	J+24	Fn, A portion of online wind turbines	1.0
J+10	GMN, Min limit in voltage regulator (pu)	-0.436	J+25	$\omega$ Pmin, Shaft speed at Pmin (pu)	0.69
J+11	IPMAX, Max active current limit	1.1	J+26	$\omega$ P20, Shaft speed at 20% rated power (pu)	0.78
J+12	TRV, Voltage sensor time constant	0.05	J+27	$\omega$ P40, Shaft speed at 40% rated power (pu)	0.98
J+13	RPMX, Max power order derivative	0.45	J+28	$\omega$ P60, Shaft speed at 60% rated power (pu)	1.12
J+14	RPMN, Min power order derivative	-0.45	J+29	Pmin, Minimum power for operating at $\omega$ P100 speed (pu)	0.74
			J+30	$\omega$ P100, Shaft speed at 100% rated power (pu)	1.2

Fig. 3: Parametrización WT3E1

WT3T1 Mechanical system model for Type 3 wind generator			WT3P1 Pitch control model for Type 3 wind generator		
CONs	Description	Value	CONs	Description	Value
J	VW, Initial wind, pu of rated wind speed	1.25	J	Tp, Blade response time constant	0.3
J+1	H, Total inertia constant, sec	4.95	J+1	Kpp, Proportional gain of PI regulator (pu)	150
J+2	DAMP, Machine damping factor, pu P/pu speed	0	J+2	Kip, Integrator gain of PI regulator (pu)	25
J+3	Kaero, Aerodynamic gain factor	0.007	J+3	Kpc, Proportional gain of the compensator (pu)	3
J+4	Theta2, Blade pitch at twice rated wind speed, deg.	21.98	J+4	Kic, Integrator gain of the compensator (pu)	30
J+5	Hfrac, Turbine inertia fraction (Hturb/H)	0.8747	J+5	TetaMin, Lower pitch angle limit (degrees)	0
J+6	Freq1, First shaft torsional resonant frequency, Hz	1.8	J+6	TetaMax, Upper pitch angle limit (degrees)	27
J+7	Dshaft, Shaft damping factor (pu)	1.5	J+7	RTetaMax, Upper pitch angle rate limit (degrees/sec)	10
			J+8	PMX, Power reference, pu on MBASE	1

Fig. 4: Parametrización WT3T1 y WT3P1

## Resultados y discusión

### Verificación de la estabilidad de los modelos dinámicos

Se realizaron las verificaciones del comportamiento dinámico de los modelos propuestos para el PE. En la figura 5 se presenta el comportamiento del parque ante un escalón en la referencia de tensión del mismo y se observa una respuesta estable y amortiguada en la tensión de salida de la máquina, alcanzando la nueva referencia en un tiempo prudencial con un acorde acompañamiento de la potencia reactiva. A su vez, se verifica que la potencia activa permanece constante ante esta variación.

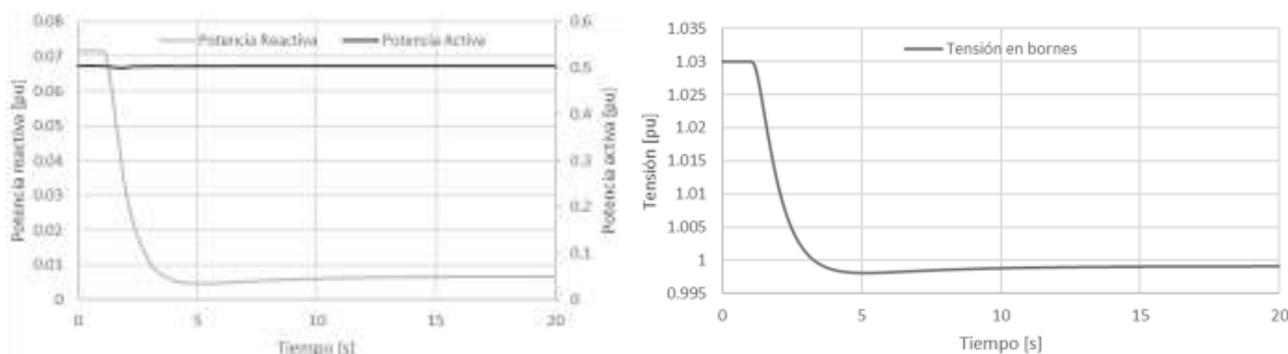


Fig. 5: Escalón de tensión 3% negativo. a) Variación de potencias. b) Variación de la tensión

Ante un cambio en la potencia activa entregada por el parque (figura 6), la potencia reactiva inyectada se modifica para mantener la tensión constante, y luego de algunas oscilaciones alcanza un nuevo valor estable.

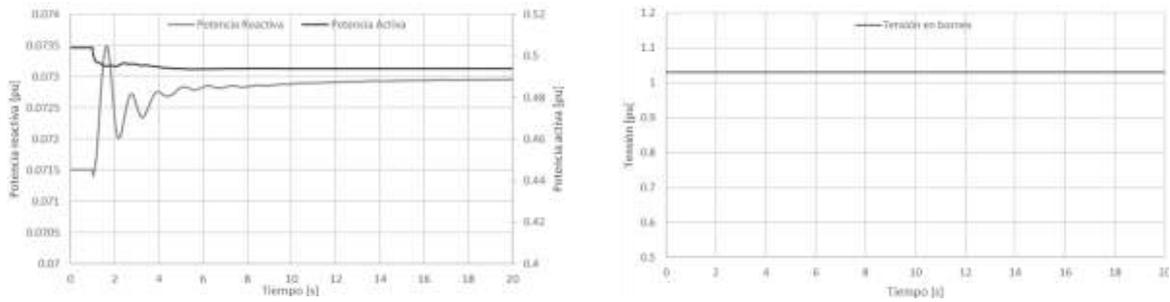


Fig. 6: Escalón de potencia 2% negativo. a) Variación de potencias. b) Variación de la tensión

En la simulación de la conexión y posterior desconexión de un banco de capacitores de 3 MVar en una barra cercana al PE (en este caso la barra de Villa María), se puede apreciar en la figura 7, cómo el modo control de tensión del PE obliga a reducir la potencia reactiva inyectada por el mismo con el objetivo de compensar el aporte de potencia reactiva de los capacitores y con ello mantener la tensión constante. Luego, ante una maniobra de desconexión del banco de capacitores, el PE actúa de forma inversa. En ambas operaciones de conmutación del banco de capacitores, la potencia activa del PE no presenta variación alguna.

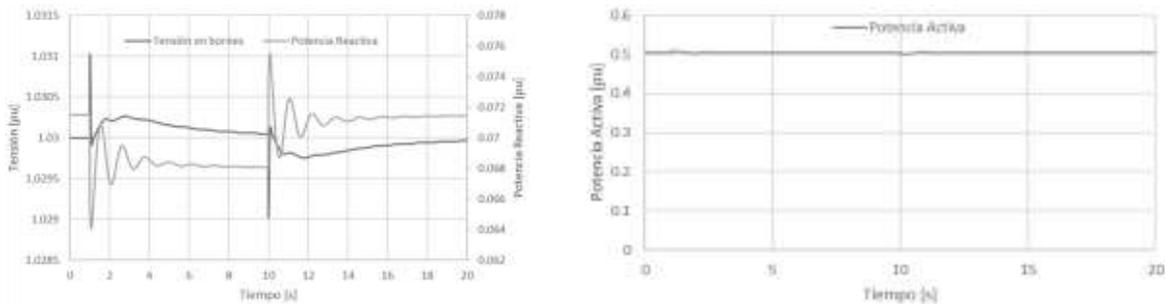


Fig. 7: Conexión de un banco de capacitores. a) Variación de potencia reactiva y tensión. b) Variación de potencia activa.

Para verificar el comportamiento integral del modelo de la red bajo estudio se observa cómo se modifica la potencia activa y los ángulos rotóricos ante la desconexión del PE. Como se aprecia en la figura 8 luego de un tiempo donde se presentan algunas oscilaciones todas las máquinas vuelven a una condición estable.

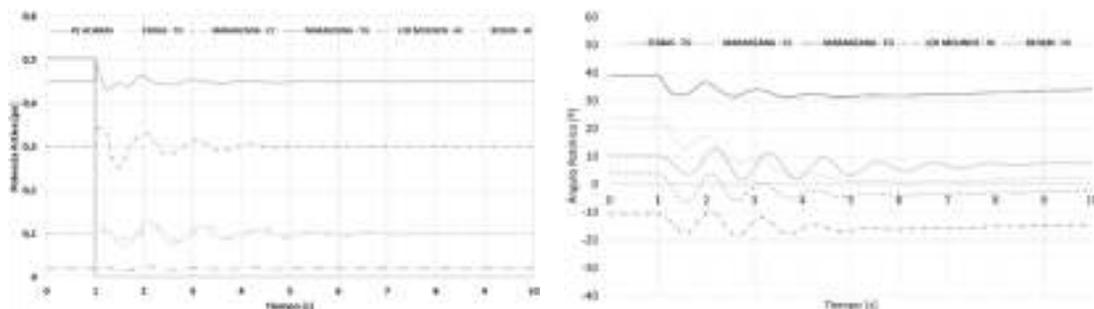


Fig. 8: Desconexión del PE. a) Variación de potencia. b) Variación de ángulos rotóricos

#### Obtención de la curva de inmunidad de tensión (LVRT)

Los resultados de las fallas planteadas sobre la red se observan en la figura 9, dado que la tensión medida en el punto de conexión en todo momento se encuentra dentro de la zona

admisible (curva azul), podemos decir que el parque se mantiene en servicio ante fallas en la red correctamente despejadas por sus protecciones.

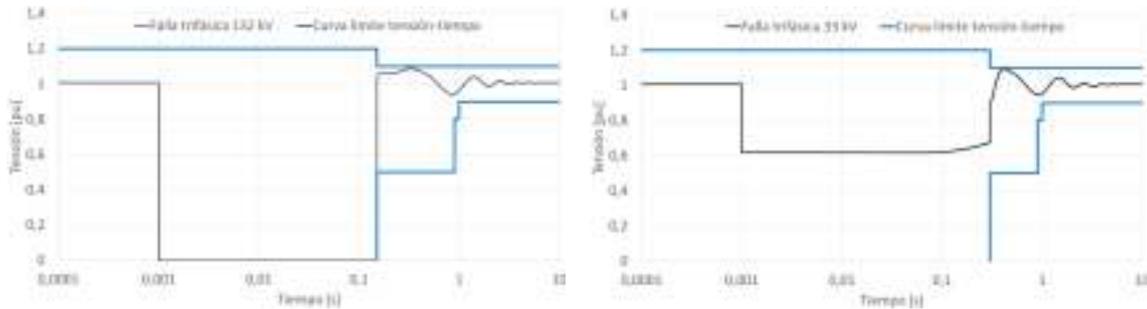


Fig. 9: Curvas de respuesta en tensión del PE. a) Falla trifásica en barra de 132 kV. b) Falla trifásica en barra de 33 kV.

## Conclusión

El desarrollo del presente estudio permite corroborar que los modelos dinámicos propuestos para el PE Achiras son acordes a las normativas impuestas por CAMMESA y el parque puede ser puesto en servicio sin generar perturbaciones a la red.

Se determinó que el comportamiento dinámico del parque ante variaciones en sus valores de referencia es oscilatorio amortiguado, lográndose la estabilidad en un tiempo prudencial. El modo de control de tensión en barra presenta el comportamiento esperado ya que varía la potencia reactiva entregada por la máquina para mantener el valor de tensión de referencia y esto se da sin modificar la potencia activa entregada.

## Referencias

- CAMMESA (2012), Anexo 27: Reglamentación aplicable a la prestación adicional de la función técnica de transporte de energía eléctrica firme en el Mercado Eléctrico Mayorista.
- CAMMESA (2011), Anexo 40: Generación Eólica, Argentina.
- CAMMESA (2017), Procedimiento Técnico N°4, Anexo J: Generación fotovoltaica – Requisitos de conexión.
- Garin, I.; Munduate, A.; Alepuz, S. y Bordonau, J. (2007). 'Low and Medium Voltage Wind Energy Conversion Systems: Generator Overview and Grid Connection Requirements,' CIRED 2007, Vienna.
- Kang, J.; Liang, H.; Li, G.; Zhou, M.; Yang, H. (2010). Research on grid connection of wind farm based on VSC-HVDC, Power System Technology (POWERCON), 2010 International Conference, pp,1,6, Hangzhou, China,
- Lucero, C. A.; Ledesma, N.; Barlasina, M. y Rochetta, Y. (2017). Acceso a la Red del Parque Eólico Achiras. Estudio de Aplicación del Código de Red Argentino. Jóvenes Investigadores Tecnológicos 2017 (JIT 2017); Facultad Regional Reconquista, UTN, Reconquista, Argentina.
- Malia, S.; James, S.; Tank, I. (2013). Improving low voltage ride-through capabilities for grid connected wind turbine generator. 4th International Conference on Advances in Energy Research 2013, ICAER.
- Muljadi, E.; Butterfield, C.P.; Ellis, A. y Mechenbier, J. (2006), Equivalencing the Collector System of a Large Wind Power Plant, IEEE Power Engineering Society General Meeting, Montreal, Quebec, Canada.
- Vigueras Rodríguez, A. (2008), Modelado de la fluctuación de potencia en grandes parques eólicos marítimos, Tesis de Doctor Europeo, Universidad Politécnica de Cartagena, España.

# ESTUDIO DEL FENÓMENO TRANSITORIO ANTE HUECOS DE TENSIÓN DE UN GENERADOR EÓLICO FUNCIONANDO EN UNA RED DE BAJA POTENCIA DE CORTOCIRCUITO

Marcos M. CEA<sup>1</sup>, Juan MONTI<sup>1</sup>, Carlos A. LUCERO<sup>1</sup>, Matías BARLASINA<sup>1</sup>, Ulises MANASSERO<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Alumno, Grupo CySE/Departamento Eléctrica, FR Santa Fe, UTN

<sup>2</sup>Graduado Grupo CySE/Departamento Eléctrica, FR Santa Fe, UTN

E-mail: marcos.cea@live.com.ar, juanmontif@gmail.com, ariellucero05@gmail.com, matiasbarlasina@gmail.com, umanassero@frsf.utn.edu.ar

## Resumen

El aumento significativo del porcentaje de inserción de parques eólicos en los sistemas interconectados de potencia, implican un desplazamiento de generación térmica convencional, pero como contrapartida presentan nuevos desafíos en su operación en régimen estático, así como también en su respuesta dinámica frente a contingencias que pueden comprometer la estabilidad transitoria de la red. Por tales motivos, los requerimientos de los códigos de red resultan más exigentes respecto a su desempeño en régimen transitorio, pues obligan a que la turbina eólica permanezca conectada a la red ante fallas; dando soporte de potencia reactiva. Tales requerimientos son conocidos como capacidad de "Low Voltage Ride-Through" (LVRT).

En el presente trabajo se evalúa y compara la performance de comportamiento de LVRT en una red de baja potencia de cortocircuito de las tecnologías actualmente utilizadas en los generadores eólicos: full converter (principalmente con generador sincrónico conectado a la red a través de un convertidor de potencia) y parcial converter (generador asincrónico doblemente alimentado, también llamado DFIG por sus siglas en inglés). Además, se comparan con otras tecnologías utilizadas en la generación distribuida como ser parques fotovoltaicos y motogeneradores.

## 1. Introducción

Dado el impulso que está tomando en Argentina la implementación de generación mediante el uso de fuentes de energía renovables, la relación entre estas fuentes y las convencionales se verá incrementada en el sistema de transmisión y distribución de energía, llevando a que las exigencias al momento de conexión de estas instalaciones a la red sean más estrictas [1].

Como la conversión de energía eólica es la más perfeccionada y extendida de las fuentes renovables, se ha producido un aumento significativo del porcentaje de inserción de parques eólicos (PE) en los sistemas interconectados de potencia, implicando un desplazamiento de generación térmica convencional, pero como contrapartida se presentan nuevos inconvenientes tanto en su operación en régimen estático, como en su desempeño dinámico ante escenarios de contingencias transitorias.

En condiciones transitorias, la desconexión simultánea de un porcentaje significativo de generación eólica puede ocasionar un efecto severo en la estabilidad transitoria del sistema de potencia. Con ello, debido al creciente aumento de la participación de los PE en las redes de potencia, los requerimientos de los códigos de red resulten más exigentes respecto a su desempeño en régimen transitorio, pues obligan a que la turbina eólica permanezca conectada a la red ante fallas; dando soporte de potencia reactiva durante los huecos de tensión acontecidos en la red durante eventos anómalos tales como cortocircuitos o conexión de grandes demandas. Tales requerimientos son conocidos como capacidad de "Low Voltage Ride-Through" (LVRT).

En este trabajo se evalúa el desempeño dinámico de diferentes tecnologías de generación distribuida (GD) vinculadas a una red estándar de media tensión de baja potencia de cortocircuito. En particular, se lleva a cabo un análisis comparativo de la performance de comportamiento de LVRT de las tecnologías más extendidas actualmente en generadores eólicos: full converter (principalmente con generador sincrónico conectado a la red a través de un convertidor de potencia) y parcial converter (generador asincrónico doblemente alimentado, también llamado

DFIG). Además, se comparan con otras tecnologías utilizadas en la generación distribuida como ser parques fotovoltaicos y motogeneradores diesel.

## 2. Metodología

### 2.1. Descripción de la red

El alimentador Torres de 33 kV objeto del estudio se encuentra en la provincia de Santa Fe. El mismo está conectado a la red de transmisión de 132 kV a través de uno de los tres transformadores de la ET Fírmata 132/34,5/13,86 kV conexión Yyd (ver Fig 1) Fig 1. El desarrollo de su troncal posee una longitud de aproximadamente 65 km y en su camino abastece las localidades de Miguel Torres, Chovet, Melincué, Alcorta, Carreras y Máximo Paz. Una característica desfavorable del corredor es su baja potencia de cortocircuito y los bajos niveles de tensión operativos en los nodos extremos de carga -próximos a 0,9 pu-.

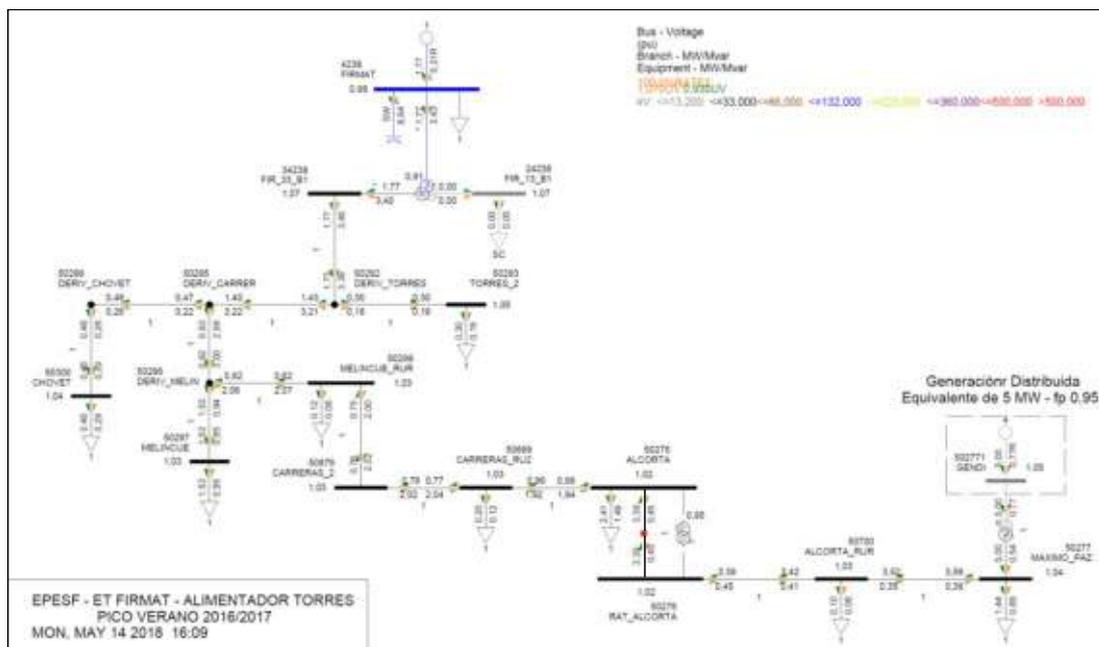


Fig 1. Esquema unifilar del alimentador de 33 kV Torres.

Es importante destacar que, para escenarios de pico de demanda, el corredor Fírmata - Máximo Paz presenta niveles de carga del orden a 8,1 MVA.

Este subsistema de estudio en 33 kV fue modelado con el software de simulación de sistemas eléctricos de potencia PSSE, en su versión 34 universitaria. Se utilizaron las herramientas de flujos de potencia en estado estable y de simulaciones dinámicas.

### 2.2. Hipótesis adoptadas en las simulaciones

Para el modelado y simulación del subsistema se adoptaron los siguientes criterios [2]:

- Modelos de demandas de potencia constante y factor de potencia 0,85 inductivo.
- Demandas del subsistema correspondientes a escenarios de pico y valle.
- Líneas modeladas con su modelo en pi equivalente a una línea de longitud media.
- Rango de tensiones de operación normal del subsistema entre 0,93 y 1,07 pu.
- Condiciones de sobrecarga de las líneas basadas en el límite térmico y mecánico de sus conductores.
- Los reguladores bajo carga de los transformadores de potencia de la ET Fírmata se encuentran en su posición nominal, estos varían en forma automática durante las simulaciones estáticas y dinámicas.

### 2.3. Metodología

Dado que los perfiles de tensión del corredor están cerca de condiciones inadmisibles de operación, se propone introducir generación distribuida en el extremo de carga del subsistema de 33 kV (Máximo Paz). Para determinar el módulo de potencia a inyectar se realizaron sucesivas simulaciones de flujos de potencia en estado estacionario para un escenario de mínima demanda y otro de máxima, considerando que cada generador controla tensión en la barra de Máximo Paz, ver Fig 1.

Para cada una de las simulaciones, se tiene en cuenta las siguientes variables:

- a) Pérdidas joule disipadas en líneas de media tensión.
- b) Perfiles de tensión en barras de 33 kV.
- c) Cortocircuitos trifásicos y monofásicos a tierra en barras de media tensión.
- d) Estados de carga de líneas de media tensión y transformadores de potencia.
- e) Variación máxima frecuentes de potencia en el caso de generación eólica o solar.

La obtención de estos parámetros permite evaluar el impacto de la nueva generación y determinar el módulo de potencia admisible de la GD a conectar al subsistema. En el estudio se evaluaron las siguientes alternativas de tecnologías de GD a vincular al nodo extremo de carga [3]:

- a) Caso 1: térmica diesel, conformada por cuatro motogeneradores diesel de 1,75 MVA cada uno, que entregan un total de 5 MW a la red.
- b) Caso 2: planta fotovoltaica con una potencia nominal de 5 MW.
- c) Caso 3: parque eólico compuesto por cuatro aerogeneradores de inducción con doble alimentación (DFIG) de 1,5 MW cada uno.
- d) Caso 4: parque eólico compuesto por cuatro generadores sincrónicos de imán permanente conectado a la red a través de dos convertidores de CA/CC en conexión back to back (full converter).

Para cada una de las tecnologías de GD se modelaron sus respectivos sistemas de control de excitación y gobernador de velocidad.

Para evaluar el impacto en los perfiles de tensión en los distintos nodos de la red, se simulan diferentes tipos de fallas y condiciones de conexión de grandes cargas en la red y se evalúan la respuesta de LVRT de los diferentes casos planteados, para el escenario más desfavorable, es decir donde se produce la demanda máxima del subsistema.

Al momento de verificar la respuesta ante huecos de tensión de la generación propuesta, se considera que tanto la planta solar como las eólicas se deben comportar como una central térmica convencional y deben ser capaz de [4], [5], [6], [7]:

- a) Garantizar un diagrama P-Q mínimo en su punto de conexión.
- b) Controlar tensión en el punto de conexión en forma automática, limitando las fluctuaciones de tensión y asegurando calidad de regulación de tensión.
- c) La velocidad de respuesta, deberá ser la máxima posible que asegure un eficaz control de tensión en el nodo de alta tensión de conexión del parque y en un punto intermedio del transformador elevador del parque.
- d) El control conjunto de tensión deberá presentar un buen desempeño dinámico frente a perturbaciones en la red y luego del despacho automático de generación del parque.
- e) No debe provocar efectos adversos sobre el amortiguamiento de las oscilaciones electromecánicas de una frecuencia comprendida entre 0,3 y 0,7 Hz.
- f) Soportar fallas en la red y mantenerse conectada ante huecos de tensión que se ajusten a la curva mostrada en la Fig. 2. La figura representa valores de tensión por fase en el nodo de alta tensión de conexión del parque.
- g) La generación renovable debe permanecer en servicio durante fallas en la red muy próximas a su punto de conexión, despejadas en primera zona por las protecciones de línea. Con este objeto el parque debe soportar la tensión más baja (nula), medida en su nodo de conexión a la red, durante un tiempo mínimo,  $T_{falla}$ , de 300 ms para nodos de 33 kV.
- h) Soportar excursiones transitorias de la frecuencia de acuerdo con la
- i) Fig 3.

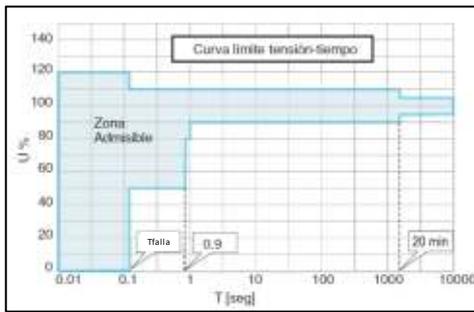


Fig. 2. Límites de tensión-tiempo ante huecos de tensión.

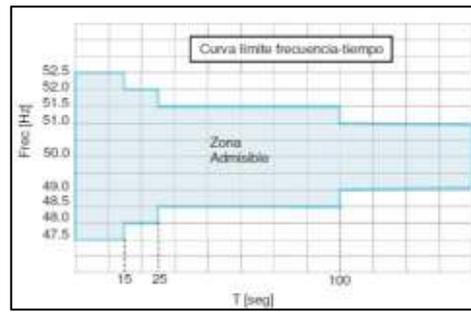


Fig. 3. Límites frecuencia-tiempo.

## 2.4. Modelos y simulaciones dinámicas

En las simulaciones dinámicas se utilizan los modelos disponibles en la biblioteca de PSSE. El Caso 1 se modela como un generador diesel convencional, para lo cual se utilizan los modelos GENSA1, DEGOV1, EXAC4. El Caso 2 correspondiente a una planta solar se representa a través de los modelos PVGU1, PVEU1, PANEL1, IRRADU1, configurando el generador equivalente para que entregue u absorba potencia reactiva de la red con un factor de potencia de 0,95. Para los Casos 3 y 4 los generadores equivalentes se configuran de igual manera que el parque solar. En el Caso 3 se utilizan los modelos WT3G1, WT3E1, WT3T1 y WT3P1, correspondientes a un generador eólico tipo 3. Finalmente, para el Caso 4 se usan los modelos WT4G1 y WT3E1, los cuales representan un generador eólico tipo 4 [8].

Para evaluar el rendimiento y comportamiento de los distintos casos planteados, se efectúan fallas monofásicas y trifásicas a lo largo de todo el corredor radial, desde el nodo fuente ubicado en la ET Firmat hasta el nodo extremo de carga Máximo Paz. Se adopta un tiempo de apertura de la fase en falla de 100 ms y un recierre monofásico con tiempo muerto de 400 ms. Y en los defectos trifásicos el tiempo de falla adoptado es de 150 ms.

La secuencia de eventos para fallas monofásicas es la siguiente:

1)  $T = 0.00$  seg inicio de la simulación. 2)  $T = 2,00$  seg aplicación falla monofásica. 3)  $T = 2,10$  seg apertura de la fase en falla. 4)  $T = 2,50$  seg recierre exitoso con despeje de falla. 5)  $T = 10,00$  seg fin de la simulación.

La secuencia de eventos para fallas trifásicas es la siguiente:

1)  $T = 0.00$  seg inicio de la simulación. 2)  $T = 2,00$  seg aplicación falla trifásica. 3)  $T = 2,15$ seg apertura de la línea en falla y despeje de falla. 4)  $T = 10,00$  seg fin de la simulación.

En todos los casos, los generadores entregan a la red 5 MW, valor que se estima mediante las simulaciones en régimen estático.

## 3. Resultados

Si bien las fallas monofásicas y trifásicas se simulan en todo el corredor, solo se presentan los resultados de los cortocircuitos trifásicos en el tramo de línea Máximo Paz-Alcorta Rural, por ser los más severos.

Exceptuando el caso de la generación convencional, en los otros casos una vez despejada la falla, la tensión en los nodos más cercanos al punto donde se produce la contingencia, vuelve a restablecerse a su valor de pre-falla en aproximadamente 100 ms, lo cual indica que tanto la planta solar como las plantas eólicas aportan reactivo a la falla, ayudando al resto de la red a mantener los niveles de tensión, ver Fig 9, Fig 10 y Fig 11.

La generación renovable como la planta solar y el parque eólico compuesto por PMSG, no participan en la estabilidad angular ya que están desacoplados de la red por medio de full converters.

En la Fig 6, se ve como el generador eólico doblemente alimentado (tipo 3) tarda en recuperar el sincronismo y reestablecer la potencia entregada a la red. Esto se puede deber a que baja la inducción del generador al caer la tensión en bornes de este, reduciéndose el torque y por lo tanto la potencia activa entregada al sistema.

En la Fig 4 y Fig 8 se observa el tiempo que le lleva a la generación convencional retomar el sincronismo y mantener la tensión en los nodos cercanos a la falla, esto se debe a la baja inercia de los generadores diesel [9].

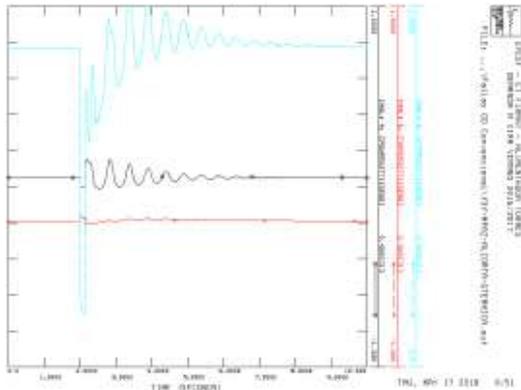


Fig 4. Caso 1 - Falla trifásica con generador convencional conectado a la red. P (líneas con cuadrados), Q (líneas con triángulos), tensión en bornes del generador (líneas con rombos).

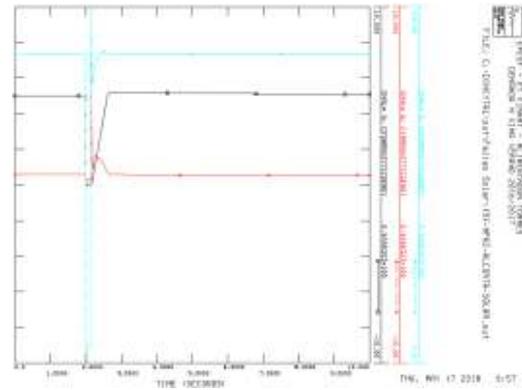


Fig 5. Caso 2 -Falla trifásica con planta solar conectada a la red. P (líneas con cuadrados), Q (líneas con triángulos), tensión en bornes del generador (líneas con rombos).

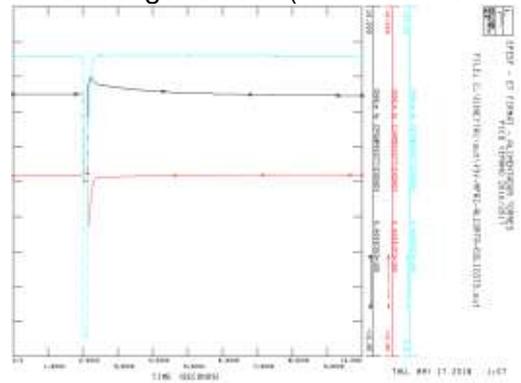


Fig 6. Caso 3-Falla trifásica con PE tipo 3 conectada a la red. P (líneas con cuadrados), Q (líneas con triángulos), tensión en bornes del generador (líneas con rombos).

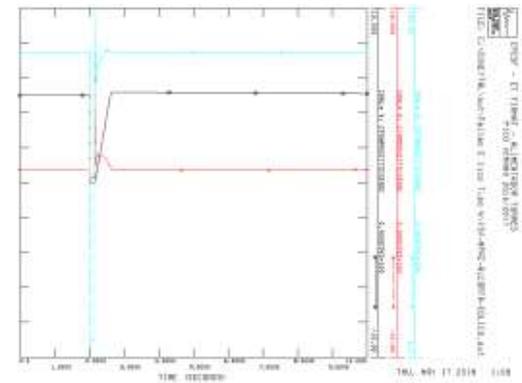


Fig 7. Caso 4-Falla trifásica con PE tipo 4 conectada a la red. P (líneas con cuadrados), Q (líneas con triángulos), tensión en bornes del generador (líneas con rombos).

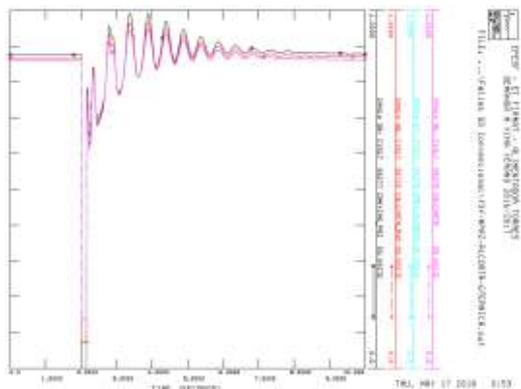


Fig 8. Caso 1-Falla trifásica con generador convencional conectado a la red. Tensiones en barras de 33 kV aledañas al generador.

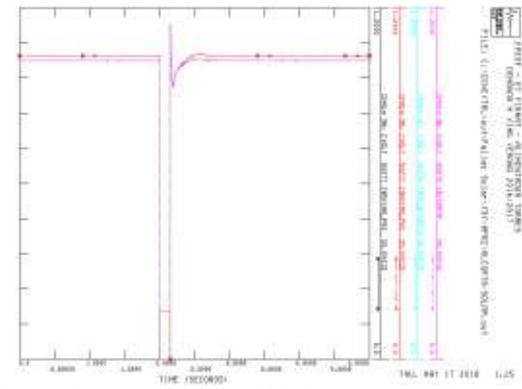


Fig 9. Caso 2-Falla trifásica con planta solar conectado a la red. Tensiones en barras de 33 kV aledañas al generador.

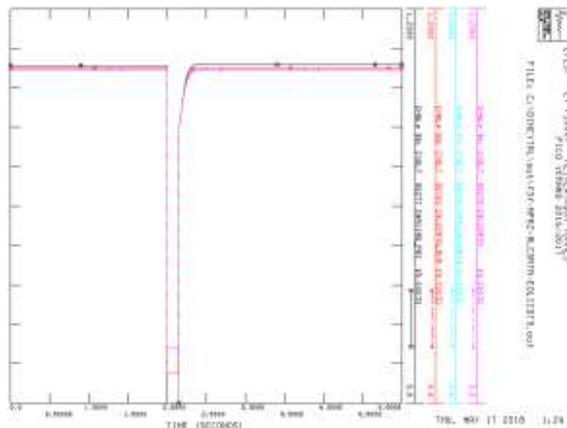


Fig 10. Caso 3-Falla trifásica con planta eólica tipo 3 conectada a la red. Tensiones en barras de 33 kV aledañas al generador.

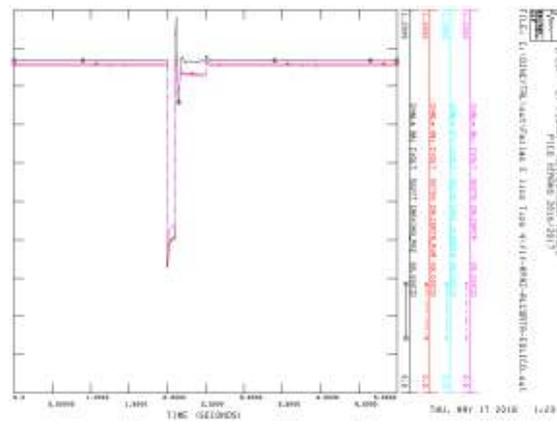


Fig 11. Caso 4-Falla trifásica con planta eólica tipo 4 conectada a la red. Tensiones en barras de 33 kV aledañas al generador.

#### 4. Conclusiones

Para el estudio se consideraron diferentes tipos de tecnologías aplicables a la GD, verificándose que ante las distintas perturbaciones analizadas si bien todas responden en forma distinta, cumplen con las exigencias de LVRT.

En el caso de la planta solar y el generador eólico con PMSG (tipo 4), las respuestas obtenidas en las simulaciones muestran que tienen cierta ventaja en comparación con los otros casos cuando la instalación está sujeta a un cortocircuito severo. Ambos generadores son capaces de entregar potencia reactiva a la instalación y, como están totalmente desacoplados de la red, no pierden sincronismo con el sistema. De esta forma se acentúa la ventaja que se tiene al utilizar la tecnología full converter ante los cada vez más estrictos requerimientos de LVRT.

#### 5. Bibliografía

- [1] D. Raca.(2010). Practical Implications of Low Voltage Ride Through Requirements on Wind turbine; Power Conversion, Electronics, Vol. 14, N° 2.
- [2] E. Sangoi, M. Cea. (2014). Prioridad de instalación de proyectos de generación distribuida en un corredor radial según criterio de estabilidad de tensión; Jornadas de Investigadores Tecnológicos.
- [3] E. Sangoi, M. Cea (2014). Selección del emplazamiento para instalación de generación distribuida en un corredor radial de 132 kV. Evaluación según desarrollo de estudios eléctricos en régimen estacionario; Jornadas de Investigadores Tecnológicos.
- [4] L. Aromataris, M. Galetto (2009). Estudios eléctricos para la conexión de plantas eólicas al SADI; Décimo tercer encuentro regional iberoamericano de CIGRÉ.
- [5] CAMMESA. (2012). PT N° 4: "Ingreso de nuevos grandes usuarios mayores, distribuidores, generadores, autogeneradores y cogeneradores al MEM".
- [6] CAMMESA. (2012). Anexo 39: "Generación eólica".
- [7] CAMMESA. (2015). Anexo J: "Generación fotovoltaica – Requisitos de conexión".
- [8] Librería de PSSE-32.1. (2014).Program Application Guide: Volume II.
- [9] S. Barbero, M, Beroqui, M. Barbieri, P. Arnera (2015). Wind power integration on interconnected or isolated upstream facilities; XIV International Workshop on Large-Scale Integration of Wind Power into Power Systems as well as on Transmission Networks for Offshore Wind Plants.

# **SOLUCIÓN A ATASCO EN SISTEMA DE TRAZABILIDAD DE INYECCIÓN DE PLÁSTICOS MEDIANTE EL USO DE TRIZ Y SUS HERRAMIENTAS**

**Autor: Christian N. Etchart<sup>(1)</sup>**  
**Tutores: Lic. Carlos E. Requena<sup>(2)</sup>**  
**Ing. Juan C. Nishiyama<sup>(3)</sup>**

- (1) Estudiante de la carrera de Ingeniería Mecánica. Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional General Pacheco. H. Irigoyen 288 – Gral. Pacheco, Buenos Aires, Argentina. christian.etchart@outlook.com.ar
- (2) Profesor titular de la cátedra “Metodologías para el desarrollo de la creatividad en ingeniería” de la carrera de Ingeniería Mecánica. Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional General Pacheco.
- (3) Jefe de Trabajos Prácticos de la cátedra “Metodologías para el desarrollo de la creatividad en ingeniería” de la carrera de Ingeniería Mecánica. Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional General Pacheco.

## **Resumen**

Muchas veces existe la imposibilidad de rotar los fechadores utilizados en la trazabilidad de productos fabricados mediante inyección de material plásticos. Estos dispositivos, van insertos en la cara de contacto con el polímero en el molde del inyector, y mediante su movimiento de rotación permite cambiar los datos de fechado. El problema suele surgir luego de una parada de producción, por ejemplo, los fines de semana, el resto de material plástico que quedó entre el buje y el eje del fechador se enfría produciendo una adherencia que impide su movimiento funcional.

Se elige para hallar soluciones conceptuales a este problema la aplicación de la Metodología TRIZ, la cual permite hallar soluciones a problemas en forma estructurada y no al azar como prueba y error, Brainstorming, etc. Primero, se hace una abstracción del problema. Seguidamente, se plantea el modelo de solución a ese problema abstracto y, luego se aplica alguna de las soluciones halladas en el espacio de soluciones conceptuales.

El problema es modelizado en lo que se denomina, en jerga TRIZ, Modelización Sustancia-Campo. El Modelo de Solución a esto es conocido como los “76 Estándares”, los cuales, señalan para cada modelo Su-campo el camino de pensamiento a seguir para alcanzar ese espacio de soluciones.

## **Breves comentarios de la Metodología TRIZ**

TRIZ es un método sistemático para incrementar la creatividad tecnológica, basada en el estudio de los modelos de evolución de patentes y en otros tipos de soluciones a problemas. Las personas que resuelven problemas de forma intuitiva encontrarán que el método TRIZ les proporcionará ideas adicionales. Las personas que resuelven problemas de forma estructurada encontrarán que el método TRIZ les proporcionará estructuras adicionales. En UTN FRGP (Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional General Pacheco), se enseña TRIZ en la carrera de ingeniería mecánica en la materia denominada “Metodologías para el desarrollo de la creatividad en ingeniería” que se cursa en el tercer año como materia electiva. [1]

TRIZ fue creado a fines de los años 40 del siglo pasado por el ingeniero ruso Genrich Altshuller. Según diferentes versiones, Altshuller con un equipo de colaboradores, “tamizó” aproximadamente 1.500.000 patentes, quedándose con 200.000 de ellas tratando de buscar solo los problemas inventivos y la forma en que fueron resueltos. De estas solo 40.000 patentes fueron consideradas inventivas. El resto son solo mejoras rutinarias.

Además, Altshuller, describió que cuando se soluciona un problema, en general, surge algún inconveniente como corolario. A esta situación, muy común, la llamó contradicción técnica, como ejemplo si deseamos reducir el costo de una pieza metálica estampada, lo mejoramos reduciendo

el espesor de la chapa, pero como resultado se resiente su resistencia mecánica. Para alcanzar una solución ideal se deben eliminar las soluciones por compromiso o trade off, es decir eliminar totalmente las causas venciendo la contradicción.

Del estudio realizado por Altshuller y su equipo, surgió que, los parámetros en juego en todas las soluciones de los problemas que solucionaban con las patentes eran tan solo 39. Estos se conocen como Los 39 Parámetros de Ingeniería. También extrajo nada más que 40 principios de invención de todas esas patentes. Esta lista se conoce como Los 40 Principios de Inventiva [2]. De estos parámetros y principios surge una herramienta poderosa, que resuelve las contradicciones, la cual se llama Matriz de Contradicciones. Pero no nos detendremos en esta, sino en otra de las herramientas llamada el método de “Sustancia-campo”.

Para comprender el método es necesario primero familiarizarse con los conceptos “sustancia” y “campo” según el glosario de TRIZ [3]. “Sustancia” es todo aquello que tiene una estructura, fija o variable y que puede ser detectada con los sentidos o con instrumentos adecuados, por ejemplo: una manzana, una persona, el aire atmosférico, el agua, un clavo, el suelo, etc. Un “campo” es cualquier tipo de energía que existe en el universo y que es posible detectar con los sentidos o con instrumentos. (En el futuro se descubrirán más campo que se integrarán a TRIZ).

Los campos más empleados en TRIZ son:

- Campo Mecánico: ME.
- Campo Acústico: A.
- Campo Eléctrico: E.
- Campo Electromagnético: EM.
- Campo Térmico: T.
- Campo Gravitacional: G.
- Campo de sustancia ferromagnética: CFe.
- Campo Óptico: O. (Normalmente relacionado a la iluminación de un objeto).
- Campo Químico: Q.

Las sustancias como los campos se vinculan mediante flechas [4], las cuales tiene la siguiente nomenclatura:

- a) Línea llena: Efecto deseado.
- b) Línea ondulada: Efecto dañino, indeseado o nulo.
- c) Línea punteada: Efecto deseado pero insuficiente.
- d) Línea ancha: Significa que el sistema ha evolucionado a otro estado.

Para hallar las soluciones de los modelos Sustancia-campo, tenemos la orientación de la lista de los 76 Estándares [5].

En resumen, aplicar esta herramienta, en particular, de TRIZ es:

1. Realizar el Análisis Sustancia-Campo es para definir el modelo del problema.
2. Comparar el modelo del problema con los modelos solución (76 soluciones estándares) hasta encontrar que entre ello se adapten.
3. Las 76 soluciones estándar indican las soluciones genéricas.
4. Obtener campos de soluciones.

## **Introducción**

La inyección de plásticos es un proceso que tiene en cuenta muchas variables, tales como temperatura de la máquina, calidad del material utilizado, porcentaje de plástico recuperado,

humedad, temperatura del agua de refrigeración, materiales de los moldes, tiempos de inyección y curado, entre otros.

Por esta razón, es necesario, cuando se efectúen grandes producciones donde las variables pueden llegar a cambiar a través del tiempo, mantener un sistema de trazabilidad para poder rápidamente detectar lotes con problemas y poder retirarlos del sistema antes que lleguen al cliente. [6]

En nuestro caso particular, una empresa productora de baldes plásticos tiene en sus moldes de inyección los siguientes cuatro fechadores: “turno”, “día”, “mes” y “año”, ver Figuras 1, 2, 3 y 4. Los fechadores son un inserto con una flecha mecanizada en su centro, el cual, rota dentro de un buje insertado a presión en el molde, el cual contiene los datos que se quieran marcar.

Para poder mantener la continuidad en la superficie del balde o la tapa, la superficie superior del fechador debe coincidir con la superficie superior de la parte del molde donde va insertado [7].



Fig. 1 Los datos pueden no ser sólo fechas, sino material, logos, etc.

Fig. 2: Unificación de fechadores

Fig. 3: Insertos intercambiables

Fig. 4: Ejemplo de esquema de cambio de inserto

Al diseñar un fechador se debe dejar un huelgo entre diámetro del inserto atascado y diámetro del inserto rotatorio, tal que permita el giro de uno dentro del otro. La Figura 5 nos muestra claramente lo antedicho.

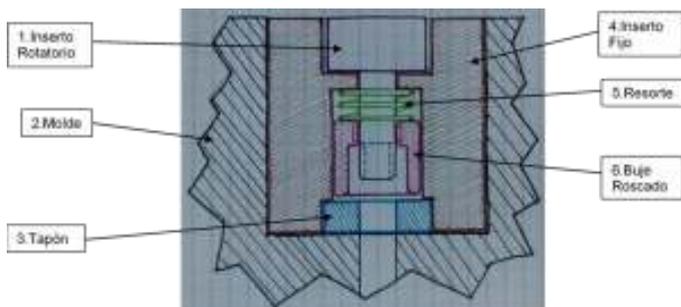


Fig. 5: Esquema de un fechador regular.

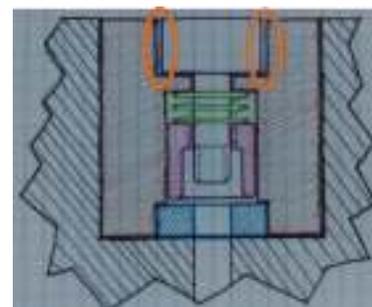


Fig. 6: Zona de acumulación de micropartículas de plástico.

## Problema

Teniendo en cuenta lo explicado previamente, dijimos que el fechador está enrasado completamente con la parte del molde que forma la figura de producto plástico y que existe una diferencia de diámetros entre el inserto fijo y el inserto rotatorio. Si bien esta diferencia de diámetros es mínima, para así evitar que el material plástico se filtre en dicho huelgo y produzca rebabas indeseadas en la superficie del balde o tapa, de a poco, con cada tiro de inyección, pequeñas micropartículas de plástico, producto de las partículas que surgen al calentar la materia prima, van ingresando en el espacio vacío (Ver Figura 6). Al ser productos de producción continua, esto no

conlleva mayores inconvenientes durante los días hábiles, dado que la producción es ininterrumpida desde el lunes por la madrugada hasta el sábado por la tarde, lo cual permite que las micropartículas permanezcan con cierta temperatura constante y el fechador gire con cada cambio de turno o fecha.

El problema se presenta cuando la producción se detiene, generalmente los fines de semana cuando los últimos operadores vuelven a sus hogares, y las máquinas quedan paradas. Las partículas de plástico fundido entrampado entre ambos insertos, fijo y rotatorio, comienzan a solidificarse y, si fueron producidos en cantidad suficiente, al iniciar el turno el lunes por la mañana, producirán una soldadura entre inserto fijo y rotatorio, el cual impedirá que el último gire dentro del primero.

### Análisis

Una primera manera de ver el problema, sería analizarlo desde el punto de vista del juego entre insertos: si el juego existe, las partículas de plástico ingresan, si no existe, las partículas no ingresan; por otro lado, si existe juego, el inserto rota, pero si no existe, el inserto no rota. Estas sentencias tienen forma de Contradicción Técnica al mostrarnos como si existe juego, varían los otros parámetros. También puede llegar a dejarse entrever, lo que en jerga TRIZ se denomina, una Contradicción Física dado que el juego tiene que existir, pero no tiene que existir. Este modelo de problema tiene su modelo de solución que aquí no exploraremos por razones de extensión. Podríamos, por ejemplo, revisar la posibilidad que el juego existente entre insertos esté, pero no esté; puede ser útil que exista al momento de rotarlo, y que no exista al inyectar el plástico.

Podemos, por otro lado, representar fácilmente el problema utilizando las herramientas de Sustancia-Campo de las cuales nos provee TRIZ, ver Figura 7:

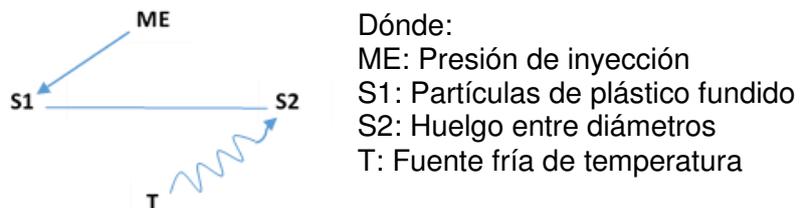


Fig. 7. Representación en modelo Sustancia-campo del problema con añadido de fuente T.

Entonces, el campo mecánico representa la presión de la inyección, que provoca que las partículas producto de la plastificación del material para la producción del balde ingresen al huelgo generado por la diferencia entre diámetros de insertos del fechador.

Según estuvimos mencionando anteriormente, el problema surge cuando las partículas se enfrían. Quizás podríamos generar un campo calorífico que mantuviera las partículas con cierta temperatura durante el fin de semana, ver Figura 8:

Examinando la lista de las 76 soluciones estándares, en la Clase 1 referida a “Mejora del sistema o pequeños cambios”, encontramos los siguientes estándares:

- 1.1.2 - *Aditivo, temporal o permanente, interno o*
- 1.1.5 - *externo, desde el ambiente o cambiando el ambiente.*

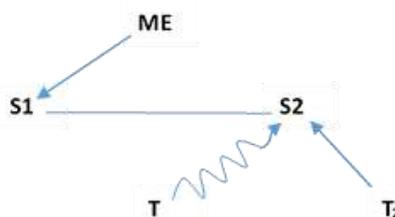


Fig. 8. Representación en modelo Sustancia-campo del problema compensando T<sub>2</sub>.

Esto supone un gasto de energía ininterrumpido, con el sistema de calefacción de la maquinaria encendido durante el fin de semana, lo cual no es viable.

Podríamos interponer algún escudo entre los diámetros, lo cual impediría que el plástico ingresara en el huelgo, ver Figura 9:

#### 1.1.8.2 - Proteger ciertas regiones del impacto total de una acción.

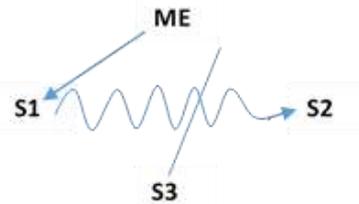


Fig. 9. Representación en modelo Sustancia-campo colocando S3 como escudo.

Esto evitaría que el inserto interior rote, lo cual hace perder todo sentido al fechador. Ahora, ¿podría ser posible que el escudo esté al momento de inyectar, pero no a la hora de rotar el fechador? Según el esquema de la figura 5, la zona accesible al huelgo entre diámetros sería la zona de formación de la figura. Esta opción es extremadamente difícil de realizar, pero no la descartemos todavía.

Si existe algo tan pequeño como partículas de plástico fundido que logran acceder al huelgo entre diámetros de insertos de un fechador, podríamos llegar a pensar que pudiera existir otra sustancia, igual o aun de menor tamaño que pudiera repelerlo (teoría de Smart Little People): por ejemplo, el aire.

Analizando el sistema completo de una máquina inyectora, la misma, entre los muchos mecanismos que contiene, cuenta con un sistema de aire comprimido el cual ayuda a la expulsión de una pieza inyectada. Sería realmente útil poder utilizar este sistema para la expulsión de las micropartículas de plástico alojadas en el huelgo entre insertos de un fechador.

### Solución

Se agrega un canal auxiliar de aire comprimido en el diseño del molde, el cual luego de cada tiro de inyección, junto con la expulsión del producto terminado, soplará por detrás del fechador, eliminando las micropartículas de plástico que pudieran haberse alojado, antes que la fuente fría pudiera endurecerlos (ver Figuras 10 y 11).

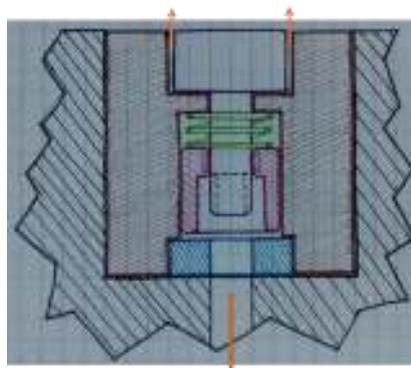
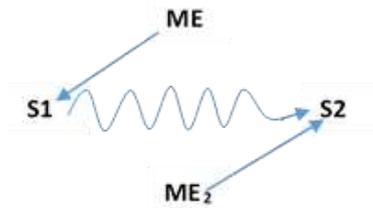


Fig. 10: Esquema de expulsión de partículas de plástico mediante aire comprimido.



Dónde:  
 ME: Presión de inyección  
 S1: Partículas de plástico  
 S2: Huelgo entre diámetros  
 ME<sub>2</sub>: Presión de expulsión

Fig. 11: Representación en modelo Sustancia-campo con la Presión de expulsión de partículas.

## Conclusiones

Se realizará una prueba con un nuevo diseño de molde que tenga en cuenta la novedad mencionada para comprobar la efectividad de la propuesta elaborada. En caso de ser positivo el cambio, permanecerá activo, se propondrá un plan de instalación del sistema de expulsión de micropartículas para los moldes ya funcionales en la empresa y se estipulará como estándar la inclusión de este para los diseños futuros.

En caso de no surtir el efecto buscado, simplemente se anulará la entrada de aire de los fechadores y se continuará con la búsqueda de la solución al inconveniente.

Si bien las soluciones halladas para el presente problema lleva un considerable tiempo y esfuerzo y quizás sin hacer uso de TRIZ se llegaría a algunas de las soluciones presentadas más rápidamente, TRIZ nos ofrece con su base de datos, surgida del amplio conocimiento de muchos tecnólogos de diferentes épocas y lugares, una estructura que nos guía en el análisis del problema, su definición y posterior búsqueda ordenada de soluciones conceptuales, seguido de la aplicación, y luego finalizando en el paso ingenieril. Es repetible, no depende de la emocionalidad. TRIZ no nos resuelve el problema dándonos una solución, sino que es el analista del problema guiado por TRIZ quién llega, no a la solución sino, al espacio de soluciones.

TRIZ permite, dependiendo también de la habilidad del analista, profundizar en el problema de modo sistemático. Así, podemos deslindarnos de la inercia psicológica, es decir de algún modo, de todo aquello que por culpa de la especialidad nos dificulta el intento de buscar soluciones distintas a nuestro campo de especialidad, experimentando pensamientos “osados”.

## Referencias

- [1] Manual de uso para la cátedra de “Metodologías para el Desarrollo de la Creatividad en Ingeniería”. Zagorodnova, Requena, Nishiyama). UTN FRGP, Gral. Pacheco, Partido de Tigre, Prov. de Buenos Aires. Argentina. Uso interno para la cátedra. 2016.
- [2] Isak Bukhman: TRIZ Technology for Innovation. Published by Cubic Creativity Company. ISBN 978-986-85635—2-0. 2012
- [3] Traducción de la versión original en idioma Ruso al idioma Español de: ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ ТРИЗ/версия 1.0. Tesaurus – terminologías del TRIZ y ARIZ (T. Zagorodnova, J. C. Nishiyama, C. Requena), <http://www.altshuller.ru/thesaur/>. 2004
- [4] TRIZ. La Metodología más Moderna para Inventar O Innovar Tecnológicamente de Manera Sistemática. Enrique Rico Arzate, Margarito Coronado Maldonado. Editor: Panorama México, 2004. ISBN-13: 978-9683813596
- [5] Savransky, Semyon D. Engineering of Creativity (Introduction to TRIZ Methodology of Inventive Problem Solving) © 2000 by CRC Press LLC.M.
- [6] Link de video de muestra de inserto intercambiable regular: <https://youtu.be/1WuzLgLw45E>
- [7] Página web sobre fechadores para inyección de plástico y su funcionamiento. <http://www.cumsa.com/>.

# PROPUESTA DE LABORATORIO DE ANÁLISIS DE ACEITES PARA MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Franco Agnelli, Martin Cervera, Esteban Tarulli  
Director Ing. Conte Daniel Aldo

Grupo de Investigación en Modelos y Sistemas para la ayuda a la Eficiencia de las organizaciones  
GIMSE  
Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Córdoba  
Maestro M. Lopez esq. Cruz Roja Argentina - Ciudad Universitaria

## Resumen<sup>1</sup>

El presente proyecto consistió en la realización de un laboratorio de análisis de aceites para mantenimiento predictivo, con vistas a desarrollar la tecnología, la organización, los conocimientos y la práctica rutinaria necesaria para el diagnóstico avanzado de maquinaria en servicio continuo, de diagnóstico a distancia y los análisis correspondientes para los casos de falla declarada. En este último caso, es importante estudiar las fallas, desde la aparición, evolución y estado de criticidad, para así proteger y extender la vida útil de los equipos. También, un laboratorio de este tipo es de utilidad para planificar una intervención y un programa de mantenimiento predictivo conveniente, preparar los medios necesarios, evitar penalizaciones en los costos, etc. -1-

**Palabras clave: análisis de aceite, tribología, mantenimiento predictivo.**

**Introducción:** El objetivo principal ha sido proponer la realización de un laboratorio de análisis de aceites para el mantenimiento predictivo, para ello se deben determinar los análisis más relevantes.

Los análisis se determinaron recabando información sobre el daño generado al aceite y a los equipos, el comportamiento de máquinas y elementos mecánicos, y considerando los pedidos que realizan distintas empresas normalmente para mantenimiento predictivo.

**Información recabada:**

**Contenido de humedad:**

**El daño al aceite**

El agua que entra al aceite empieza a degradarlo. Primero ataca los aditivos. Algunos aditivos pueden formar compuestos ácidos, causando corrosión al bronce. En algunos casos los aditivos se adhieren al agua, saliendo del aceite al eliminar el agua. El agua también ataca al aceite básico, causando oxidación y aumentando la formación y acumulación de lodos y barniz.

**El daño al equipo**

Cuando el aceite contiene agua modifica la viscosidad y reduce la fuerza de su película, disminuyendo el flujo y permitiendo el contacto entre piezas bajo presiones. Ataca directamente a las superficies metálicas, causando herrumbre a todo el hierro y corrosión donde vaya. 1% de agua en el aceite puede acortar la vida útil de cojinetes en un 90%. El daño en rodamientos

1 **Mantenimiento Predictivo**

La monitorización de estado/mantenimiento predictivo es el proceso de determinación del estado de la maquinaria en funcionamiento. Esto permite la reparación de la maquinaria antes de que se produzca el fallo. La monitorización de estado no sólo ayuda al personal de las fábricas a reducir la posibilidad del fallo catastrófico o grave, sino que también les permite disponer de los recambios con anterioridad, planificar los trabajos y planificar otras reparaciones durante la parada. Con la monitorización de estado, el análisis de la maquinaria toma dos formas: la predictiva y de diagnóstico.

aunque los rodamientos lubricados “de por vida” se montan sin precisar mantenimiento posterior, cerca del 36% de los fallos prematuros de todos los rodamientos son causados por especificaciones y aplicaciones incorrectas de los lubricantes.

### **La oxidación:**

#### **El daño al aceite**

Es un proceso de degradación química que afecta a la mayor parte de los materiales orgánicos. Básicamente consiste en la asimilación de átomos de oxígeno por parte de las sustancias constituyentes del lubricante, lo que conlleva a la degradación de las mismas y la pérdida paulatina de características y prestaciones del aceite. Este proceso se ve favorecido por el calor, la luz, el agua y la presencia de contaminantes.

**Factores que favorecen la oxidación:** El calor es un factor determinante en el proceso de oxidación. La tasa de oxidación es relativamente baja por debajo de 85°C, duplicándose por cada incremento de 10° en la temperatura. Por encima de los 315°C el aceite se descompone térmicamente: comienzan a formarse sustancias insolubles y se degradan los aditivos.

La radiación ultravioleta que contiene la luz natural facilita la rotura de ciertos enlaces atómicos débiles en algunas moléculas. Estos enlaces rotos se ven rápidamente completados con átomos de oxígeno.

El agua y algunos contaminantes pueden actuar como catalizadores de la reacción de oxidación. En concreto el agua puede disolver a los aditivos antidesgaste (como el bisulfuro de molibdeno), disolviéndose y produciendo ácidos sulfúrico y sulfhídrico. En los motores de combustión interna el agua puede reaccionar con los gases de escape y producir ácidos.

#### **El daño al equipo**

##### **La oxidación del aceite provoca:**

- Aumento de la viscosidad, pudiendo llegar a ser doble incluso triple que la del aceite nuevo.
- Oscurecimiento del aceite, pasando del tono traslucido original a ser totalmente opaco.
- Formación de depósitos carbonosos, aunque esto ocurre en fases avanzadas de la oxidación.
- Aumento de la acidez del aceite, debido a los productos ácidos que se forman.

La oxidación es un fenómeno que reduce la vida del aceite. Dada la naturaleza química de los productos de la oxidación, la mayor parte de estos no pueden ser eliminados mediante el filtrado simple del aceite. Sólo con métodos avanzados pueden eliminarse estas sustancias

##### **Importancia de la viscosidad correcta**

Si la viscosidad del aceite es muy baja para la aplicación, el desgaste es mayor por falta de película lubricante interpuesta entre las superficies en movimiento.

Si la viscosidad del aceite es muy alta para la aplicación, el consumo de energía es mayor, el desgaste puede ser mayor por falta de circulación y el aceite se calentará por fricción.

### **Ensayo de partículas sólidas, código de limpieza ISO 4406**

#### **Contaminación del aceite lubricante**

Los insolubles están constituidos por todos aquellos materiales sólidos capaces de contaminar un aceite lubricante en uso. Por ejemplo, partículas carbonosas, partículas metálicas, polvo y productos resultantes de la degradación del propio lubricante.

Existen varios métodos para determinar insolubles en lubricantes.

Los niveles de contaminación se refieren a la cantidad de material sólido contaminante presente en la muestra de aceite usado. La metodología que se utiliza para clasificar y cuantificar las partículas de acuerdo al tamaño de las mismas, se basa en el código de clasificación ISO 4406 y la norma americana U.S National Aerospace Standard 1638. El código ISO 4406 especifica dos o tres tamaños en los niveles de limpieza, donde el número se refiere a la **cantidad de partículas presentes en un mililitro de muestra por cada tamaño establecido**. En el caso del código de dos tamaños el primer número se refiere a partículas mayores de 5 micrómetros y el segundo a las mayores de 15 micrómetros. Sin embargo el código de tres tamaños, el primer número se refiere a la cantidad de partículas mayor de 2 micrómetros, el segundo a partículas mayores de 5 micrómetros y el tercero a partículas mayores de 15 micrómetros.

Existe una diversidad de metodologías para el conteo de partículas. Se tiene el método visual que es el más antiguo, hasta el desarrollo de una variedad de instrumentos que utilizan una diversidad de mecanismos de medida, desde contadores ópticos tipo láser hasta monitores de bloqueo por tamaño de poro, los cuales se utilizan actualmente por la mayor confiabilidad de los resultados.

### Selección de los análisis:

Los análisis a tener en cuenta son: Contenido de humedad, limpieza, envejecimiento, viscosidad, índice de viscosidad, análisis morfológico, contenido de azufre, punto de inflamación, punto de enturbiamiento, TAN y TBN.

Para la selección de los análisis se realizó un cuadro de valuación en donde se supuso que sería aplicado para motores y sistemas hidráulicos. También se utilizó la experiencia que posee el grupo GIMSE en vibraciones para el complemento de este, ver tabla 1.

Provee información de complemento de análisis de vibraciones: 9

Provee información del estado general del aceite: 5

Idea del estado del dispositivo o máquina: 8

Tabla N° 1: Valuación de análisis

Crterios tomados para la seleccin		Conte nido de humedad	limpie za	enveje cimiento	viscos idad	ndice de viscos idad	análisi s morfol ógico	conte nido de azufre	punto de inflam acin	punto de enturbi amiento	TAN TBN
Provee informaci n de complemento a vibraciones	9	5	10	3	9	7	9	5	2	1	4
Provee informaci n del estado general del aceite	5	9	7	5	8	9	4	6	3	2	9
Idea del estado del dispositivo o m quina	8	7	9	4	7	1	10	2	3	3	5
Total		146	197	84	177	116	181	91	57	43	121

Quedando en base a los criterios tomados los valores de la tabla 2.

Tabla N° 2: Análisis seleccionados

Análisis	Puntaje
Limpieza	197
Análisis morfológico	181
Viscosidad	177
Contenido de humedad	146
TAN TBN	121
Índice de viscosidad	116

Se adoptaron para la realización de estos análisis, normativas que estipulan procedimientos para la ejecución de los mismos. En este caso nos hemos basado en las normas ASTM (American Society for Testing Materials) e ISO para la confección de estos procedimientos. La ASTM está entre los mayores contribuyentes técnicos del ISO, y mantiene un sólido liderazgo en la definición de los materiales y métodos de prueba en casi todas las industrias, con un casi monopolio en las industrias petrolera y petroquímica. Adoptando para cada caso las normas detalladas en la tabla 3.

Tabla N° 3: Normativas adoptadas

Análisis	Norma	Número
limpieza	ISO	4406
Análisis morfológico	ISO	4406
Viscosidad	ASTM	D-445
Contenido de humedad	ASTM	D-95
TAN TBN	ASTM	D-974
Índice de viscosidad	ASTM	D-2270

### Equipos seleccionados para realizar los análisis

Se realizó una evaluación del equipamiento necesario de acuerdo al precio de mercado, teniendo como tope un monto estipulado de compra por el GIMSE. Luego se realizó por la facultad una licitación entre empresas por parte de la facultad.

El presupuesto fue recibido a través del PID de investigación en detección temprana de fallas mediante técnicas no invasivas, con maquinaria en marcha y por monitoreo a distancias, Código VAINCO637 25/E113.

### El lugar de trabajo

Para la realización de los análisis se enviaron notas a los laboratorios de ingeniería química, mecánica y metalúrgica, solicitando un lugar de trabajo que posea los niveles de seguridad requeridos para la ejecución de los análisis.

Nos permitieron utilizar todas las instalaciones del laboratorio de ingeniería metalúrgica, en donde el jefe de laboratorio ha explicado el sistema de trabajo que llevan a cabo para las buenas prácticas dentro del laboratorio.

### Equipamiento adquirido



Figuras: 1 Equipo para análisis de viscosidad, 2 viscosímetro, 3 extractor de muestras y 4 equipo de contenido Humedad.



Figuras: 5 Análisis de limpieza, 6 TAN y 7 TBN



Figuras 8 y 9 Filtros de análisis de limpieza

### Resultados experimentales

Comenzado con pruebas de aceites de muestras conocidas, para corroborar resultados realizamos los procedimientos adecuados para cada caso. También se realizó una confección de un modelo de informe final de resultados.



Figura 10 y 11 Modelo de informe

A medida que se avanzó con la puesta en marcha se observó la posibilidad de realizar el análisis de punto de inflamación de aceite, el desarrollo del mismo está en la web del grupo.

## **Conclusión:**

En el desarrollo descrito pudimos obtener buenos resultados en cada uno de los análisis seleccionados para ser aplicados al laboratorio. Estos permiten monitorizar los aceites para mantenimiento predictivo de equipos. Logrando conformar el laboratorio con un presupuesto acotado y continuar actualmente con el perfeccionamiento del mismo. La propuesta de este laboratorio fue disparador de varias prácticas supervisadas para el complemento y perfeccionamiento de los análisis aquí desarrollados.

## **Bibliografía:**

<http://www.etpcbba.com.ar/Sedronar.html>

<http://www.sedronar.gob.ar/>

Lista de productos regulados

[http://www.etpcbba.com.ar/Documentos/Sitios/SEDRONAR/anexo\\_3\\_listas.pdf](http://www.etpcbba.com.ar/Documentos/Sitios/SEDRONAR/anexo_3_listas.pdf)

Cálculos de R y R <http://www.inti.gob.ar/interlaboratorios/descargas/estadistico.pdf>

Norma ASTM D 974-02 Designación 139/98

Norma ASTM D95-83 (Reaprobada 1990)

<http://www.solomantenimiento.com/m-aceite-lubricante.htm>

Aceites y lubricantes industriales - Su tecnología y aplicación. YPF

Guía rápida Pall Corporation

Contaje de partículas - Lubrication management. Manuel Bilbao, Adolfo Málaga

Normas ASTM D445-04, ASTM D2270-93 (reaprobada en 1998), ISO 4406:99.

Guide to ASTM Test Methods for the Analysis of Petroleum Products and Lubricants. Second Edition.

Autor: Kishore Nadkarni. Editorial: ASTM International. 2007

Apunte de cátedra: Química Aplicada-

Autor: Ing. Carlos González año 2011-Editorial Educo.

Normas ASTM- Página web oficial: [www.astm.org](http://www.astm.org)

Norma ISO- Página web oficial: [www.iso.org](http://www.iso.org)

Apuntes Noria Mantenimiento predictivo

Apunte de cátedra: Electrotecnia y máquinas eléctricas

Autor: Héctor Bianchi año 2014-Editorial : Educo

Análisis de aceites aislantes para transformadores y fluidos dieléctricos

Autor: Laboratorios Cataldi- Página web oficial: [www.laboratoriocataldi.com.ar](http://www.laboratoriocataldi.com.ar)

## PLATAFORMA ROBOTICA MOVIL OUTDOOR DE BAJO COSTO

Alumnos: Andrés Linares<sup>1</sup>, Nicolás Mancino<sup>1</sup> Franco Broccardo<sup>2</sup>

**Tutor:** Dr. Andrés García<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Bahía Blanca, 11 de Abril 461, Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina*

<sup>2</sup>*Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Bahía Blanca, 11 de Abril 461, Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina*

[andresgarcia@frbb.utn.edu.ar](mailto:andresgarcia@frbb.utn.edu.ar)

### RESUMEN

En este trabajo se presenta el diseño, análisis y construcción de una plataforma robótica de usos generales para todo terreno. Sobre la base de una placa Arduino Mega, se constituye el control de los cuatro motores de propulsión de 12V CC junto con un nuevo diseño de ruedas triangulares.

Utilizando un script de Matlab para cálculo de potencias de vehículos eléctricos (presentado en la cátedra Accionamientos y Controles Eléctricos), se determinan las potencias de los motores a utilizar y luego se decide la forma y diseño mecánico de novedosas ruedas triangulares utilizando Solid Edge.

Se presentan fotos de los resultados finales que incorporan en la misma plataforma:

- Chasis de aluminio de bajo peso
- Brazo robótico manipulador
- Control con Arduino Mega
- Transmisión de imágenes de video
- Sensores de presión y temperatura para uso en incendios y situaciones de altas temperaturas.

La plataforma cuenta a su vez con cámara de video para obtener imágenes en tiempo real, manipulador para desactivación explosivos o toma de muestras químicas, así como control integral de las cuatro ruedas y la posibilidad de incorporar algoritmos de control avanzado para navegación autónoma.

Se analizan los resultados obtenidos, presentando fotos de la plataforma funcional así como conclusiones y trabajos futuros.

**Palabras clave:** Plataforma robótica móvil, Arduino, Sistemas de Control, Outdoor

### 1. Introducción

La teoría y herramientas incorporadas en materias de grado como Control Automático, encuentran gran aplicación y estímulo por parte de los alumnos pronto a graduarse cuando se aplican a casos reales. En este sentido, los robots móviles con ruedas o banda son una plataforma de trabajo inspiradora (ver por ejemplo [1] y [2]).

Existen innumerables situaciones en las que un ser humano requiere realizar incómodas, difíciles o imposibles de llevar a cabo, debido a ambientes confinados, peligro de derrumbe, lugares insalubres, terrenos de difícil acceso, etc. Un caso que siempre requiere de dispositivos controlados (auto-controlados) a distancia es el rescate de personas, o la desactivación de explosivos (ver por ejemplo [3] y [4]). En caso de haber un derrumbe el robot podrá explorar el terreno en busca de personas, sin dificultad de acceso debido a su tamaño (Figura 1).



Figura.1: Aplicaciones que requieren plataformas robóticas: derrumbes, bomberos, desactivación de bombas.

Las diferentes situaciones reales requieren de sensores especiales (ver por ejemplo [5]). Es por este motivo que contar con sensores de presión y temperatura en plataformas outdoor, siendo de gran interés, sobretodo en situaciones de incendios o exposición a altas temperaturas/presiones (ver por ejemplo [6]-[13]).

Una tarea riesgosa y complicada es la trata de explosivos, debido al alto riesgo que corre el ser humano, por ese motivo es posible encontrar en ciertos desarrollos robóticos la incorporación de un brazo manipulador controlado por radio a distancia (ver por ejemplo [14]).

Por otro lado, existen situaciones con requerimientos especiales, como el caso de los trabajos de mantenimiento en lugares confinados, en especial en tubos que transportan sustancias peligrosas, y deben ser revisados periódicamente. En éstos casos se necesita visualizar continuamente el interior de dichas tuberías, tarea que requiere de transmisión de imágenes en tiempo real (ver por ejemplo [15]).

Por último y teniendo en cuenta los diferente escenarios presentados, es posible mencionar algunas plataformas existentes que atacan de manera parcial estos estos problemas.

Algunos de los casos más relevantes, están conformados por las plataformas construidas para exploración por NASA ([16]), los robots cooperativos (por ejemplo en ISR-IST [17]) u operaciones policiales/militares como SWAT (ver por ejemplo [18]). Algunas fotos se muestran en la Figura 3.



Figura.3 Diversa plataformas robóticas existentes en el mundo: NASA, ISR-IST (Portugal), SWAT

En este artículo se presenta el diseño completo de una nueva plataforma robótica móvil construida en base a los requerimientos de las posibles situaciones reales presentadas, en las que sea posible contar con maniobrabilidad en terrenos dificultosos, manipular explosivos o sustancias químicas (brazo robot) y a la vez mantener un bajo costo en el desarrollo.

El uso de una placa Arduino Mega, dota al proyecto de una gran flexibilidad de programación, capacidad de análisis de datos on-board, a la vez que mantiene un bajo costo del mismo. La plataforma construida permitirá la aplicación y experimentación de otros algoritmos, conservando la simplicidad y accesibilidad a alumnos y graduados con poca experiencia en programación.

## 2. Cálculos y modelos preliminares

Para poder dimensionar correctamente las proporciones físicas de la plataforma móvil así como las baterías y motores eléctricos, se consideraron las siguientes especificaciones:

- Peso total del robot de 2Kg
- Dimensiones de las ruedas de 10cm

- Inclinación máxima de la pendiente de 5°
- Un motor por rueda
- Cuatro ruedas

Entonces es posible establecer ecuaciones para modelar la potencia y velocidad angular de los ejes de los motores eléctricos (Figura 4):

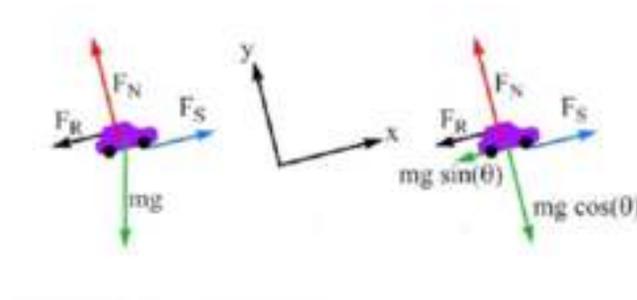


Figura.4: Esquema de fuerzas sobre la plataforma

$$\begin{aligned}
 \text{Peso robot (tangencial)} &= \text{Peso robot} \cdot 9.8 \cdot \text{seno}(\theta) \\
 \text{Velocidad relativa del viento} &= \text{Velocidad Viento} + \text{Velocidad robot} \\
 \text{Fuerza debida al viento} &= \left(\frac{1}{2}\right) \cdot \rho \cdot C \cdot A_f \cdot \text{Velocidad relativa del viento}^2
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Donde  $\theta$  es la inclinación de la pendiente máxima que puede subir el robot,  $\rho$  es una constante aerodinámica,  $A_f$  es una constante aerodinámica. Una vez obtenidas las ecuaciones (1), es posible construir un Script de Matlab:

```

theta=inclinacion_pendiente*pi/180;
Fg=Peso_robot*sin(theta)*9.8; %En Newtons!
rho=1.225; %En kg/m^3
Af=0.868; %En m^2
velocidad_relativa_viento=(velocidad_viento+velocidad_robot)*(1000/3600)
C=1.05;
Fa=(1/2)*rho*C*Af*velocidad_relativa_viento^2;
fr=0.015;
Fr=Peso_robot*cos(theta)*fr*9.8;
Potencia_motor=(Fg+Fa+Fr)*velocidad_robot*(1000/3600)/745;
Velocidad_angular_rueda=velocidad_robot*(1000/3600)/diametro_rueda*30*pi;
Torque_Eje_Motor=Potencia_motor*745*9.54/Velocidad_angular_rueda

```

Finalmente recurriendo a las hojas de datos de fabricantes de motores nacionales, se decide utilizar cuatro motores SP6-50 (ver [19]) cuya potencia es de 4,8 Watts, resultando suficiente una batería de 12V@2Ah para operaciones menores a 2 horas.

## 2.1 Diseño de electrónica de potencia

Una vez determinado el número de motores y su potencia, se procedió a la implementación de la placa que controla dichos motores, utilizando un puente H integrado clásico con transistores bipolar L298 (Figura 5).

Para tener acceso a modificaciones futuras y diseñar la parte de potencia separada del control (Arduino), se construyó un PCB diseñado en Kicad (Figura 5).

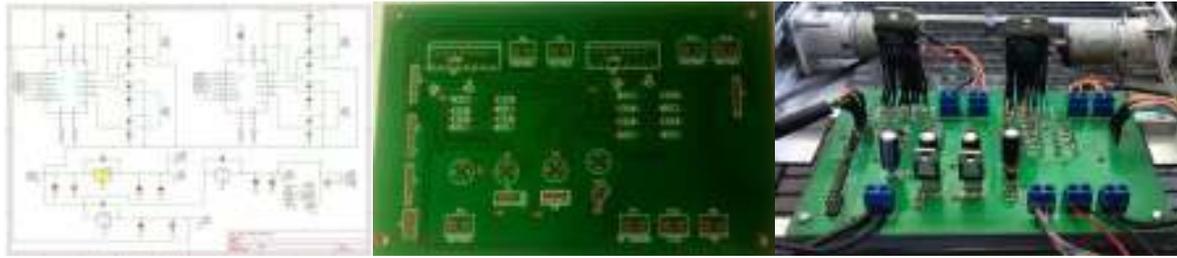


Figura.5 Esquemático del circuito de electrónica de potencia+placa base de control de motores

## 2.2 Pruebas y ensayos iniciales

Una vez realizada la placa y obtenida la potencia de los motores, se procedió a armar la base del robot. Primero se experimentó con madera debido a que fue fácil colocar la placa y los motores para realizar las primeras pruebas (Figura 6-a).

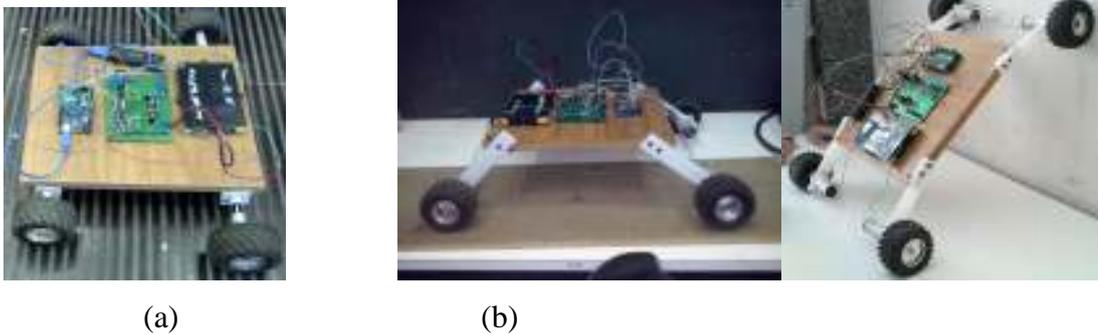


Figura.6: (a) Pruebas preliminares, (b) Base de prueba de la potencia de los motores.

Las ruedas utilizadas (recicladas) poseían un desgaste propio del uso en otras aplicaciones (autos a control remoto outdoor), sirviendo de todos modos para corroborar que el cálculo del motor era correcto.

Siendo uno de los objetivos principales poder transitar cualquier camino (todo-terreno), evitando obstáculos sin dificultades, se optó por agregar brazos pivote (Figura 6-b). Estos pivotes mostraron solucionar el problema de tracción y tránsito todo-terreno, permitiendo proceder a mejorar el chasis que se describe en la sección siguiente.

## 2.3 Estructura metálica

Por otro lado, se diseñó una nueva estructura metálica del chasis (Figura 7), utilizando barras de aluminio huecas de pared de 1mm y ala de 10mm, se eliminaron los brazos pivote para dar camino a una nueva rueda, con una estructura completamente diferente, obteniendo una mayor rigidez mecánica y un menor peso.



Figura 7: Chasis realizado completamente de aluminio+ruedas triangulares+Solid Edge

## 3 Nuevo diseño de ruedas

Para obtener una estructura que integre el pivote experimentado con los brazos preliminares, pero que a la vez aporte flexibilidad, se procedió al diseño de una nueva arquitectura que cuenta con una rueda central acoplada directamente al motor, contando con tres surcos, uno que se encarga de enviar la energía mecánica del motor a las otras ruedas mediante una banda de transmisión de goma, y los otros surcos restantes se colocan las dos bandas de goma que generan la tracción y por lo tanto el movimiento del robot (Figura 7).

Las ventajas de esta rueda en forma triangular, es su posibilidad de poder pivotar al rededor del mismo eje de giro, permitiéndole acoplarse mejor a los terrenos por donde circule. Se realizaron pruebas utilizando las nuevas estructuras: ruedas triangulares+chasis de aluminio obteniendo resultados muy satisfactorios en cuanto a tracción y flexibilidad.

#### **4 Brazo robótico, control con arduino y transmisión de imágenes**

Para permitir mayores funcionalidades se incorporó un brazo robótico de tres grados de libertad, controlado por la placa general Arduino Mega. El movimiento es realizado mediante servo motores, con una capacidad de levantamiento de peso de 200 gr.

La base giratoria se realizó mediante dos discos, uno solidario al chasis y otro solidario al eje vertical del servo motor, con el fin de minimizar el esfuerzo de torsión. Para realizar el brazo se utilizaron perfiles cuadrados de aluminio, que permite reducir pesos y simplifica el mecanizado (Figura 8).



Figura.8: Detalle del manipulador incorporado + robot completo con cámara de transmisión

#### **4.1 Control del robot: arduino mega y cámara de transmisión de video**

Es posible controlar el robot mediante enlace de radio frecuencia, aunque en esta etapa experimental se utilizó un control mediante cables utilizando un joystick: movimiento de avance, retroceso y doblado diferencial, además de control de todos los movimientos del brazo.

Un PWM a través de Arduino controla las velocidades y torques de los motores CC, mientras que el Arduino Mega también realiza tareas de supervisión del joystick de control de dirección, a la vez que procesa y decide los pulsos necesarios de control del brazo robot.

Con el fin de poder maniobrar el robot a una distancia prudente del peligro, lo cuál constituye uno de los principales objetivos de este proyecto, se dotó al robot con una cámara inalámbrica de radio frecuencia, la cual transmite imagen en vivo para que el operador pueda guiar el robot y controlar el brazo. La cámara se instaló simplemente a una altura el cual se tiene una vista general de lugar por donde transita y el estado de robot (Figura 8).

#### **5. Conclusiones**

En este trabajo se presentó un diseño integral de una plataforma robótica de propósitos generales. Se trata de una plataforma robótica de cuatro motores CC de 12V controlados por L298 y Arduino Mega, cámara de video y brazo manipulador integrados.

Por otro lado, es posible reconfigurar la plataforma para navegación autónoma, así como con control remoto: por cable o inalámbrico. Al contar con recepción de imágenes de video, es posible pensar el desarrollo del presente artículo para diferentes aplicaciones, volviendo el proyecto de gran flexibilidad.

Como trabajo futuro, se propone la realización de más experiencias extensivas así como mediciones on-board con acelerómetro y GPS para aplicaciones outdoor.

#### **Referencias**

[1] d'Andréa-Novel, B. and Campion, G. and Bastin, G. *Control of Nonholonomic Wheeled Mobile Robots by State Feedback Linearization*, Int. J. Rob. Res. 13 (1995), 543-559

- [2] Nilanjan Sarkar, Kiaoping Yun, and Vijay Kumar, *Control of mechanical systems with rolling constraints: Application to dynamic control of mobile robots*, International Journal of Robotic Research 13 (1994), 55–69.
- [3] R. R. Murphy and S. Tadokoro and D. Nardi and A. Jacoff and P. Fiorini and H. Choset and A. M. Erkmen. *Search and Rescue Robotics*. Springer Handbook of Robotics (2008), pp. 1151-1173. Springer Verlag.
- [4] Alexander Ferrein, Gerald Steinbauer . *20 Years of RoboCup*. KI - Künstliche Intelligenz, 2016, Volume 30, Number 3-4, Page 225.
- [5] <https://www.sensorsmag.com/components/choosing-best-sensors-for-a-mobile-robot-part-one>
- [6] Luis, J.; Galán, J.; Espigado, J. Low Power Wireless Smoke Alarm System in Home Fires. *Sensors* 2015, 15(8), 20717-20729; <https://doi.org/10.3390/s150820717>.
- [7] Yang, J.; Zhou, J.; Lv, Z.; Wei, W.; Song, H. A Real-Time Monitoring System of Industry Carbon Monoxide Based on Wireless Sensor Networks. *Sensors* 2015, 15(11), 29535-29546; <https://doi.org/10.3390/s151129535>.
- [8] Andrew, A.; Zakaria, A.; Mad Saad, S.; Md Shakaff, A. Multi-Stage Feature Selection Based Intelligent Classifier for Classification of Incipient Stage Fire in Building. *Sensors* 2016, 16(1), 31; <https://doi.org/10.3390/s16010031>.
- [9] Yang, K.; Zhang, R.; Yang, J.; Liu, C.; Chen, S.; Zhang, F. A Novel Arc Fault Detector for Early Detection of Electrical Fires. *Sensors* 2016, 16(4), 500; <https://doi.org/10.3390/s16040500>.
- [10] Sun, M.; Tang, Y.; Yang, S.; Li, J.; Sigrist, M.; Dong, F. Fire Source Localization Based on Distributed Temperature Sensing by a Dual-Line Optical Fiber System. *Sensors* 2016, 16(6), 829; <https://doi.org/10.3390/s16060829>.
- [11] Cruz, H.; Eckert, M.; Meneses, J.; Martínez, J. Efficient Forest Fire Detection Index for Application in Unmanned Aerial Systems (UASs). *Sensors* 2016, 16(6), 893; <https://doi.org/10.3390/s16060893>.
- [12] Alimenti, F.; Roselli, L.; Bonafoni, S. Microwave Radiometers for Fire Detection in Trains: Theory and Feasibility Study. *Sensors* 2016, 16(6), 906; <https://doi.org/10.3390/s16060906>.
- [13] Allison, R.; Johnston, J.; Craig, G.; Jennings, S. Airborne Optical and Thermal Remote Sensing for Wildfire Detection and Monitoring. *Sensors* 2016, 16(8), 1310.
- [14] L. A. Zuniga A., J. C. Pedraza O., E. Gorrostieta, L. Garcia-Valdovinos, J. M. Ramos and C. A. Gonzalez, "Design and manufacture of a mobile robot applied to the manipulation of explosives, 2008 11th IEEE International Power Electronics Congress, Morelos, 2008, pp. 84-89.
- [15] A. A. F. Nassiraei, Y. Kawamura, A. Ahrary, Y. Mikuriya and K. Ishii, "A New Approach to the Sewer Pipe Inspection: Fully Autonomous Mobile Robot "KANTARO", *IECON 2006 - 32nd Annual Conference on IEEE Industrial Electronics*, Paris, 2006, pp. 4088-4093.
- [16] <https://www.nasa.gov/feature/jpl/origami-inspired-robot-can-hitch-a-ride-with-a-rover>
- [17] <http://rescue.isr.ist.utl.pt/index.php>
- [18] <http://sdractical.com/>
- [19] <http://www.apys.com.ar/>

## DETECCIÓN TEMPRANA DE DESERCIÓN ESTUDIANTIL PARA ASPIRANTES E INGRESANTES DE LA UTN FRLP

*Romina Istvan, Valeria Lasagna; Sergio Antonini (Director)  
Laboratorio de Ingeniería en Sistemas de Información, LINES UTN FRLP  
Av. 60 s/n° esquina 124, CP 1900, La Plata, Buenos Aires, Argentina.  
ristvan@frlp.utn.edu.ar; valerial@frlp.utn.edu.ar; antonini@frlp.utn.edu.ar*

### Resumen

El objetivo del presente trabajo es caracterizar el perfil de los aspirantes e ingresantes de la UTN FRLP, identificando los diferentes factores que influyen en la deserción estudiantil; conformando así un sistema de indicadores de detección temprana en el trayecto inicial de formación académica de los estudiantes.

La investigación explora la capacidad de la técnica Minería de Datos como una alternativa útil para encontrar información derivada a partir de la detección de patrones de atributos individuales. Parte de los resultados obtenidos para el grupo de estudiantes ingresantes a la institución en el período 2013/2015 (Istvan, 2016; Falco, 2017) y tiene como objetivo validar los mismos mediante la confrontación con el modelo de indicadores resultante para los alumnos en el período de ingreso 2016/2017.

**Palabras clave:** Indicadores de deserción, Indicadores de riesgo de deserción, Deserción universitaria, Minería de datos.

### 1. Introducción

La deserción es entendida como aquella situación a la que se enfrenta un estudiante cuando aspira y no logra concluir su proyecto educativo (Tinto, 1975). Este fenómeno constituye una problemática que afecta a las instituciones de Educación Superior.

Las carreras de Ingeniería no están exentas a esta situación. Según datos presentados en el Congreso Mundial Ingeniería 2010, la tasa de deserción es del orden del 50% en primer año y la graduación final de las carreras de grado se ubica en el orden del 20% respecto a los ingresantes a cada carrera (CONFEDI, 2010).

La Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional La Plata busca ofrecer un modelo explicativo de los principales factores causales de la deserción definiendo el perfil de los alumnos desertores en el inicio de su formación académica.

El trabajo está organizado de la siguiente forma. La sección 2, describe la motivación y el proyecto actualmente en desarrollo por la UTN FRLP en relación a la deserción estudiantil universitaria. La sección 3 presenta los métodos empleados en la investigación con el fin de definir el perfil de los alumnos desertores, destacando el proceso de Minería de Datos como una alternativa que ofrece características diferenciales respecto a las técnicas convencionales de investigación social. Las secciones 4 y 5, presentan los indicadores obtenidos para los períodos 2013/2015 y 2016/2017 respectivamente. La sección 6 presenta la confrontación de los modelos. Y por último, las secciones 7 y 8 exponen las conclusiones finales obtenidas y trabajos futuros.

### 2. Proyecto institucional

En Argentina, el fenómeno de la deserción estudiantil universitaria cobra especial interés en las carreras de Ingeniería, ya que la evolución de la industria y una creciente vinculación entre empresas y universidades, hacen que estas carreras sean esenciales para consolidar el desarrollo industrial, económico y científico del país (PEFI, 2012).

Como parte del sistema formador de ingenieros y para responder a las demandas propias de la institución, la UTN FRLP se encuentra actualmente desarrollando el Proyecto de Investigación y Desarrollo (PID): "Estudio Sistemático de Deserción Estudiantil Universitaria (ESDEU)", el cual se encuentra homologado y financiado por la Universidad Tecnológica Nacional (Istvan, 2017). El proyecto tiene como objetivo final la implementación un sistema de detección temprana de posibles desertores y gestión tutorial, con el fin de elevar la tasa de graduación en cada una de las especialidades que brinda.

Para poder definir los perfiles de los alumnos desertantes y no desertantes, la UTN FRLP utiliza los datos registrados en la base de datos académica, perteneciente al sistema SysAcad provisto por Rectorado UTN, la cual dispone de un número importante de atributos personales y académicos; que actualmente se complementan principalmente con los datos almacenados en una fuente de datos externa, que contiene los registros de las Encuestas PEFI llevadas a cabo en el período 2013/2017. Estas encuestas, respondían al pedido de la Secretaría de Políticas Universitarias, enmarcadas dentro del Plan Estratégico de Formación de Ingenieros (PEFI, 2012) y se completaban a través de una plataforma web, de forma obligatoria por los mismos estudiantes. Recogían información complementaria, registrándose datos personales, laborales, familiares y económicos, como ser: Horas de Trabajo, Relación del Trabajo con la Carrera, Situación Económica de los Padres, Nivel de Instrucción de los Padres y Becas, entre otros. De forma conjunta los datos académicos propios de la UTN FRLP y las encuestas PEFI, conforman una base de atributos relevantes cuya disponibilidad es un importante activo en la institución, en la medida en que puedan ser transformados en información de interés, utilizando técnicas y métodos para definir el perfil de los estudiantes.

### **3. Métodos empleados**

En la presente investigación se utilizan como métodos e instrumentos de apoyo las Encuestas antes mencionadas y la técnica de Explotación de Datos (Minería de Datos, o Data Mining) con el fin de detectar patrones y relaciones entre variables de manera automática.

Esta técnica, basada en la extracción de conocimiento, está principalmente relacionada con el proceso de descubrimiento conocido como “Descubrimiento de Conocimiento en Bases de Datos” (KDD, por sus siglas en inglés), el cual se refiere al proceso no-trivial de descubrir conocimiento e información potencialmente útil dentro de los datos contenidos en repositorios de información (Han, 2001).

Las etapas correspondientes al proceso KDD que se siguen son: selección de datos, preparación y transformación de datos, minería de datos e interpretación y evaluación.

Los datos seleccionados se someten luego, a un proceso de preparación, limpieza, integración y transformación a fin de brindar una vista adecuada para el proceso de minería de datos. De esta manera, se siguen las siguientes estrategias:

Se eliminan registros incompletos y atributos constantes.

Se utiliza la generalización para transformar atributos: Fecha de Nacimiento que pasó a tener 4 categorías posible: 18-20 años, 21-25 años, 26-30 años, 31-40 años y 40+ para más de 40 años, sexo, estado civil, técnico (si el título bachiller es técnico o no), horas de trabajo, relación del trabajo con la carrera, beca (implementando funciones de sumarización), cantidad de hijos, cantidad de familiares a cargo, instrucción del padre y la madre, ocupación del padre y la madre, y distancia a UTN.

Se construyen nuevos atributos mediante funciones de sumarización, tal como ocurre con el atributo Beca y se discretizan y numerizan atributos, como en el caso Nivel de Instrucción de los Padres.

Se reduce la cardinalidad de algunos atributos generando categorías más genéricas como ser el caso del atributo País, que pasa únicamente a ser Argentino o Extranjero.

Finalmente, se establece un atributo de estado Deserción que diferencia a los alumnos que ya han abandonado, de los que cursan con regularidad.

Luego de esto, se utiliza la herramienta Rapid Miner, RM (RapidMiner Studio 7.1, 2018), la cual implementa más de 500 técnicas de pre-procesamiento de datos, modelación predictiva y descriptiva y visualización de datos y aplica el algoritmo W-J48 del componente Weka (Weka, 2007).

Este algoritmo es una versión del clásico algoritmo de árboles de decisión C4.5 propuesto por Quinlan (Quinlan, 1993); pertenece a la categoría ‘aprendizaje basado en similitudes’, el cual genera árboles de decisión de manera recursiva, tomando el o los atributos que mejor clasifican a los datos. Este modelo de clasificación es uno de los más utilizado por su simplicidad y facilidad para entender (Sattler, 2001).

El parámetro más importante a tener en cuenta es el Factor de Confianza (Confidence Level) para la poda que influye en el tamaño y capacidad de predicción del árbol construido. El valor por

defecto de este factor es del 25% y conforme va bajando este valor, se permiten más operaciones de poda y por lo tanto llegar a árboles cada vez más pequeños (García, 2010).

A continuación se presentan los resultados obtenidos al ejecutar el proceso con el algoritmo de clasificación en árboles W-J48, implementado en WEKA y ejecutado desde la interface de RM para los dos periodos de estudio. En ambas investigaciones se construye el árbol de decisión con un valor del Factor de Confianza para la poda del 20%.

#### 4. Modelo de indicadores obtenido para el periodo 2013/2015

En la Figura 1 pueden observarse los resultados obtenidos mediante el método elegido para el conjunto de aspirantes e ingresantes en el período 2013/2015 (Istvan, 2016).

```

Instrucción Madre <= 3
| Relación con carrera <= 1
| | Ocupación Madre <= 1: No Desertó (115.0/29.0)
| | Ocupación Madre > 1
| | | Relación con carrera <= 0
| | | | Horas de trabajo = 20-35+ hrs: Desertó (13.0/3.0)
| | | | Horas de trabajo = 0-20 hrs: No Desertó (43.0/9.0)
| | | | Relación con carrera > 0
| | | | | Ocupación Padre <= 1: Desertó (11.0/4.0)
| | | | | Ocupación Padre > 1: No Desertó (11.0/2.0)
| Relación con carrera > 1
| | Distancia a UTN = más de 15 km: Desertó (4.0)
| | Distancia a UTN = hasta 15 km
| | | Tecnico = NO
| | | | Ocupacion Familiar = Trabajo Permanente
| | | | | Instrucción Madre <= 2: No Desertó (2.0)
| | | | | Instrucción Madre > 2: Desertó (7.0/3.0)
| | | | | Ocupacion Familiar = Desconocido: Desertó (3.0)
| | | | | Ocupacion Familiar = Trabajo Transitorio: No Desertó (2.0)
| | | | Tecnico = SI: No Desertó (5.0)
Instrucción Madre > 3: No Desertó (815.0/152.0)

```

Fig. 1: Reglas de clasificación obtenidas para el período 2013/2015

En ellos, se puede observar que el Nivel de Instrucción de la Madre es por sobre todo uno de los factores más relevante. El algoritmo demuestra que si la madre posee un nivel igual o mayor a Secundario Completo (nivel 4), el alumno posee mayor probabilidad de ser no desertor. El Nivel de Instrucción del Padre presenta en este modelo una baja incidencia.

Otro factor clasificador, para los alumnos son las horas de trabajo semanales. Si el alumno no trabaja o trabaja part time, tiene mayor probabilidad de no desertar, por sobre los alumnos que trabajan de 5 a 8 horas diarias.

Por otro lado, la relación del tipo de trabajo con la especialidad de la carrera, es otro atributo importante. Cuanto mayor es la relación, menor probabilidad de desertar poseen los alumnos.

El nivel económico familiar, ocupación y tipos de trabajos de la madre y del padre influyen sobre los grupos desertores. Las familias con trabajo Transitorio o Permanente, tienen una mayor probabilidad de no desertar, sobre el resto de las familias.

La distancia a la institución es otro factor importante. Esto sumado a los datos de registros eliminados que denotan que de los 288 registros desertores, 227 alumnos residían en localidades mayores a 15 km. de distancia con la institución.

Los alumnos que provienen de bachilleratos técnicos, también demuestran una mejor actividad académica.

En resumen, esta investigación pone de manifiesto que los ingresantes de la UTN FRLP entre los años 2013-2015 desertaron por las siguientes cuatro causas principales: Nivel de Instrucción de la madre, Situación económica familiar, Cantidad de horas de trabajo del alumno y Distancia a la institución.

#### 5. Modelo de indicadores obtenido para el periodo 2016/2017

Luego de correr el proceso para el conjunto de ingresantes en el período 2016/2017 se obtienen los resultados presentados en la Figura 2.

```

Horas de trabajo = 0-20 hrs
| Instrucción Madre <= 4
| | Edad = 21-25
| | | Beca = SI
| | | | Instrucción Madre <= 1: Desertó (2.0)
| | | | Instrucción Madre > 1: No Desertó (5.0/1.0)
| | | Beca = NO: Desertó (29.0/10.0)
| | Edad = 26-30
| | | Instrucción Madre <= 3: No Desertó (3.0)
| | | Instrucción Madre > 3: Desertó (3.0/1.0)
| | Edad = 18-20
| | | Instrucción Madre <= 2
| | | | Beca = SI: No Desertó (8.0/2.0)
| | | | Beca = NO
| | | | | Instrucción Padre <= 3: Desertó (19.0/6.0)
| | | | | Instrucción Padre > 3: No Desertó (12.0/5.0)
| | | | Instrucción Madre > 2: No Desertó (177.0/66.0)
| | Edad = 40+: No Desertó (0.0)
| | Edad = 31-40: Desertó (1.0)
| Instrucción Madre > 4
| | Relación con carrera <= 1: No Desertó (226.0/59.0)
| | Relación con carrera > 1
| | | Distancia a UTN = hasta 15 km
| | | | Beca = SI: Desertó (2.0)
| | | | Beca = NO
| | | | | Tecnico = SI: Desertó (3.0/1.0)
| | | | | Tecnico = NO: No Desertó (14.0/3.0)
| | | Distancia a UTN = más de 15 km: Desertó (4.0)
Horas de trabajo = 20-35+ hrs
| Tecnico = SI
| | Instrucción Madre <= 3: Desertó (21.0/6.0)
| | Instrucción Madre > 3: No Desertó (28.0/7.0)
| Tecnico = NO
| | Ocupacion Familiar = Trabajo Permanente
| | | Cantidad de familiares a cargo <= 0
| | | | Relación con carrera <= 0: No Desertó (34.0/12.0)
| | | | Relación con carrera > 0
| | | | | Distancia a UTN = hasta 15 km
| | | | | Instrucción Padre <= 4: Desertó (20.0/6.0)
| | | | | Instrucción Padre > 4
| | | | | | Relación con carrera <= 1
| | | | | | | Instrucción Madre <= 7: Desertó (6.0/2.0)
| | | | | | | Instrucción Madre > 7: No Desertó (2.0)
| | | | | | Relación con carrera > 1: No Desertó (3.0)
| | | | Distancia a UTN = más de 15 km
| | | | | Edad = 21-25: Desertó (4.0/1.0)
| | | | | Edad = 26-30: No Desertó (1.0)
| | | | | Edad = 18-20: No Desertó (2.0)
| | | | | Edad = 40+: No Desertó (0.0)
| | | | | Edad = 31-40: No Desertó (0.0)
| | | | Cantidad de familiares a cargo > 0: Desertó (18.0/6.0)
| | | Ocupacion Familiar = Trabajo Transitorio: Desertó (20.0/6.0)

```

Fig. 2: Reglas de clasificación obtenidas para el período 2016/2017

El Nivel de Instrucción de la Madre y del Padre son factores relevantes en el perfil. Si el Nivel de Instrucción de la Madre es mayor a Secundario Incompleto (nivel 3) y a Terciario Completo (nivel 6) y el Nivel de Instrucción del Padre es mayor a Terciario Incompleto (nivel 5), aunque combinados con otros factores, demuestran que los alumnos en estos casos poseen mayor probabilidad de No Desertar.

Cuanto menor es la Relación del Trabajo con la carrera, mayor es la probabilidad de no desertar. Los alumnos ya insertos en trabajos relacionados, con horarios de tiempo completo, poseen mayor probabilidad de desertar en relación a los alumnos que trabajan en tareas no relacionadas con la especialidad elegida.

La Ocupación Familiar también constituye un factor importante en los perfiles. Cuando el Trabajo es Transitorio influye negativamente sobre los alumnos que trabajan Part Time o Tiempo Completo.

La Cantidad de Familiares a Cargo constituye otro factor de relevancia, donde aquellos alumnos con uno o más familiares a cargo presentan mayor probabilidad de desertar.

## 6. Resultados. Confrontación de modelos

La siguiente tabla visualiza para los modelos obtenidos la incidencia de cada factor sobre el fenómeno de la deserción.

Tabla 1: Confrontación de modelos obtenidos. Incidencia de Factores.

	Ingresantes 2013/2015	Ingresantes 2016/2017	Convergencia
Instrucción Padre	BAJA	ALTA	MEDIA
Instrucción Madre	ALTA	ALTA	ALTA
Tipo de Bachillerato	BAJA	NULA	NULA
Aspecto Laboral	ALTA	ALTA	ALTA
Distancia a la Institución	MEDIA	NULA	BAJA
Situación Económica Familiar	ALTA	ALTA	ALTA
Cantidad Familiares a Cargo	NULA	ALTA	MEDIA

Al confrontar los modelos, se puede observar que los mismos convergen, dando como resultado los siguientes niveles de incidencia de los indicadores:

Factores de incidencia ALTA: Instrucción de la Madre, Situación Económica Familiar, Aspecto Laboral y Relación con la Especialidad.

Factores de incidencia MEDIA: Instrucción del Padre, Cantidad de Familiares a Cargo.

Factores de incidencia BAJA: Distancia a la Institución.

### 6.1. Instrucción familiar. Nivel de instrucción de la madre y del padre

En el primer modelo es posible discernir que si la madre del alumno posee un nivel igual o mayor a 'Secundario Completo', tiene mayor probabilidad de no ser desertor. Esto coincide básicamente, con los resultados obtenidos en el segundo modelo, donde además se incorpora el Nivel de Instrucción del Padre como factor relevante en el fenómeno.

### 6.2. Situación económica familiar

En ambos modelos puede comprobarse el hecho de que las familias con Trabajo Permanente, en primer medida, y Transitorio luego, poseen una menor probabilidad de que sus hijos deserten.

### 6.3. Aspecto laboral y relación con la especialidad

En este punto los modelos se contraponen. En el primer conjunto de datos analizados se confirma que cuanto menor relación tiene el trabajo con la carrera, mayor posibilidad de desertar. En el segundo modelo cuanto menor es la relación del trabajo con la carrera, mayor es la probabilidad de no desertar. Se estima, para este último modelo que los alumnos ya insertos en trabajos relacionados y con horarios de tiempo completo de trabajo, poseen mayor probabilidad de desertar, debido a estar desempeñándose en tareas propias de su especialidad. Se considera que en ellos existe la creencia de que la continuidad de sus estudios no les aportaría mayores beneficios laborales (sumado a la alta carga horaria de trabajo).

### 6.4. Distancia a la institución

La distancia a la institución se presenta con factor de incidencia alto en el primer modelo y nulo en el segundo, motivo por el cual se la considera con un Nivel Medio de incidencia en el modelo final.

### 6.5. Cantidad de familiares a cargo

Debido a que este factor no se hace presente en el primer modelo, en contraposición a los resultados arrojados en el segundo grupo de estudio; se considera, por tal motivo, incorporar a los indicadores finales este factor con un Nivel Medio de incidencia.

## 7. Conclusiones

Con el fin de atender a las demandas sociales y propias de la institución, la UTN-FRLP se encuentra actualmente desarrollando el Proyecto de Investigación y Desarrollo (PID): “Estudio Sistemático de Deserción Estudiantil Universitaria (ESDEU)”. El proyecto tiene como objetivo final la implementación un sistema de gestión tutorial, con el fin de elevar la tasa de graduación en cada una de las especialidades que brinda.

La presente investigación aporta al sistema antes mencionado, el conjunto de indicadores de detección temprana de posibles desertores. Para tal fin, explora la capacidad de la técnica Minería de Datos como una alternativa útil para encontrar información derivada a partir de la detección de patrones de atributos individuales. Parte de los resultados obtenidos para el grupo de aspirantes e ingresantes a la institución en el período 2013/2015 y los confronta con el modelo de indicadores resultante para los estudiantes en el período de ingreso 2016/2017. Como conclusión, se puede afirmar que los modelos convergen hacia los siguientes niveles de incidencia de los indicadores:

Factores de incidencia ALTA: Instrucción de la Madre, Situación Económica Familiar, Aspecto Laboral y Relación con la Especialidad.

Factores de incidencia MEDIA: Instrucción del Padre, Cantidad de Familiares a Cargo.

Factores de incidencia BAJA: Distancia a la Institución.

## 8. Trabajo futuro

El conjunto de indicadores obtenidos se integrará a las dificultades académicas de los estudiantes: asistencias/inasistencias, consultas, presentación y resultado de exámenes parciales y finales, conformando el Índice de Riesgo de Deserción que será integrado como parte del futuro sistema.

Asimismo, se propone la mejora en la calidad de los datos mediante la instrumentación de la obligatoriedad de la completitud de la encuesta PEFI, en las primeras clases del Curso de Ingreso, de manera de recabar datos de posibles desertores, antes de que se pierda el vínculo con la institución. Asimismo, se considera la ampliación de las encuestas a través de la incorporación de indicadores que incluyan nuevos aspectos: Vocacional / Aspecto Social, Integración y Desarraigo / Profesores y Actividades Académicas / Situación Económica.

## Referencias

- CONFEDI (2010); La Formación del Ingeniero para el Desarrollo Sostenible. Aportes del Congreso Mundial Ingeniería 2010. Buenos Aires. Octubre 2010.
- Falco Mariana, Istvan Romina, Antonini Sergio (2017); “University Desertion: Analysis to 2017 admission course in Information Systems Engineering”, JAIIO 2017.
- García, M.; Álvarez, A. (2010). Análisis de Datos en WEKA –Pruebas de Selectividad”. <http://www.it.uc3m.es/jvillena/irc/practicas/06-07/28.pdf>. Accedido en marzo de 2018.
- Han, J.; Kamber M. (2001). Data Mining: Concepts and Techniques. Morgan Kaufmann Publishers, USA.
- Istvan Romina, Chong Arias Carlos, Antonini Sergio (2016); “Sistema de Indicadores de riesgo de deserción para la UTN-FRLP”, Cytal 2016.
- Istvan Romina, Falco Mariana, Antonini Sergio (2017), “Análisis y Detección temprana de deserción estudiantil en UTN FRLP”, WICC 2017.
- PEFI Plan Estratégico de Formación de Ingenieros 2012/2016; Secretaría de Políticas Universitarias, Ministerio de Educación, Presidencia de la Nación Argentina; <http://pefi.siu.edu.ar/>, 2012. Accedido en abril de 2018.
- Quinlan, J.R. (1993). C4.5: Programs for Machine Learning. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, pág. 299.
- RapidMiner Studio 7.1. <https://rapidminer.com/>, Accedido en marzo de 2018.
- Sattler, K.; Dunemann, O. (2001). “SQL Database Primitives for Decision Tree Classifiers”. In: CIKM, Atlanta, Georgia.
- Tinto, V (1975). Dropout from higher education: A theoretical synthesis of recent research. Review of Educational Research, 45(1), 89-125.
- Weka, 2007. Data Mining Software in Java; <http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/> Accedido en marzo de 2018.

## EFFECTO DEL ALCOHOL ETÍLICO EN LA CINÉTICA DE CURADO DE RESINAS DE FENOL-FORMALDEHIDO DEL TIPO RESOL

Santiago Gandino <sup>(1)</sup>, Flavia B. Hofstetter <sup>(1)</sup>, María E. Taverna <sup>(1),(2)</sup>, Verónica V. Nicolau <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> *GPol, Departamento de Ingeniería Química, UTN Regional San Francisco, Av. de la Universidad 501, (2400) San Francisco, Córdoba, Argentina.*

<sup>(2)</sup> *INTEC (UNL-CONICET), Güemes 3450, (3000) Santa Fe, Argentina.*

E-mail: santiagogandino@gmail.com

### Resumen

En el presente trabajo se estudió el efecto del alcohol etílico en la cinética de curado de una resina de fenol-formaldehído del tipo resol industrial destinada a la impregnación de papeles para la producción de laminados decorativos, y la optimización de los tiempos de impregnación y secado a 150 °C. Para ello, se caracterizaron muestras de resinas tomadas en distintos estadios de la síntesis industrial y se estudió su cinética de curado a 150 °C. La caracterización involucró la determinación de pH, densidad, sólidos totales, tiempo de elución, propiedades reométricas, grupos funcionales por espectroscopía de resonancia magnética nuclear (<sup>1</sup>H RMN) e infrarrojo (FTIR). La cinética de curado se estudió mediante mediciones temporales de la fracción soluble y los pesos moleculares medios por gravimetría y por cromatografía de exclusión de tamaños (SEC), respectivamente. El alcohol demostró tener un efecto desactivante en la cinética de curado de las resinas de fenol-formaldehído. El tiempo óptimo de impregnación y secado a 150 °C resultó ser de 6 min. Tiempos superiores a los 15 min provocarían una gelificación prematura y curado de la resina con la consecuente falta de adhesión de los papeles durante el prensado.

**Palabras Claves:** resol; alcohol; curado; impregnación de papeles.

### Introducción

Las resinas de fenol-formaldehído (PF) fueron los primeros polímeros totalmente sintéticos fabricados a principio del siglo XX a partir de fenol (P) y formaldehído (F). El término "resina fenólica" abarca una gran variedad de materiales basados en fenoles y co-monómeros [1]. Su principal aplicación es en la producción de laminados decorativos, adhesivos, recubrimientos, plásticos moldeados, y componentes aeroespaciales, entre otros. Todas las aplicaciones involucran una primera etapa de síntesis de la resina base o prepolímero donde se obtiene un oligómero, y una segunda etapa de procesamiento y obtención de un polímero termoestable de peso molecular infinito. La producción de laminados decorativos involucra 3 etapas básicas: i) síntesis de las resinas base de PF del tipo resol, ii) impregnación y secado de los papeles del laminado; y iii) curado del "sándwich" de papeles impregnados por prensado a alta temperatura.

En la síntesis industrial del resol, el reactor se carga con formalina o formol (solución al 37 % m/m) y una solución de P 91 % m/m con una relación molar inicial de F/P=1,05. Posteriormente, se ajusta el pH entre 8,5 y 9 con una solución de hidróxido de sodio 34 % m/m y se calienta a una velocidad de 4,5 °C/min hasta alcanzar la temperatura de reflujo (90 °C). La temperatura se mantiene aproximadamente unos 120 minutos. Al finalizar la etapa de reacción parte del agua se separa por destilación al vacío a 55 cmHg y 65 °C. Finalmente, se adiciona alcohol como solvente, se enfría, se ajusta el pH entre 8,5 y 9 y se almacena. En esta etapa, se obtiene una resina líquida base o prepolímero que consta de moléculas multifuncionales.

Durante la síntesis del resol y la etapa de impregnación y secado de papeles, la reacción de polimerización está controlada por la reactividad de los grupos funcionales y la mezcla oligomérica se caracteriza por ser completamente soluble. Durante el prensado, la resina cura con incremento de las masas molares hasta que el sistema gelifica y finalmente vitrifica. La gelificación es una transformación irreversible de líquido viscoso a gel elástico altamente entrecruzado e insoluble. Más allá de la gelificación, existe un incremento del entrecruzamiento y una disminución del material soluble hasta que la movilidad de los centros reactivos está restringida y la reacción comienza a estar controlada por la difusión y se detiene por vitrificación. La etapa de impregnación y secado debe finalizar antes de la gelificación para que la resina cure dentro de la prensa.

Para aplicaciones de impregnación de papeles en la obtención de laminados se requiere un bajo grado de condensación para que la resina fluya en forma homogénea durante la impregnación, pero no excesivamente durante el prensado [2]. El tiempo de gelificación y curado dependen del tipo de resina, y constituyen medidas indirectas del grado de entrecruzamiento. Además son fundamentales para la determinación y el control de los tiempos de impregnación y secado (tiempo que el papel impregnado atraviesa el secadero tipo túnel) y los tiempos de prensado (tiempo dentro de la prensa). En este trabajo, se estudió el efecto del alcohol en la cinética de curado de resoles industriales y la optimización del tiempo de impregnación y secado. La síntesis del resol se llevó a cabo en un reactor tanque agitado discontinuo de 3000 L perteneciente a la empresa CENTRO S.A (San Francisco, Córdoba).

## **Trabajo Experimental**

Se caracterizó una muestra de resina del tipo resol extraída al final de la etapa de reacción (previo a la destilación parcial de agua y adición de etanol, PFW) y la correspondiente al final del proceso de síntesis (PFa). Además, se estudió el curado de las resinas a 150 °C mediante el monitoreo de la fracción soluble y los pesos moleculares medios por un período de tiempo de 20 min.

### ***Caracterización de los prepolímeros (PFw y PFa)***

Las mediciones de pH, densidad, sólidos totales y tiempo de elución en Copa Ford N° 4 se realizaron acorde a los procedimientos de planta industrial. Además, se midieron propiedades reométricas y se emplearon técnicas espectroscópicas para la determinación de la estructura molecular de las resinas.

pH: se determinó mediante pHmetro calibrado marca Testo 206-pH1.

Densidad: se determinó mediante el uso de un densímetro (calibrado a 20 °C) en probeta.

Sólidos Totales ( $S_T$ ): el contenido de sólidos se determinó por gravimetría. Se pesaron 5 g de resina base y se secaron a 105 °C durante 2 h

Tiempo de Elución en Copa Ford N° 4: es una medición empírica de la viscosidad donde se mide el tiempo que demora en vaciarse una copa calibrada de 100 ml a una temperatura de 25 °C.

Propiedades Reométricas: el comportamiento reométrico de la resina se midió en un viscosímetro cono/plato Brookfield (DV3TRV), usando la configuración CP-51Z en un rango de variación de velocidad de deformación de 34.84-960 s<sup>-1</sup>, a 25°C en un intervalo de medición constante de 30 s.

Espectroscopía de resonancia magnética nuclear (<sup>1</sup>H RMN): los espectros de <sup>1</sup>H RMN fueron adquiridos en un espectrómetro de Resonancia Magnética Nuclear Bruker FT-300, operando a 300,14 MHz en <sup>1</sup>H, y empleando dimetilsulfoxido deuterado como solvente. Los desplazamientos químicos ( $\delta$ ) se expresan en ppm, relativos al solvente residual de DMSO. Las constantes de acoplamiento ( $J$ ) se expresan en Hz. Las señales fueron asignadas de acuerdo a Fisher et al. [3]

Espectroscopía de infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR): los espectros fueron adquiridos en un espectrofotómetro Shimadzu FTIR-8201 PC de transformada de Fourier en la región de frecuencia de 4000-400 cm<sup>-1</sup>. Para el análisis de los espectros se empleó el software del equipo (Hyper IR). Para la preparación de las muestras se emplearon pastillas de KBr que fueron recubiertas con la resina bajo estudio. Luego se secaron en un desecador de vacío a temperatura ambiente durante 3 días. La asignación de bandas se hizo de acuerdo a Poljansek y Krajnc [4].

## Estudio del curado de las resinas PFw y PFa

Aproximadamente 500 mg de resina PFw y PFa se colocaron en tubos de ensayo tapados a 150 °C durante 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 y 20 minutos. Luego se adicionaron 3 ml de dimetilformamida (DMF) en cada uno de los tubos bajo agitación. Las muestras que presentaron disolución completa (fracción soluble = 100 %) fueron analizadas por SEC y se determinó la fracción soluble de aquellas muestras con presencia de material insoluble.

SEC: para la determinación de pesos moleculares medios en número ( $\bar{M}_n$ ) y en peso ( $\bar{M}_w$ ) se empleó un Cromatógrafo Líquido Waters, con bomba modelo binaria 1525 e inyector automático Waters 717plus, acoplado a una única columna Shodex y un detector IR. Se empleó dimetilformamida (DMF) como fase móvil y un caudal de 1 mL/min. La temperatura del sistema fue de 25 °C. El volumen de las muestras disueltas en DMF fue de 0,25 mL con una concentración nominal de 1 mg/mL. Antes de la inyección las muestras fueron filtradas en filtros de 0,22  $\mu$ m.

Para la calibración universal se emplearon patrones de PEG y PEO SHODEX SM-105 (Lote 90601, certificado por Showa Denko K. K.) de masa molar de pico de 1200, 3070, 7210, 19600, 55100, 275000, 133000 y 666000 g/mol.

$$\text{Log } M = -0,53993x + 8,02084 \quad (1)$$

Fracción soluble (FS): para la determinación de la fracción soluble las muestras se filtraron con papel de filtro Whatman N° 42 en equipo de filtración al vacío. Luego, el residuo se lavó con agua destilada y acetona. Finalmente, el residuo se llevó a estufa a 70 °C hasta peso constante. La fracción soluble se determinó a partir de la siguiente expresión:

$$F_s = \left( 1 - \frac{mf}{mi \left( \frac{\%S_T}{100} \right)} \right) \times 100 \quad (2)$$

donde mf es la masa en gramos del residuo seco y mi es la masa inicial en gramos.

## Resultados y Discusión

### Caracterización de los prepolímeros (PFw y PFa)

En la tabla 1 se muestran las propiedades físicas de la resina PFw y PFa.

	PFw	PFa
pH	7,64	8,16
Densidad (g/mL)	1,18	1,05
%S <sub>T</sub>	59,20	43,66
Tiempo de elución por Copa Ford N° 4 (s)	38,33	12,95
Viscosidad (Pa.s)	115	9

De los valores de sólidos se observa que el volumen de agua eliminado durante la destilación es menor al alcohol adicionado observándose una disminución en la densidad y viscosidad de la resina como resultado de la menor densidad y viscosidad del alcohol en comparación con la del agua. La diferencia observada en el pH es debida al ajuste que se realiza al final de la síntesis industrial.

En la Fig.1 se muestra la variación de la viscosidad en función del esfuerzo de corte. PFw y PFa presentaron un comportamiento newtoniano. La viscosidad de PFa resultó menor a PFw (Fig 1 y Tabla 1) en concordancia con los resultados obtenidos en Copa Ford.

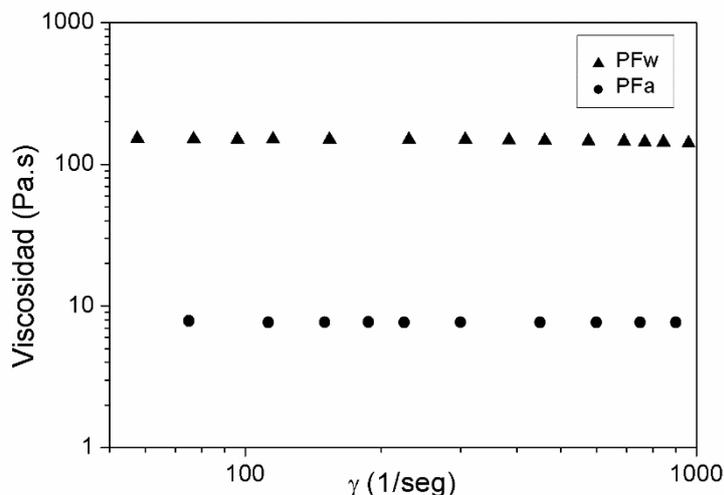


Fig. 1. Comportamiento reológico de la resina PFW y PFA.

En la Fig. 2 (a) se muestra el espectro de resonancia magnética nuclear de H ( $^1\text{H}$  RMN) de PFA. La región entre 6,00 y 8,00 ppm está asociada a los protones aromáticos de la resina. Los protones de los *o*- y *p*- metiloles están presentes a 4,46 ppm y 4,41 ppm, respectivamente. Los hidrogenes de los grupos metileno se observan a 4,30 y el protón del grupo éter se observa a 4,70 ppm. El resto de las señales a 1,01 y 3,81 ppm corresponden a los protones de etanol y sus impurezas, DMSO y agua.

Por otra parte, en la Fig.2 (b) se muestra el espectro infrarrojo de la resina PFA y en la Tabla 2 la correspondiente identificación de bandas. La relación de intensidades de las señales a  $1118\text{ cm}^{-1}$  y  $1012\text{ cm}^{-1}$  correspondientes a puentes éter e hidroxilos alifáticos ( $[-\text{COC}-]/[-\text{OH}$  alifáticos]) fue de 0,44 y la correspondiente a puentes metileno alifáticos ( $[-\text{CH}_2-]/[-\text{OH}$  alifáticos]) fue de 1,72. Estos resultados sugieren mayor contenido de puentes metileno en la resina base.

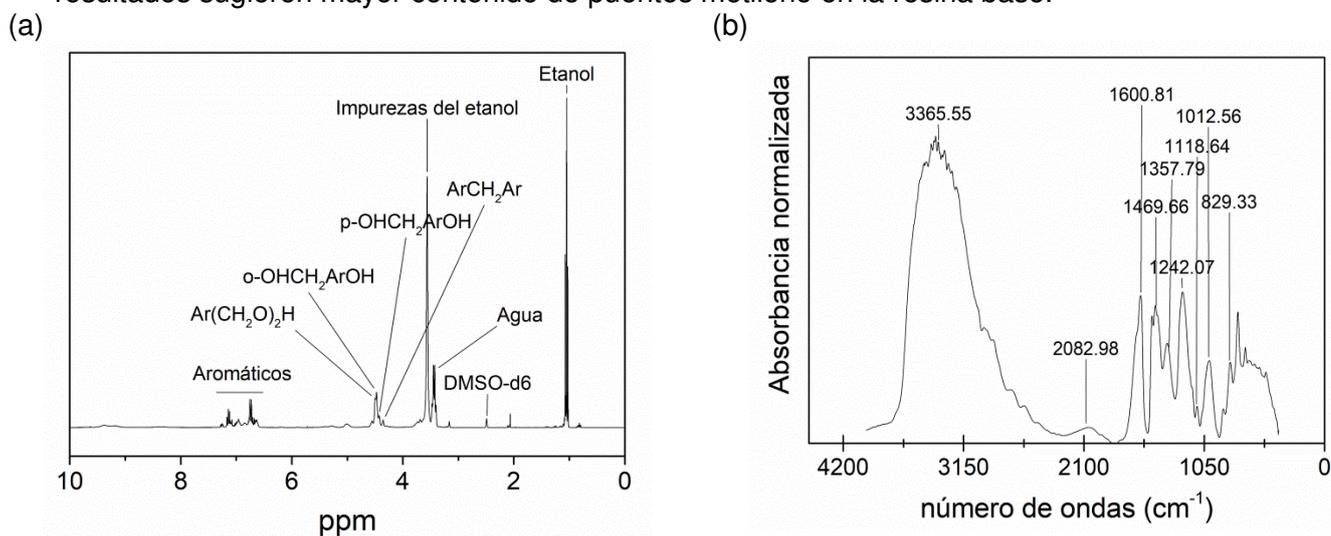


Fig. 2. Espectros para PFA:(a)  $^1\text{H}$  RMN; y (b) FTIR.

Tabla 2. Grupos funcionales y número de onda observados para la resina PFA.

Número de onda de literatura (cm <sup>-1</sup> ) [4]	Número de onda observada en este trabajo (cm <sup>-1</sup> )	Grupo Funcional
3400	3365	OH
2925	2953	Vibración de estiramiento de -CH <sub>2</sub> - en fase
2850	-	Vibración de estiramiento de -CH <sub>2</sub> - fuera de fase
1610	1601	C=C anillo aromático
1517	-	C=C anillo aromático
1504	1500	C=C anillo aromático
1480	-	C-H alifático
1460	1469	Vibración de deformación -CH <sub>2</sub> -
1450	-	C=C anillo bencénico apantallado por grupo metileno
1390	-	OH en plano
1378	1358	OH en plano
1237	1242	Estiramiento asimétrico de C-C-OH fenólico
1153	-	Estiramiento de C-O
1100	1118	Vibración de estiramiento asimétrica de C-O-C éter alifático
1045	-	Vibración de estiramiento de unión simple de C-O de grupo metilol
1000	1012	Hidroxilo alifático
976	-	Anillo bencénico sustituido en 1, 2, 4
885	870	CH fuera de plano, H aislado
835	829	CH fuera de plano, para sustituido
760	752	CH fuera de plano, orto sustituido
694	688	5H adyacente

### Estudio del curado de las resinas PFW y PFA

La Fig. 3 se muestra el cromatograma obtenido para las muestras PFW y PFA a los 4 min de curado. Nótese que las distribuciones son muy heterogéneas debido a la posible falta de homogeneidad dentro del reactor. La resina PFA presentó una menor proporción de concentración de especies de bajas masas molares con respecto a la resina PFW.

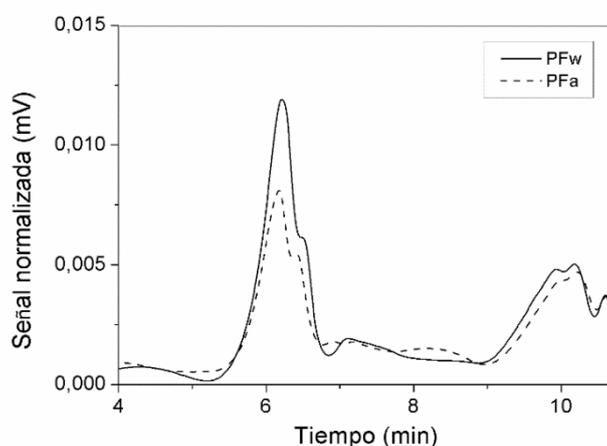


Fig. 3. Cromatograma de PFA y PFW a los 4 minutos de curado.

La Fig. 4 muestra la evolución de la masa molar media en número ( $\bar{M}_n$ ) antes del punto de gel y la FS después del punto de gel.

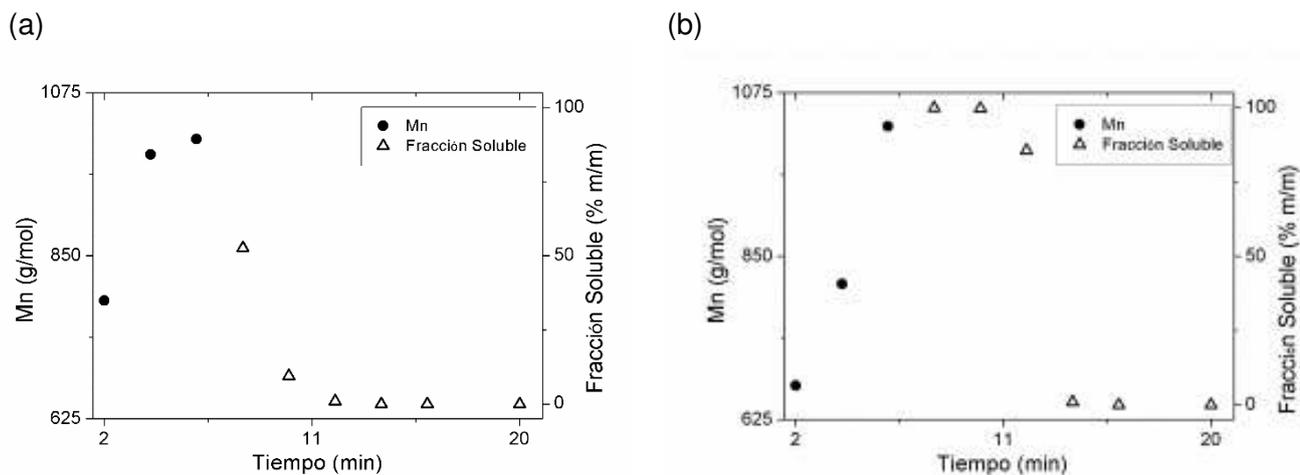


Fig. 4.  $\bar{M}_n$  y Fs vs tiempo: (a) PFW y (b) PFa.

La variación temporal de  $\bar{M}_n$  y la fracción másica de PFa resultaron menores que para PFW con menor crecimiento de las masas molares. Los resultados de fracción soluble sugieren un incremento importante de las masas molares entre los 8 y 12 min para PFW y curado completo a los 14 min. El curado completo para PFa se alcanzó a los 16 min.

## Conclusiones

El alcohol mejora la impregnación de los papeles y favorece el secado debido a su menor viscosidad y mayor volatilidad en comparación con el agua. Por otra parte, el alcohol tiene un efecto desactivante sobre la cinética de curado de los resoles permitiendo un mayor control de la etapa de impregnación a fin de evitar la gelificación prematura de la resina. El tiempo de impregnación y secado a 150 °C de la resina estudiada debe ser menor a 15 min siendo su valor óptimo de 6 min.

En futuros trabajos se pretende ampliar el estudio a las resinas de melamina-formaldehído a fin de elucidar su curado en la obtención de laminados decorativos.

## Agradecimientos

A CONICET, U.T.N (PID IPAISF0004433TC y PID IPTUNRE0004309), U.N.L., y SeCYT por el financiamiento.

## Referencias

- [1] Detlefsen, W. D., 2002. *Chapter 20: Phenolic resins: some chemistry, technology, and history en Adhesion Science and Engineering: Surfaces, Chemistry and Applications*, A. V. Pocius (ed), Elsevier Science, Danvers, Estados Unidos.
- [2] Zhang, Y., Zhang, Y., He, L., Zhou, Z., 2007. Cure rate of Phenol-Formaldehyde (PF) resol resins catalyzed with MgO. *J Adh Sci Technol*. 21(9), 833-839.
- [3] Fisher, T. H., Chao, P., Upton, C. G., Day, A. J. (1995). One-and two-dimensional NMR study of resol phenol-formaldehyde prepolymer resins. *Magnetic resonance in chemistry*, 33(9), 717-723.
- [4] Poljansek, I., Krajnc, M., 2005. Characterization of phenol-formaldehyde prepolymer resins by in line FT-IR spectroscopy. *Acta Chimica Slovenica*, 52(3), 238.

# REVISIÓN DE KITS PARA LA DETERMINACIÓN DE ARSÉNICO EN AGUAS

Agostina Bragas<sup>1</sup>, Mauricio Matalia<sup>2</sup>, Mariana Muzzio<sup>1</sup>, Paula Sarmiento<sup>3</sup>, Diego Semprini<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Becario de Ciencia y Tecnología; <sup>2</sup> Becario EVC-CIN; <sup>3</sup> Becario BINID; <sup>4</sup> G.I.D.A.I.Q  
U.T.N. F.R.V.M. - Av. Universidad 450, Villa María, Córdoba

E-mail: [ppqca@frvm.utn.edu.ar](mailto:ppqca@frvm.utn.edu.ar)

Director: Mg. Ing. Miguel A. Rosa

## Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo realizar una revisión bibliográfica de los kits para determinación de arsénico en campo. Se realizó una búsqueda bibliográfica de artículos científicos, revistas técnicas de determinación de arsénico y manuales de uso de kits existentes en el mercado. Las pruebas comerciales comparadas en esta revisión, corresponden a las siguientes empresas: Hach, Industrial Test Systems, Merck y Palintest. Se examinaron las reacciones involucradas, métodos de determinación y se relevaron los reactivos, materiales, equipos empleados y rangos de detección. Luego del análisis se encontró que todos los kits se basan en la reacción de Gutzeit. Los que emplean un mecanismo digital de medición son más precisos, mientras que los kits con métodos de medición enteramente visual presentan limitantes tales como la interferencia H<sub>2</sub>S en la generación de color de las tiras reactivas y el contenido de HgBr<sub>2</sub>.

**Palabras claves:** Arsénico; Cuantitativo; Cualitativo; Análisis de Laboratorio; Kits.

## Introducción

El límite máximo de arsénico en el agua para consumo humano, establecido por la Organización Mundial de la Salud es de 10 ppb [1]; no obstante muchos países establecen un límite máximo de 50 ppb, dentro de los cuáles se incluye Argentina. La contaminación afecta a distintas regiones del mundo como: Bangladesh, China, India, México, Myanmar, Nepal, Pakistán, Vietnam y Estados Unidos. En la actualidad, dos millones de personas entre Chile y Argentina están potencialmente expuestos a la ingesta de agua con más de 50 ppb de As y consecuentemente tienen el riesgo elevado de padecer Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico (HACRE). [2]

La determinación de As se realiza con el objetivo de conocer el grado de contaminación de aguas para consumo humano. Esta revisión toma como punto de partida las características de kits de prueba para determinación de As en agua basados en técnicas analíticas, para el desarrollo de un nuevo kit basado en la reacción de azul de molibdeno, que actualmente se encuentra en investigación. Previamente, es necesario revisar los métodos de laboratorio que incluyen técnicas de alta resolución que, aunque no son prácticas para el monitoreo in situ en regiones en desarrollo, son de interés en cuanto a sus características particulares tales como: límites de detección, volúmenes de muestra y tiempos. Los kits de campo proporcionan un enfoque semicuantitativo adecuado para su uso y son confiables y seguros para determinaciones de As.

## Métodos de determinación de arsénico en laboratorio

Espectroscopia de absorción atómica (AAS), espectroscopia de masa con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) y espectroscopia de fluorescencia atómica (AFS) son las técnicas de determinación preferidas utilizadas en la literatura para la calibración y validación de la detección de arsénico. Aunque son poderosas herramientas analíticas, el alto costo y el mantenimiento asociados las hace inadecuadas para el monitoreo rutinario de arsénico en regiones en desarrollo. En la tabla 1 se expone un resumen de límites de detección (LDD), reproducibilidad, volumen de muestra, tiempo y habilidades requeridas para el empleo de las técnicas AAS, ICP-MS y AFS. Las tres son técnicas analíticas que pueden detectar arsénico con alta sensibilidad y selectividad. Las técnicas AAS e ICP-MS son categorizadas como “estándares analíticos de oro” para detección de arsénico. AAS es una técnica relativamente más económica que ICP-MS, pero requiere grandes volúmenes de muestra y un procesamiento de preparación complicado de las mismas. Por lo contrario, ICP-MS es una técnica más costosa pero involucra una preparación de muestra más

simple y tiene un espectro de lectura fácil de interpretar. La detección AFS involucra varias de las ventajas de ambas de las técnicas anteriormente nombradas, además de su costo relativamente bajo y capacidad de especiación. [3]

Tabla 1: Comparación de Técnicas de Laboratorio

	AAS	ICP-MS	AFS
LDD (ppb)	0,0009-1	0,0003-1	0,0003-10
Reproducibilidad(%RSD)	> 10	> 10	> 10
Volumen (μL)	< 1000	2-200	2-200
Tiempo requerido	aprox. 30 min.	aprox. 30 s.	aprox. 10 min.
Habilidades requeridas	Fácil uso para un técnico capacitado.	Difícil desarrollo del método inicial incluso para un técnico capacitado.	Fácil uso para un técnico capacitado.

### Métodos de determinación de arsénico en campo

Los kits de pruebas de As en campo se basan en la reacción de Gutzeit: esto implica la reacción de  $\text{HgBr}_2$  con  $\text{AsH}_3$ . En principio, estos kits proporcionan un enfoque semicuantitativo rentable para la medición en campo del agua potable contaminada con arsénico. Normalmente se necesitan decenas de mililitros de muestra de agua. La muestra es fuertemente acidificada y adicionada con un poderoso agente reductor, tal como un metal libre de As o  $\text{NaBH}_4$ , cuya función es liberar  $\text{H}_2$  (Figura 1). El gas liberado es pasado a través de un filtro empapado con  $\text{Pb}(\text{OAc})_2$  para eliminar  $\text{H}_2\text{S}$  que puede estar presente e interferir en la determinación. El  $\text{AsH}_3$  pasa a través de este filtro hacia un tapón impregnado con  $\text{HgBr}_2$ , cuyo color cambia a un amarillo de intensidad variada dependiendo del nivel de As presente. Mientras que la técnica es relativamente económica y conveniente, la sensibilidad es apenas adecuada al límite de la regulación. El  $\text{AsH}_3$  es altamente tóxico y puede fugarse del recipiente de ensayo si no se sella cuidadosamente, mientras que los tóxicos que contiene (Pb y Hg) generan residuos. [4]

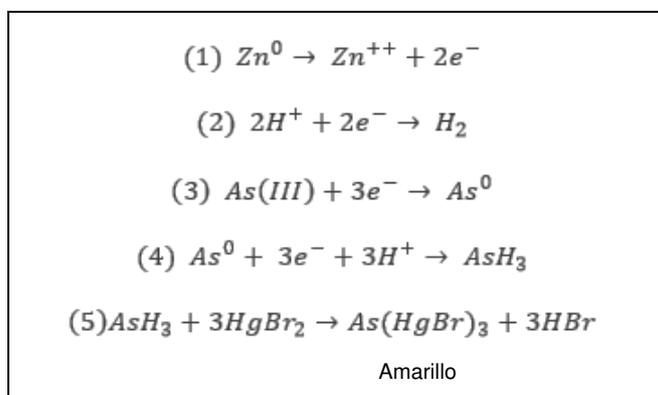


Figura 1: Reacciones Gutzeit. (1-4) Generación de gas arsina. (5) Reacción responsable del cambio de color ( $\text{As(HgBr)}_3$ ). [5]

### Kits de prueba de As

#### Evaluaciones de Kits de campo

Los kits de campo proporcionan una alternativa rentable y aceptable para su uso en determinaciones in situ. En la tabla 2 se expone un cuadro comparativo completo de todas las características de los kits de pruebas analizados. Estos son: Hach, MQuant (MQ), MQuant Eliminación de  $\text{H}_2\text{S}$  (MQE), SpectroQuant (SQ), Quick y Arsenator. Se consideran los siguientes parámetros: campo de aplicación, límites de detección teóricos y prácticos, confiabilidad, tiempo, habilidades requeridas, rango de concentración, número de pruebas por kit, método de detección,

formas de presentación, reactivos, materiales, equipos e interferencias. Los kits con métodos de detección digital son más precisos en la medición de As porque eliminan, principalmente, el error del ojo humano para determinar el cambio de color. En cuanto a los métodos visuales, las principales desventajas se relacionan con la manipulación de tiras con mercurio, la producción de gas arsina, y la interferencia de H<sub>2</sub>S en la generación de color. Hach y MQE presentan un reactivo extra en su kit (oxidante) que elimina esta interferencia. En cuanto a Arsenator el número de pruebas por kit es más elevado que los demás kits analizados.

En base a pruebas experimentales realizadas por diferentes autores se concluye que los kits de prueba suelen ser poco confiables en la detección de concentraciones de arsénico menores a 70 ppb, y que la percepción visual del color desarrollado varía en gran medida de un analista a otro. Incluso se ha sugerido que muestras alrededor de 50 ppb deberían volver a analizarse para verificar la determinación. La concentración más baja de arsénico detectable por un kit es de 20 ppb en base a las verificaciones realizadas. Además se ha señalado que durante el análisis, casi el 50% del gas arsina producido escapa al medio ambiente antes de la detección. El gas arsina es más tóxico que el arsénico en solución, por lo tanto la exposición de la persona que lo ejecute es de gran preocupación. [3]

#### *Problemas con kits de campo existentes*

Los inconvenientes de los kits para determinación de arsénico se relacionan con el método de Gutzeit empleado, siendo los más significativos: baja sensibilidad del ojo humano al color amarillo, desvanecimiento en el tiempo del color amarillo desarrollado, sensibilidad de las tiras reactivas para AsH<sub>3</sub> a la interferencia de H<sub>2</sub>S y dificultades al trabajar con zinc. [3]

#### *Interpretación digital de los kits de campo*

En los kits de campo tradicionales la detección es llevada a cabo por el ojo humano, lo cual hace a la simplicidad del método, pero también introduce un error importante. Se han desarrollado nuevos kits que utilizan técnicas digitales para detectar el cambio de color generado y buscan resolver esta problemática, mejorando la sensibilidad. Estas técnicas mantienen la simplicidad para la determinación en campo, ya que los equipos de detección digital utilizados son portátiles; por ejemplo, una cámara, un espectrofotómetro UV-Visible o un teléfono inteligente. Los kits electrónicos, como por ejemplo Arsenator (tabla 2), incrementan la precisión de las mediciones en campo. Se han reportado estudios que indican que Arsenator es correcto en sus determinaciones el 85% de las veces. [3].

Kearns et al. [6] han utilizado escáneres planos para obtener imágenes digitales de los resultados del kit de prueba Hach EZ, para luego cuantificar la cantidad de arsénico detectado mediante el análisis de la imagen usando un software de computadora (Colours). En este método la imagen es descompuesta en componentes de color RGB evaluables y la calibración se realiza en base a la relación directa entre la concentración de arsénico y la intensidad de color. Los autores informan que la generación de su propia calibración de arsénico y la eliminación de la subjetividad del color percibido por el ojo humano permiten una mayor precisión y reducen la frecuencia de resultados erróneos. Similarmente, Salman et al. [7] utilizan escáneres planos para analizar el color desarrollado, pero han agregado su propia modificación del método de Gutzeit en lugar de basarse en un kit ya existente. Se analiza la intensidad de color de la imagen escaneada usando una aplicación de Visual Basic.

Tabla 2: Kits para prueba de Arsénico portátiles basados en la reacción de Gutzeit.

Características	Hach [10]	Merck			Quick [11]	Arsenator [12]
		MQuant [8]	MQuant E H <sub>2</sub> S [9]	SpectroQuant [13]		
Campo de aplicaciones	Aguas potables, minerales, aguas de manantial y de pozo, aguas subterráneas y superficiales.	Aguas potables, minerales, de manantial, de pozo, aguas subterráneas y superficiales.	Aguas potables, minerales, de manantial, de pozo, aguas subterráneas y superficiales.	Aguas potables, residuales, aguas subterráneas y superficiales. No apto para aguas de mar.	Aguas potables, minerales, aguas de manantial y de pozo, aguas subterráneas y superficiales.	Aguas potables, minerales, aguas de manantial y de pozo, aguas subterráneas y superficiales.
LDD Teórico (ppb)	10	10	10		5	0,5 - 2
LOD Practico (ppb)		>50				
Confiabilidad	Pueden identificar muestras por encima de 15 ppb, aunque este valor sigue estando por encima del límite establecido por la OMS.	No confiable para < 70 ppb (*)			Pueden identificar muestras por encima de 15 ppb, aunque este valor sigue estando por encima del límite establecido por la OMS.	Se ha encontrado que es correcto el 85% de las veces. Es más confiable para bajas concentraciones.
Tiempo (min)	20-40	30				20
Habilidades requeridas	Sensibilidad ante el color amarillo. Trabajar con rapidez.	Sensibilidad ante el color amarillo. Trabajar con rapidez.	Habilidad para realizar diluciones precisas.	Habilidad para realizar diluciones precisas.	Sensibilidad ante el color amarillo. Trabajar con rapidez.	Habilidad para realizar diluciones precisas.
Rango de Concentración (ppb)	0, 10, 30, 50, 70, 300 y 500.	20; 50; 100; 200 y 500. 100; 500; 1000; 1700 y 3000.	5, 10, 25, 50, 100, 250 y 500.	1 a 20. 5 a 100.	0, 5, 10, 20, 40, 60, 100, 200, 300 y 500.	2 a 100.
Nº de pruebas/kit	100	100	100	30	2, 50 y 100	420
Método	Visual	Visual	Visual	Lector digital	Visual	Lector digital
Presentación	Reactivos seguros y fáciles de manejar. Dosis unitarias.	Reactivos seguros y fáciles de manejar. Dosis unitarias.	Reactivos seguros y fáciles de manejar. Dosis unitarias.	Reactivos seguros y fáciles de manejar. Dosis unitarias.	Reactivos seguros y fáciles de manejar. Dosis unitarias.	Reactivos seguros y fáciles de manejar. Dosis unitarias.

Tabla 2: Continuación

Características	Hach [10]	Merck			Quick [11]	Arsenator [12]
		MQuant [8]	MQuant E H <sub>2</sub> S [9]	SpectroQuant [13]		
Reactivos por kits	Contiene: Reactivo Nº 1 (100 s.); Nº 2 (100 s.); Nº 3 (100 s.); Nº 4-250g; Nº 5 (100 s.). H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (polvo); HCl (polvo); Zn (polvo). Pot.peligrosos: tiras de ensayo contienen HgBr <sub>2</sub> .	Contiene: 1 fr. de As-1; 2 fr. de As-2; Arsenico patrón Titrisol (1000 mg/l de As). Pot.peligrosos: 100 tiras de ensayo contienen HgBr <sub>2</sub> .	Contiene: 1 fr. As-1, 1 fr. As-2, 1 fr.As-3, Arsenico patrón Titrisol (1000 mg/l de As). Pot.peligrosos: 100 tiras de ensayo contienen HgBr <sub>2</sub> .	Contiene: 1 fr.As-1; 1 fr.As-3; 1 fr. As-4; 1 fr. As-5; 1 fr. As-6. Arsenico solución patrón CRM, 1 mg/l de As.	Contiene: Reactivo Nº 1, Nº 2, Nº 3. Pot.peligrosos: tiras de ensayo contienen HgBr <sub>2</sub> .	Sachet con reactivos en polvo.
Materiales	--	Jeringa de plástico grad. 5 ml; cuchara roja, 2 fr. de reacción con tapa roscada.	Cuchara (roja y verde), 2 fr. de reacción con tapa roscada.	Cuchara (roja y verde); 1 autoselector, probeta grad. 500 ml; pipetas de 1, 5 y 20 ml; cubetas rectangulares 10 y 20 mm (2 unidades de cada tipo)	2 fr. de reacción PVC claro (100 ml); 2 tapas blancas ranuradas; 3 cucharas plásticas (rosa, roja y blanca); Fr. de 395 ml; de 78 ml y de 140 ml; 2 tapas amarillas.	Matraz grad. 500 ml. Trampa de As (tri-FI); FI. de eliminación H <sub>2</sub> S; 4 FI. negros deslizantes; 4 FI. rojos deslizantes, papel de filtro (negro); papel de filtro (rojo), fr. de dilución, cepillo de limpieza, carta de colores.
Equipo	--	--	--	Aparato de reacción: matraz 500 ml; tubo de absorción para arsenico.	--	--
Interferencias	H <sub>2</sub> S para la formación de As(HgBr) <sub>3</sub> . Más de 0,5 mg/L de H <sub>2</sub> S comienza a interferir en el color.	H <sub>2</sub> S para la formación de As(HgBr) <sub>3</sub> . Más de 0,5 mg/L de H <sub>2</sub> S comienza a interferir en el color.	--	--	Hasta 2 mg/l de H <sub>2</sub> S no existe interferencia en los resultados obtenidos.	--
Aclaraciones	Contiene OXONE (mezcla NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> y Potasio monopersulfato) para eliminar esta interferencia.	Muestras >3 ppm As diluirse con H <sub>2</sub> O destilada.	1 fr. de As-3 (para eliminar la interferencia con H <sub>2</sub> S)	Fr. As-2 (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 95-97%) y As-7 (Zn en polvo) no están contenidos en el kit de este test.	Tapas ranuradas: se coloca la tira de medición de color.	Papel de filtro con etiquetas rojas para la eliminación de H <sub>2</sub> S.

\*Aclaración para confiabilidad de Merck: No confiable para menos de 70 ppb, siendo el límite práctico inferior mayor a 50 ppb. Significa que teóricamente puede medir 10 ppb, pero en la práctica mide valores mayores a 50 ppb. Es más confiable para concentraciones mayores a 70 ppb, ya que la gama de amarillo entre 50 y 70 ppb es confusa y con baja definición. Para valores mayores a 70 ppb la medición es segura. Referencias: (s.) sobres; (fr.) frascos; (FI.) filtro; (grad.) graduado; (pot.) potencialmente; (E) eliminación.

## Conclusiones

Del análisis de la presente revisión se puede inferir que un kit ideal de prueba de As en campo debe reunir las siguientes características: ensayo de corta duración, resultados reproducibles y estables en el tiempo, portátil y resistente, mínimos riesgos de contaminación para el operador y el medio ambiente. Además, el plan de monitoreo de arsénico debe ser accesible y fácil de implementar para la población local. En el caso de aquellos cuya detección sea digital, el sensor debe ser sensible y selectivo ante As. Se debe destacar que la habilidad analítica del método es función de la calidad del kit en sí mismo, por lo cual la importancia de los atributos del kit y las habilidades requeridas por los usuarios son imprescindibles para asegurar la exactitud en las mediciones de los mismos. Los aspectos mencionados serán tenidos en cuenta como punto de partida para el desarrollo de un kit de determinación de arsénico en campo, basado en la técnica de azul de molibdeno que se encuentra en investigación actualmente.

## Referencias

- [1] OMS, «Organización Mundial de la Salud,» 22 noviembre 2017. [En línea]. Disponible en [www.who.int](http://www.who.int).
- [2] Fernandez Turiel J. et al. «Estado actual del conocimiento sobre el arsénico en el agua de Argentina y Chile,» Consejo Superior de Investigaciones Científicas CSIC. Disponible en <http://hdl.handle.net/10261/27257>, pp. 1-4, 2005. Consultado en mayo de 2018.
- [3] Yogarajah Nevetha; Scott SH Tsai. «Detection of trace arsenic in drinking water: challenges and opportunities for microfluidics.,» *Environmental Science Water Research & Technology.*, vol. IV, nº 1, pp. 426-447, 2015.
- [4] Ma, Jian, et al. «Speciation and detection of arsenic in aqueous samples: a review of recent progress in non-atomic spectrometric methods.,» *Analytica Chimica Acta*, nº 831, pp. 1-23, 2014.
- [5] Brindle, Ian D. «Vapour-generation analytical chemistry: from Marsh to multimode sample-introduction system.,» *Analytical and bioanalytical chemistry*, vol. 4, nº 388, pp. 735-741, 2007.
- [6] Kearns James; Julian Tyson. «Improving the accuracy and precision of an arsenic field test kit: increased reaction time and digital image analysis.,» *Analytical Methods*, vol. VI, nº 4, pp. 1693-1698, 2012.
- [7] Salman Muhammad et al. «Micro-determination of arsenic in aqueous samples by image scanning and computational quantification.,» *Analytical Methods*, vol. I, nº 4, pp. 242-246, 2012.
- [8] Merck, «MQuant Test Arsénico. » Disponible en [http://www.merckmillipore.com/AR/es/product/Arsenic-Test,MDA\\_CHEM-117927](http://www.merckmillipore.com/AR/es/product/Arsenic-Test,MDA_CHEM-117927), 2013. Consultado en mayo de 2018.
- [9] Merck, «MQuant Test Arsénico Eliminación de iones sulfuros interferentes.» Obtenido de [http://www.merckmillipore.com/AR/es/product/Arsenic-Test,MDA\\_CHEM-117917](http://www.merckmillipore.com/AR/es/product/Arsenic-Test,MDA_CHEM-117917), 2013. Consultado en mayo de 2018.
- [10] Merck, «SpectroQuant Test Arsénico.» Obtenido de [http://www.merckmillipore.com/AR/es/product/Arsenic-Test,MDA\\_CHEM-101747](http://www.merckmillipore.com/AR/es/product/Arsenic-Test,MDA_CHEM-101747), 2017. Consultado en mayo de 2018.
- [11] Palintest, «Arsenator Digital Arsenic Test Kit. » Obtenido de <http://prof-lab.com/wp-content/uploads/2017/08/Arsenator.pdf>. Consultado en mayo de 2018.
- [12] Hach, «Arsenic Test Kit. » Obtenido de <https://www.hach.com/arsenic-low-range-test-kit/product-downloads?id=7640217303>, 2000. Consultado en mayo de 2018.
- [13] Industrial Test Systems, Inc, «Quick Rapid Arsenic Test Kit. » Obtenido de <https://sensafe.com/quick-arsenic/>, 2017. Consultado en mayo de 2018.

# UNA PROPUESTA DE APLICACIÓN DE METODOLOGÍAS ACTIVAS EN UNA MATERIA INTEGRADORA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

Nidia Dalfaro<sub>1</sub>; Carmen G. Del Valle<sub>1</sub>; Gustavo Bernaola<sub>2</sub> y Emanuel Dadamia<sub>1</sub>  
<sub>1</sub>Grupo de Investigación Educativa sobre Ingeniería (GIESIN) FRRe-UTN

<sub>2</sub>Profesor de la cátedra Ingeniería Electromecánica I FRRe-UTN, French 414  
Resistencia, Chaco. CP 3500, ndalfaro@frre.utn.edu.ar

## Resumen

El grupo de trabajo denominado Grupo de Investigación Educativa sobre Ingeniería (GIESIN) inicia este año su tercer Proyecto de Investigación denominado “El desarrollo de las Competencias en Materias Integradoras de las Carreras de Ingeniería Química y Electromecánica de la FRRe de la UTN”.

En Proyectos anteriores indagamos sobre las competencias matemáticas y propuestas de enseñanzas basadas en metodologías activas, en dos cátedras de primer año: Álgebra y Geometría Analítica y Matemática Discreta.

Como los resultados obtenidos fueron muy alentadores, planteamos ahora, propuestas de enseñanzas concretas basadas en el Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) seleccionando contenidos específicos de la asignatura Ingeniería Electromecánica I. Dicha materia es de primer año de la carrera Ingeniería Electromecánica (IEM), que se dicta en la Facultad Regional Resistencia de la Universidad Tecnológica Nacional.

En este trabajo pretendemos mostrar una evaluación de los resultados obtenidos hasta el momento, a fin de retroalimentar a la cátedra para una nueva implementación. Buscamos colaborar con los docentes involucrados en el desarrollo de las competencias ingenieriles planteadas en esta asignatura.

**Palabras Claves:** Competencias – Enseñanza – Aprendizaje – Seguimiento

## 1. Introducción

El Grupo de Investigación Educativa sobre Ingeniería (GIESIN) de la Facultad Regional Resistencia de la Universidad Tecnológica Nacional, desde el año 2010, investiga sobre competencias matemáticas y propuestas de enseñanzas basadas en metodologías activas, para carreras de ingeniería.

Las propuestas de enseñanza basadas en metodologías activas se encuentran dentro del modelo educativo por Competencias. En el mismo se considera que el aprendizaje debe potenciar una integración de las disciplinas del conocimiento, las habilidades genéricas y la comunicación de ideas, por lo que el educando no solo debe saber manejar sus saberes (conocimientos), sino que también debe tener bajo su control sus interacciones sociales, sus emociones y sentimientos, así como sus actividades y, además, debe ser capaz de reconocer, interpretar y aceptar las emociones y sentimientos de los demás (Argudín, 2001 y Ortega, 2008 citados por García Retana, 2011).

Entendemos que “el aprendizaje activo es la instrucción en el aula que involucra a los alumnos en actividades que no sean mirar y escuchar a un profesor. Trabajando individualmente o en grupos, los estudiantes pueden ser llamados para responder preguntas, resolver problemas, debatir, reflexionar, intercambiar ideas o formular preguntas. Tanto la ciencia cognitiva como la investigación empírica en el aula han demostrado reiteradamente que, cuando se implementan adecuadamente, el aprendizaje activo aumenta el alcance y la calidad del logro de los estudiantes

de los resultados de aprendizaje más comunes aparte de la memorización simple” (Felder y Brent).

Siguiendo esta línea, queda claro que: “No es lo que un ingeniero sabe lo que importa. Es lo que él o ella es capaz de hacer con lo que sabe y su inteligencia emocional” (Morell, 2017).

Una de las estrategias de aprendizaje activo es el ABP que consiste en usar problemas contextualizados, en lo posible cercanos a la realidad, como punto de partida para la adquisición e integración de los nuevos conocimientos. Tiene como característica comprometer activamente a los estudiantes, siendo ellos los responsables de su aprendizaje, ya que los docentes actúan como guías alentadores en la indagación para resolver el problema (Barrows, 1986, Torp y Sage, 1999 y Escribano y Del Valle, 2008).

Por otro lado, nuestros proyectos siempre estuvieron enmarcados en la línea de investigación – acción (I-A), ya que no solamente continuamos con el análisis de la problemática, sino que además propusimos acciones remediales a partir de lo indagado (Elliot, 1999).

Una de estas acciones fue la aplicación del ABP en la materia Álgebra y Geometría Analítica de IEM. Como los resultados fueron muy alentadores tanto desde el punto de vista de los docentes como de los alumnos, posteriormente compartimos con los docentes de la facultad nuestra experiencia con esta metodología. Es así como organizamos en el año 2015, el Seminario Taller: “Las competencias matemáticas en la formación del ingeniero”.

Participaron de dicho Seminario Taller los profesores de las materias integradoras de IEM e Ingeniería Química, quienes solicitaron trabajar al año siguiente en forma conjunta con los integrantes del grupo de investigación para aplicar esta metodología en sus cátedras.

En este contexto surgió nuestro tercer y actual Proyecto de investigación: “El desarrollo de las competencias en materias integradoras de las carreras de Ingeniería Química y Electromecánica de la FRRe de la UTN”.

La materia integradora de IEM es “Ingeniería Electromecánica I”, se cursa en el primer ciclo de la carrera, junto con Álgebra y Geometría Analítica, Análisis Matemático I, Física I, Química General, Ingeniería y Sociedad, Sistemas de Representación y Comunicación Lingüística. Todas anuales.

Vimos que mediante la Ordenanza 1029, del año 2004, el Consejo Superior Universitario de la Universidad Tecnológica Nacional adecúa el Diseño Curricular de la Carrera Ingeniería Electromecánica.

Entre las capacidades que se deben desarrollar figuran: juicio crítico, racionalidad en la administración de tecnologías de distinto origen y generación, estar predispuesto a continuar autoformándose, capacidad de aprender sin apoyo, saber interactuar con distintos roles en equipos heterogéneos e interdisciplinario con sentido común y habilidades de conducción.

Continúa con el Perfil específico del Ingeniero Electromecánico. En el mismo se destaca que la Universidad debe aportar herramientas para lograr un profesional con solvencia para afrontar con éxito los problemas surgidos en el ámbito de los sistemas eléctricos, mecánicos, térmicos, hidráulicos e industriales en general. Fundamentalmente el ingeniero tendrá que estar capacitado para resolver problemas nuevos. En resumen, la Universidad debe preparar al Ingeniero para saber "cuando, como y donde" aplicar sus conocimientos, técnicas y habilidades para generar las soluciones.

Por lo expuesto, desde estos lineamientos parece claro que la estrategia del ABP cumpliría acabadamente con los mismos, desarrollando las competencias específicas ingenieriles, ya que se trata de un tipo de aprendizaje activo.

## **2. Desarrollo**

Nuestro Proyecto comenzó a desarrollarse a inicios del año pasado. Las acciones realizadas, hasta el momento, para llevar a cabo la aplicación del ABP en la materia integradora de IEM son:

análisis de la planificación de la asignatura Ingeniería Electromecánica, reuniones con los docentes involucrados y observaciones de clases.

## 2.1 Análisis de la planificación

La planificación presentada por el docente aclara que Ingeniería Electromecánica I pertenece al denominado tronco integrador (Res 326/92 del Consejo Superior de la UTN). Esta estructura curricular ha sido creada en el plan de estudios 1995 y su adecuación del año 2005, a fin de establecer un espacio multidisciplinario y de síntesis que permita, conocer desde el inicio del curso, el trabajo ingenieril.

En la Fundamentación, especifica que “Ingeniería Electromecánica I deberá brindar al alumno el ámbito de acceso a la carrera proveyendo el conocimiento del desarrollo del plan de estudios, y promoviendo un ámbito que haga más visible los conceptos aprendidos en las materias de las ciencias básicas, a través de aplicaciones y ejemplos relacionados con la profesión”.

Luego aclara “Este espacio formativo desarrolla competencias referenciadas en el perfil profesional, abordando los conceptos dados en otras materias del primer año, desarrollando habilidades para la identificación y solución de problemas en ingeniería, creando un espacio donde los estudiantes puedan interactuar entre sí”

Observamos que se menciona como objetivo “preparar al estudiante como pensador en los problemas de ingeniería enfrentándolo con ellos desde el principio de la carrera”.

Para ello se proponen trabajos grupales, en los cuales los alumnos deberán “aprender a redactar un informe expresado en lenguaje técnico, fundamentado sus observaciones técnicamente. Deberán aprender a desarrollar y presentar una idea proyecto, traducir esta idea en planos en un adecuado lenguaje técnico y construirla, realizando las mediciones correspondientes en las pruebas de campo” (desarrollo de un prototipo).

Aclara que “la presentación de los trabajos frente al curso pretende desarrollar habilidades de exposición y dicción para exponer los conocimientos aprendidos”.

Esta metodología, además, aporta al desarrollo de habilidades para la identificación, análisis, resolución de problemas de ingeniería y toma de decisiones. Se tiene como objetivo fundamental, comprender los problemas profesionales, explicitar sus variables, analizar las soluciones e identificar los fenómenos científicos involucrados desarrollando las competencias necesarias para la asimilación de conocimientos interdisciplinarios.

Entre las actividades de los estudiantes se menciona: Trabajo de campo: visitar una industria u actividad comercial relacionada con la profesión; Realizar un prototipo: diseño, croquis y planos (como se especifica más arriba); Presentar informes: cumpliendo con ítems detallados en una guía entregada previamente; Realizar una presentación del informe en powerpoint que será de apoyo para una exposición oral grupal del trabajo, para el resto de la clase.

Entre las estrategias metodológicas encontramos: Actividades de diagnóstico y profundización, para determinar saberes previos y relacionar los nuevos contenidos con lo que el alumno ya conoce; Actividades en el Campus Virtual Moodle; Propuesta teórica: trabajo con el grupo grande de alumnos; Propuesta práctica: pequeños grupos fijos; Actividades prácticas a desarrollarse en el aula de clases y campus virtual, los alumnos cuentan con guías específicas de los trabajos monográficos a presentar y de ejercicios a resolver; Acuerdos de cooperación con la materia “Sistemas de Representación”, el “Grupo de Impresión 3D” y la “Incubadora de Empresas de Base Tecnológica” y Actividades de coordinación horizontal con Análisis Matemático I, Álgebra y Geometría Analítica, Física I, Química General y Sistemas de Representación.

Se aclara que el equipo docente trabajará de forma integrada, quedando descartada la clásica división entre teoría y práctica.

## **2.2 Reunión con el docente**

A inicios del segundo cuatrimestre del año pasado, nos reunimos con el titular de la materia integradora de IEM "Ingeniería Electromecánica I". El fin fue acordar actividades a realizar en el marco del Proyecto.

En la reunión, dicho docente manifestó que se abocaría a la confección de las estadísticas referidas al Rendimiento Académico de cohortes anteriores y cantidad de egresados de escuelas Técnicas que están cursando dicha asignatura. Para después contrastarlas con las de la cohorte 2018, luego de la aplicación del ABP.

Se acordó en este encuentro que los integrantes del equipo de investigación realizarían observaciones de clases en las dos comisiones de IEM, en los turnos tarde y noche.

Además, hubo un común acuerdo en trabajar en forma conjunta los profesores de la materia integradora y los de Álgebra y Geometría Analítica para contextualizar y complejizar problemas tomados de la bibliografía que usan dichas materias. Estos problemas se resolverían con la metodología de Aprendizaje Basado en Problemas, en el segundo cuatrimestre del año 2018, integrando conocimientos de Álgebra y Geometría Analítica, Análisis Matemático I, Física I y Sistemas de Representación.

## **2.3 Observaciones de clases**

Según lo acordado en la reunión con el titular de Ingeniería Electromecánica I, en el segundo cuatrimestre del año 2017 observamos las clases de dicha materia.

El objetivo de estas observaciones fue comprobar qué tipos de estrategias utilizaba el docente y la interacción que se establecía en el aula entre docentes y alumnos y al mismo tiempo comprobar la coherencia entre lo presentado en la planificación y lo ocurrido en la clase.

Realizamos la observación con la ayuda de una plantilla diseñada para tal fin.

Esta herramienta sirvió para establecer preguntas o criterios que nos ayudaron a definir los objetivos y focos de la observación.

Se realizaron las observaciones sin que hubiera interacción entre observador y estudiantes, aun cuando el docente había anunciado la presencia de éstos y el motivo de la actividad.

Se hicieron tres observaciones, las cuales fueron presenciadas por dos miembros del equipo de investigación, en los meses de octubre y noviembre del año 2017. Se registró todo lo sucedido en el transcurso de las clases en la ficha de observación.

En las tres clases observamos que el mismo aplicó esta metodología, para trabajar problemas ingenieriles específicos, como lo solicita el diseño curricular para las materias mencionadas. Los grupos, conformados con anterioridad, llevaron los materiales necesarios para desarrollar sus tareas.

Trabajaron en un ambiente ameno, se los observaba comprometidos con sus actividades. El intercambio entre profesor y alumno era fluido, respetuoso, mostrando apertura y confianza. El docente trabajó con esta metodología desde el inicio de las actividades académicas. Esta situación se patentizó en las observaciones realizadas.

Luego de las observaciones, las mismas fueron registradas por escrito y compartidas con el titular de la cátedra.

Cabe acotar que el docente responsable de la materia integradora asistió a un curso de capacitación sobre ABP, dictado por el equipo de investigación en el año 2015 en el marco de las actividades de nuestro segundo proyecto de investigación.

### 3. Conclusiones

Luego del análisis de las actividades desarrolladas encontramos que, existe coherencia entre lo planificado y las estrategias utilizadas en clase. Las mismas están acordes a lo que se solicita en la resolución 326/92 del Consejo Superior de la UTN sobre materias integradoras, a saber: “Organizar las actividades académicas con los problemas básicos como centros de estudio e integrarlas alrededor de ese centro definido”... “El aprendizaje está centrado en el alumno”... “Se aprende haciendo”... “Un estudiante se va a formar como profesional realizando los procesos característicos de la profesión”... “Se formará como pensador en los problemas básicos que dan origen a su carrera si se enfrenta con ellos desde el principio”... “El diseño curricular debe estructurarse en función de un tronco integrador, como línea curricular que se desarrolla a lo largo de toda la carrera a través de materias integradoras. En las mismas se plantean instancias sintetizadoras que incluyen el trabajo ingenieril partiendo de problemas básicos de la profesión”... “Las materias integradoras se caracterizan por: otorgar significación a los aprendizajes, desarrollar conocimientos y procesos relacionados con la práctica ingenieril, crear necesidades de adquisición de conocimientos que conduzcan a concluir aprendizajes por aproximaciones sucesivas”.

Todos estos aspectos fueron comprobados mediante la observación de clases, particularmente en la que los estudiantes presentaron sus trabajos finales donde se pudieron apreciar los prototipos presentados, el uso del lenguaje técnico, la solución encontrada al problema planteado, el trabajo en equipo, en fin el aprendizaje autogestionario que es lo que se solicita en el Diseño Curricular.

Las mismas son metodologías activas que coadyuvan a la consecución de las competencias ingenieriles.

Entendemos que la participación del docente en el curso de capacitación dictado por el equipo de investigación fue de utilidad para el mismo en el desarrollo de sus actividades y que la continuidad del proyecto en la cátedra sería un paso más en la articulación con otras ciencias básicas como también en la utilización del ABP.

Con los avances realizados en este Proyecto hasta el momento, estamos convencidos de que el trabajo conjunto del grupo de investigación con cátedras de las distintas carreras que se cursan en nuestra facultad favorece nuestra tarea, la de los docentes que colaboran con el grupo permitiéndonos involucrarnos en sus tareas y a los estudiantes. Estos últimos son los verdaderos destinatarios de los esfuerzos realizados.

Gracias a las reuniones con los docentes de la cátedra Ingeniería Electromecánica I pudimos conocer la realidad de los estudiantes de esta carrera, los problemas que enfrentan para aplicar e integrar los conocimientos de otras asignaturas.

Consideramos que las devoluciones efectuadas luego de la observación de clases fueron beneficiosas para afirmar al docente en sus buenas prácticas didácticas como también para el equipo de investigación.

Acotamos por último que el hecho de que el becario del grupo de investigación, estudiante avanzado de ingeniería Electromecánica es ayudante de Álgebra y Geometría Analítica, por lo que su aporte es muy valioso para la adecuación de los problemas que trabajaremos este año en la materia integradora de esta carrera.

### 4. Referencias bibliográficas

Barrows, H.S. (1986). A Taxonomy of problem-based learning methods, en *Medical Education*, 20/6, 481–486.

Elliot, J. (2000). *La Investigación Acción en Educación*. Ediciones Morata. S. R. L. Cuarta Edición. España.

Escribano, A y Del Valle, A. (2008). *El Aprendizaje Basado en Problemas*. Madrid: NARCEA.

Felder,R.; Brent,R. : Sitio Web . <http://educationdesignsinc.com/> Accedido el 19 de Febrero de 2018

García Retana, J. A. (2011). Modelo educativo basado en competencias: importancia y necesidad. Revista Electrónica "Actualidades Investigativas en Educación", vol. 11, núm. 3, Universidad de San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=44722178014>. Accedido el 29 de abril de 2018.

Morell,L. (2017): Pasos esenciales para la innovación de currículos de ingeniería y disciplinas afines. InnovaHied

Torp, L y Sage, S. (1999). El aprendizaje basado en problemas. Desde el jardín de infantes hasta la escuela secundaria. Madrid: Amorrortu.

# UNA HERRAMIENTA LÚDICA ADAPTADA PARA USO EN MÚLTIPLES CONTEXTOS DE APRENDIZAJE

Autor: Federico Hauque  
Directores: Marta Castellaro, María Julia Blas  
Departamento de Ingeniería en Sistemas de Información  
Facultad Regional Santa Fe, Universidad Tecnológica Nacional, Lavaisse 610, Santa Fe

## Resumen

En el siguiente trabajo se presenta el desarrollo de una herramienta lúdica que tomó como punto de partida el resultado de un trabajo práctico de alumnos de primer año de Ingeniería en Sistemas de Información. Esta herramienta consiste en un juego de preguntas y respuestas que, en principio se ideó para formular interrogantes sobre las materias que cursaban los alumnos, pero que luego, como parte de un proyecto de investigación, se propuso modificar su funcionamiento para que el juego permita formular preguntas sobre cualquier temática. Este desarrollo responde al interés manifestado por alumnos y docentes de nivel medio respecto al juego desarrollado. El mismo se presentó en congresos y visitas a escuelas, donde muchas personas se vieron interesadas por la posibilidad de emplear el desarrollo como una herramienta didáctica. Sin embargo, dado que no se podía emplear el juego para asignaturas distintas de las preestablecidas, se iniciaron las tareas para modificar el juego y permitir que se carguen preguntas y categorías desde archivos de configuración. También se comenzó el desarrollo de un aplicativo complementario que permite redactar las preguntas y darles un formato de salida adecuado para su almacenamiento. Los cambios efectuados al juego original, así como el aplicativo complementario, su funcionamiento y mecánica de uso son los principales temas de este trabajo.

## 1. Introducción

Este trabajo se enmarca en actividades desarrolladas como parte del PID denominado *“Las intervenciones didácticas y el uso de TIC para la motivación e integración en el inicio de la carrera de ingeniería en sistemas de información”* (Castellaro, 2017), cuyos objetivos son *“explorar, diseñar, implementar y evaluar intervenciones didácticas que permitan favorecer la motivación e integración de conocimientos y habilidades en los alumnos del primer año de Ingeniería en Sistemas de Información”*.

Los alumnos que comienzan los estudios universitarios encuentran en general una realidad diferente a la que tenían como habitual y se evidencia una falta de homogeneidad en cuanto a conocimientos y capacidades previas, y las expectativas con la disciplina de Sistemas de Información. Este escenario requiere llevar adelante estrategias de formación para minimizar el impacto negativo producido por diferentes factores que muchos estudiantes traen consigo y deben superar. Existe una estrecha interrelación entre lo cognitivo y lo motivacional en las condiciones del aprendizaje significativo, y el rendimiento alcanzado por un individuo estará en función tanto de sus conocimientos y capacidades como de otros factores que pueden englobarse genéricamente bajo el término de "motivación". Esta realidad requiere estrategias, materiales de trabajo y prácticas docentes elaboradas especialmente, que busquen motivar e integrar, atendiendo a la realidad de los grupos de jóvenes que transitan ese período, ampliando el conjunto de recursos básicos con los que habitualmente se trabaja, generar propuestas que apoyen los aprendizajes y las competencias, teniendo como restricción que recién inician la carrera y por ende cuentan con poca formación específica ya desarrollada.

En este contexto, se tomó como punto de partida el trabajo práctico propuesto a los alumnos de la asignatura Algoritmos y Estructuras de Datos (AEDD) con el objetivo de analizar la posibilidad de mejorar y adaptar el desarrollo, de modo que se lo pueda emplear en diferentes contextos (tanto dentro como fuera del ámbito de la universidad). De todos los trabajos presentados, la cátedra eligió una herramienta y se les propuso a los alumnos continuar mejorando su desarrollo para posteriormente exhibirlo a futuros estudiantes, presentarlo en congresos (Hauque y Saudejaud,

2016a) y compartirlo con escuelas medias. De esta manera, una idea que intentaba integrar los contenidos de una única materia (el trabajo práctico de AEDD), se pudo utilizar para formular experiencias integradoras. En las mismas, alumnos avanzados de la carrera presentaron a ingresantes y aspirantes la herramienta desarrollada, permitiéndoles no solo usarla, sino también conocer ciertos detalles de su funcionamiento (Hauque y Saudejaud, 2016b). El programa creado también se expuso en ferias de carreras y visitas a escuelas medias, en las que muchos alumnos y docentes mostraron entusiasmo al interactuar con la herramienta (principalmente por el hecho de que la misma fue producida completamente por estudiantes que recién daban sus primeros pasos en programación).

Durante el ciclo lectivo 2015, la cátedra AEDD planteó como trabajo práctico integrador la elaboración de un juego de preguntas y respuestas de características similares al renombrado Preguntados (Preguntados, Sitio web). La diferencia radicó en que las cinco categorías propuestas en el juego original fueron reemplazadas por materias del primer año de la carrera, tales como: Análisis Matemático I, Algoritmos y Estructuras de Datos, Física I, Matemática Discreta y Arquitectura de Computadoras. De este modo, la aplicación resultante de los desarrollos de los alumnos posee utilidad académica. Todas las preguntas del juego se enmarcaron en los temas tratados por alguna de esas 5 materias (Cátedra de AEDD, 2015). Durante las visitas a escuelas medias en las que se expuso el juego, algunos docentes se mostraron interesados en la posibilidad de emplear la modalidad de juego de preguntas y respuestas como complemento a la autoevaluación de sus contenidos. Sin embargo, dado que la herramienta producida solo se enfocaba en las cinco asignaturas de Ingeniería en Sistemas, no se podía aprovechar el potencial del juego en otros contextos.

Fue así que, desde el proyecto de investigación, surgió la idea de parametrizar la herramienta inicial a fin de trabajar con archivos de configuración en los cuales los docentes definan las áreas temáticas que se desean utilizar y puedan construir su propio repositorio de preguntas para tales áreas. Por este motivo, se diseñó y desarrolló una herramienta que asiste al usuario en la edición de los archivos de configuración, proporcionando una interfaz en la que se puedan redactar y almacenar las preguntas. El desarrollo obtenido permite a los docentes (en este caso, usuarios-administradores del aplicativo complementario) asignar un nombre a cada categoría de juego y asociar dicha categoría a un grupo de preguntas, las cuales pueden ser creadas, modificadas y gestionadas por ellos mismos. El objetivo que se persigue con tales desarrollos es permitir que el juego se adapte a las necesidades de todos los docentes que deseen usarlo como herramienta didáctica, sin importar qué temáticas se desean abarcar con las preguntas.

## 2. El juego PregUTNados original

La consigna del trabajo práctico integrador de la cátedra de AEDD en 2015 definió los lineamientos básicos de la modalidad del juego a desarrollar, pero dejó a los alumnos la libertad de decidir el diseño de las pantallas y su colorido. De esta manera surgieron una gran variedad de trabajos con distinto formato, pero todos obedeciendo a la misma mecánica de funcionamiento. En la Figura 1 se puede observar (a modo de ejemplo) el formato implementado para la ruleta que sorteá las preguntas.

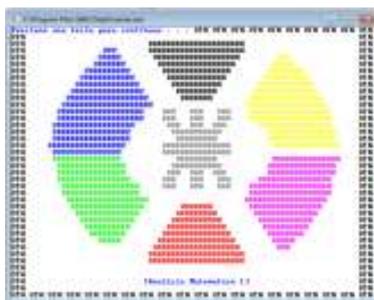


Figura 1: Ruleta del juego PregUTNados.

Jugar una partida en PregUTNados consiste en responder diez preguntas elegidas aleatoriamente por la ruleta que gira entre seis posiciones: cinco corresponden a las categorías del juego y la última permite al jugador elegir la categoría que prefiera para responder. Junto con cada interrogante se muestran en pantalla cuatro alternativas posibles, de las cuales una sola es correcta. Elegir la opción correcta incrementa el puntaje del jugador en la partida en diez unidades, mientras que optar por otra de las alternativas no otorga ningún puntaje. Hay un tiempo máximo de treinta segundos para responder cada pregunta.

La base de preguntas con la que trabaja el programa fue construida colaborativamente por los alumnos que debieron aportar 2 preguntas por cada categoría. Así, la catedra logró reunir más de cuatrocientas interrogantes que aseguran que se puedan jugar varias partidas sucesivas antes de ver preguntas repetidas. Para mayores detalles acerca de la implementación de esta herramienta, referirse a (Hauque y Saudejaud, 2016a)

### **3. La herramienta de personalización de categorías y preguntas**

La herramienta original de PregUTNados no estaba pensada para que se pueda modificar el nombre de las categorías, por lo que (originalmente) esta información se definió como texto estático en el código del juego. Cuando se propuso permitir que dichos nombres se puedan cambiar, hubo que efectuar pequeñas modificaciones en el código fuente de la herramienta para que, en lugar de imprimir nombres predefinidos, los mismos sean leídos de un archivo de texto. De esta manera, cualquier cambio en el contenido del archivo repercute en el contenido de las pantallas del juego final.

Además del archivo de categorías, el juego trabaja con otros cuatro archivos de configuración que almacenan datos de usuarios, preguntas y partidas jugadas. El repositorio de preguntas se encuentra dentro de uno de estos archivos y contiene, para cada pregunta, el texto del interrogante y sus alternativas, así como un valor que indica el índice de la respuesta correcta y dos números: uno indicando la categoría a la que corresponde y otro identificando la pregunta dentro de dicha categoría.

Tanto las preguntas como las categorías pueden modificarse, pues el juego solo se limita a traer sus contenidos de fuentes externas. Sin embargo, existen ciertas limitaciones a tener en cuenta. La cantidad de preguntas puede reducirse o ampliarse, siempre que se mantenga entre ciertos rangos. Es necesario que haya por lo menos diez preguntas por cada categoría, pues el juego se asegura que no se repitan interrogantes en cada partida y, si no tiene suficientes preguntas, no se puede dar inicio a ninguna partida. También hay un máximo de 90 preguntas por categoría que debe ser respetado dado que se definió una porción limitada de memoria para almacenar preguntas y no se la puede exceder. Otra de las restricciones presentes es la cantidad de categorías que no puede alterarse. Aunque su contenido sea completamente modificable, no puede haber ni más ni menos de cinco categorías.

Si bien con los cambios mencionados, el juego ya puede modificarse, la forma en que se encuentran presentados los datos en los archivos de configuración puede resultar confusa. Basta con que simplemente falte un número de identificación en una pregunta para que el juego no se comporte correctamente. En consecuencia, es evidente que no resulta recomendable editar las configuraciones manualmente con un editor de texto, por lo que también se desarrolló una herramienta que automatiza el proceso de redacción de preguntas y categorías. Esta se encarga de darle el formato de salida adecuado a las preguntas y categorías para su almacenamiento en los archivos.

Además, la herramienta brinda al usuario-administrador una interfaz simple que le permite ver un listado de todas las preguntas presentes en el juego, seleccionar una y alterar el texto de la interrogante, sus opciones e indicar el número de la nueva opción correcta, si correspondiese. Del mismo modo, se pueden listar las categorías para elegir una cuyo nombre se desee cambiar y, opcionalmente, importar todas las preguntas de esa categoría desde un archivo externo. Las

funcionalidades implementadas en dicha herramienta se esquematizan bajo un formato de árbol en la Figura 2.

Siendo que PregUTNados se desarrolló en el marco de la cátedra de AEDD, el programa que edita las preguntas y categorías se implementó utilizando las mismas herramientas y lenguaje de programación que la cátedra emplea con sus alumnos. De este modo, el programa resultante sirve como caso de estudio para la cátedra y, además, podría a futuro ser extendido por los propios estudiantes de la asignatura.

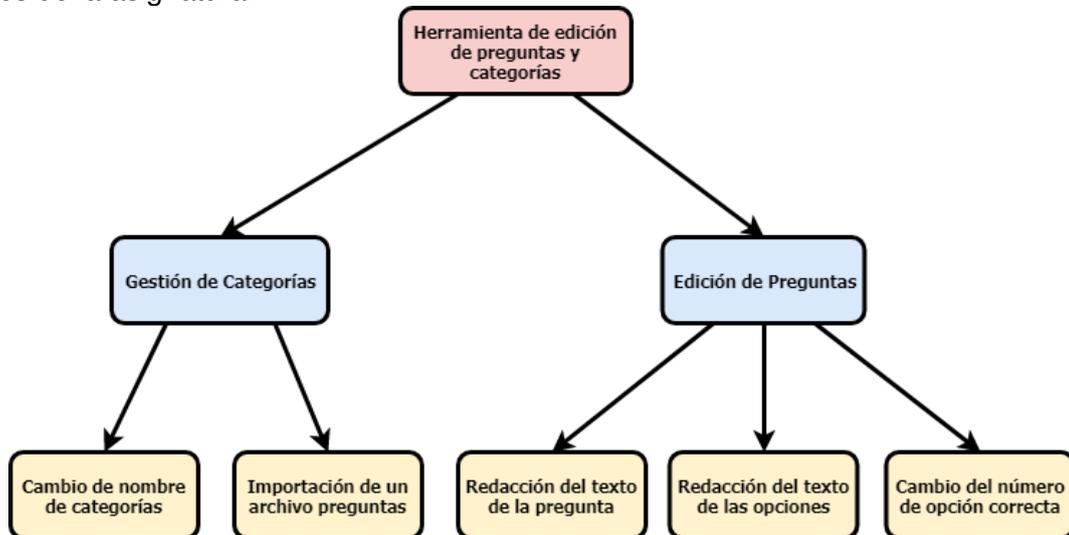


Figura 2: Esquema de funcionalidades de la herramienta de edición de preguntas.

#### 4. Resultados

Al iniciar la herramienta, nos recibe un menú principal que nos permite optar entre las dos funcionalidades principales de la herramienta: “Cambiar el nombre de una categoría” o “Gestionar las preguntas”. Si elegimos la primera opción, se imprimen en pantalla los nombres actuales de las categorías y se siguen los pasos ilustrados en la Figura 3. Una vez elegida la categoría a renombrar, se espera que ingresemos el texto del nuevo nombre para que, al presionar ENTER, el programa modifique automáticamente los archivos de configuración. Opcionalmente, la herramienta nos pregunta si deseamos importar un archivo de preguntas para la categoría renombrada, para lo cual solo basta indicar la ubicación del archivo a importar y confirmar su carga. Si no deseamos importar ningún archivo, la categoría renombrada puede conservar las preguntas que anteriormente tenía, o borrar todas (dejando el conjunto de preguntas vacío).



Figura 3: Pasos para renombrar de una categoría.

De la misma manera, si elegimos gestionar las preguntas se imprimirá en pantalla un listado que incluye, para cada pregunta su texto junto con los números de identificación y la categoría a la que pertenece. El usuario puede elegir una pregunta de la lista para cambiar su contenido y/o una o más de las opciones de respuesta. Luego de un cambio, la herramienta le pide al usuario que indique, de las nuevas opciones, cual es la correcta. Los pasos de la carga de datos se pueden ver en la Figura 4. Al terminar, la herramienta almacena los cambios realizados en el archivo de configuración en forma automática, dejándolo listo para ser leído por el juego en cualquier partida.



Figura 4: Pasos para la redacción o modificación de una pregunta.

Una vez que los cambios se efectivizan en los archivos de configuración, el usuario está en condiciones de ejecutar el juego original y ver los efectos de sus modificaciones. Si se inicia una partida en PregUTNados, el programa carga el repositorio de preguntas actualizado y sorteá diez interrogantes al azar. En la Figura 5 podemos ver la pregunta modificada (redactada en la Figura 4) siendo utilizada como parte de una partida. Es importante destacar que, a fin de asegurar la dinámica de juego, las opciones aparecen en orden aleatorio (por lo que no siempre el mismo número de opción contiene la alternativa correcta). En este caso la respuesta correcta es la tercera y, si la elegimos, veremos incrementado nuestro puntaje.

Los cambios en el nombre de las categorías también se hacen presentes en la ruleta, donde el espacio anteriormente asignado a “Arquitectura” ahora contiene el nombre “Historia”, tal cual se observa en la Figura 6.

```

UTN U
UTN
UTN
UTN
UTN          [Historia]
UTN
UTN
UTN
UTN          "En que año murio Domingo Faustino Sarmiento?"
UTN
UTN
UTN
UTN
UTN          1) "1922"
UTN          2) "1894"
UTN          3) "1888"
UTN          4) "1786"
UTN
UTN
UTN
UTN
UTN
UTN
UTN
UTN
UTN
UTN          Respuesta Correcta!!
UTN
UTN

```

Figura 5: Pregunta redactada con la herramienta complementaria apareciendo en el juego.

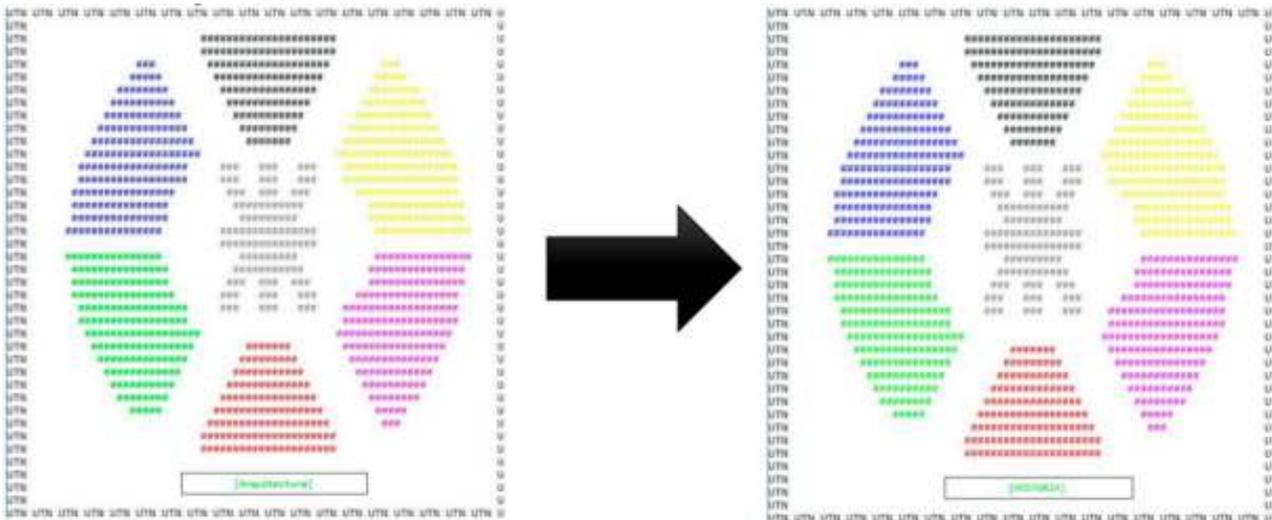


Figura 6: Ruleta actualizada

## 5. Conclusiones

El juego PregUTNados fue concebido inicialmente como una herramienta de autoevaluación de contenidos exclusivamente destinada a los alumnos de primer año de Ingeniería en Sistemas de Información. Sin embargo, el agregado de pequeñas modificaciones a su código fuente amplió su alcance, permitiéndole abarcar contenidos de cualquier índole. Al no haberse pensado desde el principio estas adaptaciones, se siguen imponiendo ciertas limitaciones. Por ejemplo, un cambio en la cantidad de categorías conlleva a la necesidad de rediseñar por completo la ruleta y la memoria asignada a preguntas.

Se hizo un esfuerzo por hacer la menor cantidad de cambios en el juego, de modo que siga siendo mayoritariamente un desarrollo de alumnos de primer año y pueda seguir siendo expuesto como tal en las visitas a escuelas y ferias de carreras. Esto le otorga valor agregado a la herramienta, que ya no es un programa con el que solo se puede aprender jugando, sino también indagando en su código fuente y analizando su funcionamiento interno.

Este desarrollo permanece en etapa de pruebas, pero pronto se difundirá como respuesta al entusiasmo visto en las escuelas y aspirantes. De este modo, todo aquel que desee aprovechar PregUTNados podrá hacerlo sin importar el área temática en el que se encuentre trabajando.

## 6. Referencias

Castellaro M. (2017) Proyecto de investigación y Desarrollo: “Las intervenciones didácticas y el uso de TIC para la motivación e integración en el inicio de la carrera de Ing. en Sistemas de Información”, Secretaría de Ciencia, Tecnología y Posgrado, UTN. <https://bit.ly/2jqHbGc>

Hauque, F.; Saudejaud, G. (2016a). “¿Cuánto recordás de primero?: Desarrollo de un Juego de Preguntas y Respuestas por y para Alumnos del Primer Año”. 10º Congreso Nacional de Estudiantes de Ingeniería en Sistemas de Información.

Hauque, F.; Saudejaud, G. (2016b). “Una experiencia integradora: PregUTNados como herramienta de soporte al aprendizaje”. 4º Congreso Nacional de Ingeniería Informática / Sistemas de Información.

Preguntados, Sitio web – [www.preguntados.com](http://www.preguntados.com)

Catedra de AEDD (2015) Consigna del trabajo práctico PregUTNados. <https://bit.ly/2ImWgDg>

# DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE GENERACIÓN HÍBRIDA DISTRIBUIDA VINCULADA AL SISTEMA DE SUBTRANSMISIÓN EN 33 KV DE LA PROVINCIA DE ENTRE RÍOS.

Matías BARLASINA<sup>1</sup>, Dino GHISOLFI<sup>1</sup>, Nicolás LEDESMA<sup>1</sup>, Marcos CEA<sup>1</sup>, Ulises MANASSERO<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Alumno, <sup>2</sup>Tutor, Grupo CySE/Departamento Eléctrica, FR Santa Fe, UTN

matiasbarlasina@gmail.com, dinoghisolfi@live.com, nicgale@hotmail.com,  
marcos.cea@live.com.ar, umanassero@frsf.utn.edu.ar

## Resumen

En este trabajo se analiza el sistema de subtransmisión de 33 kV de la Provincia de Entre Ríos frente a la inserción de potencia en diferentes nodos de conexión de centrales de biomasa, centrales térmicas convencionales y solares fotovoltaicas cuyo dimensionamiento se realiza en base a la disponibilidad de recursos del lugar bajo estudio.

En cada nodo se evalúa el acceso a la red de dicha generación según simulaciones de flujos de carga con el objetivo de mejorar perfiles de tensión, aliviar cargas en líneas y de detectar posibles restricciones por potencias de cortocircuito, sobrecargas en algún equipamiento o niveles de tensión fuera de los valores permitidos tanto para condiciones de red normales como de emergencia simple.

Como resultado se observa que el aporte de la generación mejora los perfiles de tensión y aumenta la confiabilidad del subsistema, en tanto, las principales restricciones a la inclusión de esta generación están dadas por las sobretensiones en escenarios de valle de demanda y las fluctuaciones ocasionadas por las variaciones rápidas de potencia de los parques fotovoltaicos.

## 1. Introducción

Los informes anuales de CAMMESA muestran que en los últimos cinco años Argentina ha manifestado un crecimiento sostenido de la demanda eléctrica del 4 al 6% anual, mientras que ha incrementado la importación de gas natural y diésel oíl para generación termoeléctrica, predominante en la matriz energética del país (CAMMESA Informe Anual 2015). Frente a este contexto de amplios desajustes entre generación y demanda, surgen los proyectos de generación en base a fuentes renovables como alternativas de solución.

Cuando estas fuentes se conforman por módulos de baja potencia dispersos en una región amplia y en las cercanías de los centros de consumo, reciben la designación de generación distribuida (GD) (López Lezama et al., 2009). En contraste con la generación centralizada, la GD presenta especial interés por diversos motivos: i) reduce las pérdidas de transporte, ii) brinda mayor flexibilidad para el control de variables operativas (por caso, niveles de tensión), iii) permite mayor rapidez de actuación ante fallas, y iv) mejora las condiciones de competitividad de instalaciones basadas en recursos renovables, y que de otro modo (caso de grandes potencias), presentarían costos muy elevados de inversión (Qian, et al 2008) - (Jianing, et al. 2012).

En este trabajo se analiza un sistema de subtransmisión de 33 kV de la Provincia de Entre Ríos frente a la inserción de GD híbrida. Los tipos de GD a evaluar en cada nodo contemplan centrales térmicas diésel (moto generadores), de biogás (CTB) y solares fotovoltaicas (PFV).

Para el caso de GD de tipo gestionable (biogás y térmica), en cada nodo se evalúa la potencia máxima de inserción a la red de dicha generación según simulaciones de flujos de carga para condiciones de red normales y también ante contingencias simples.

Por otra parte, para la evaluación de la potencia máxima de acceso a la red de la GD fotovoltaica (no gestionable), se adicionan estudios de fluctuaciones de tensión debidas a variaciones rápidas de la potencia generada como consecuencia de la intermitencia del recurso solar.

## 2. Metodología

Los estudios de inserción de generación se realizaron sobre las redes de subtransmisión en 33 kV abastecidas desde las estaciones transformadoras (ETs) Crespo, Nogoyá y Basavilbaso de la provincia de Entre Ríos. La evaluación de la capacidad de incorporación de potencia se realiza según criterios acordes al tipo de aprovechamiento energético. Para la generación de tipo gestionable (Biogás y Convencional) se realizan estudios eléctricos de sobrecargas de elementos y de sobretensiones para escenarios de pico y valle de demanda en régimen permanente, en tanto que para la generación no gestionable (PFV) se realizan además estudios de fluctuaciones de tensión por variaciones rápidas de potencia generada. La Fig. 1 presenta un flujograma que describe la metodología adoptada.

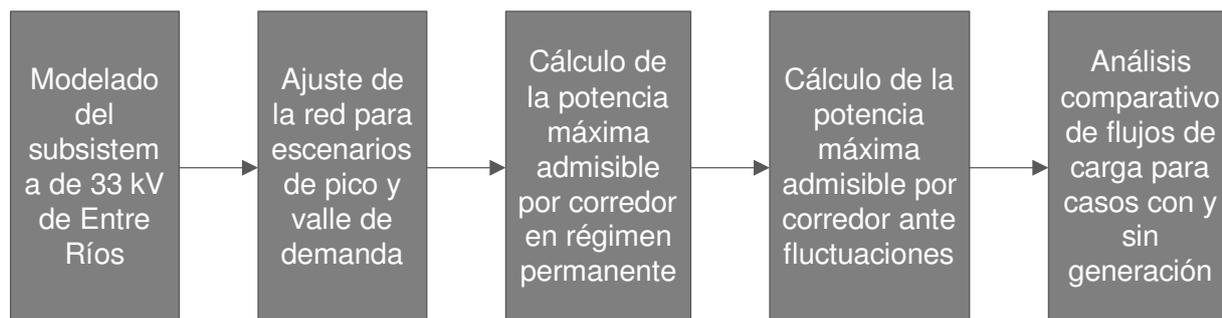


Fig. 1. Metodología del trabajo.

En cada caso se monitorean los perfiles de tensión y los estados de carga de los elementos de la red. Según los resultados obtenidos, se determina la admisibilidad de los módulos de potencia proyectados o de la necesidad de reducción de los mismos ante posibles restricciones por potencias de cortocircuito, sobrecargas en algún equipamiento o niveles de tensión fuera de los valores permitidos. En el caso particular de los PFV, se determina la potencia máxima factible de instalar en cada uno de los nodos del subsistema eléctrico en estudio, verificando que la inserción del parque no ocasione condiciones inadmisibles de operación tanto en régimen estacionario como en régimen transitorio (variaciones de tensión en barra debido a las fluctuaciones rápidas en la potencia generada). Se considera que la GD entra en servicio de a una a la vez. Para cada nuevo ingreso, se calcula la potencia máxima que la nueva generación podrá inyectar de acuerdo a los límites de operación de la red y de disponibilidad del recurso para el caso de CTB (Ifes, 2016).

Para el caso de PFV, las fluctuaciones de potencia se evalúan en forma conjunta por corredor. En cuanto al orden de ingreso de la generación, se prioriza la compensación de reactivo (mejora de perfiles de tensión) frente a otros indicadores de operación de la red donde impacta el acceso de la GD, tales como la eficiencia de la red (reducción de pérdidas activas) y la participación de la GD en el suministro de la demanda del corredor (contribución energética de la GD para la cobertura de la demanda).

### 2.1. Descripción de la red modelada.

La región donde se evalúa la inserción de GD híbrida es abastecida por tres ETs 132/33 /13,2 kV con dos transformadores de potencia cada una, que totalizan una potencia instalada de 135 MVA. El subsistema de 33 kV alimentado por este conjunto de ETs totaliza 677 km, con secciones de conductor de 95/15 y 120/20 Al/Ac. Su demanda total para escenarios de pico supera los 86 MVA, siendo los nodos de consumo más importantes las ETs de Rosario del Tala, Racedo y Ramírez. El subsistema fue modelado con el software de simulación de sistemas eléctricos de potencia PSSE, versión 30 (Fig. 2) y fue utilizada su herramienta de cálculo de flujo de potencia en estado estacionario.

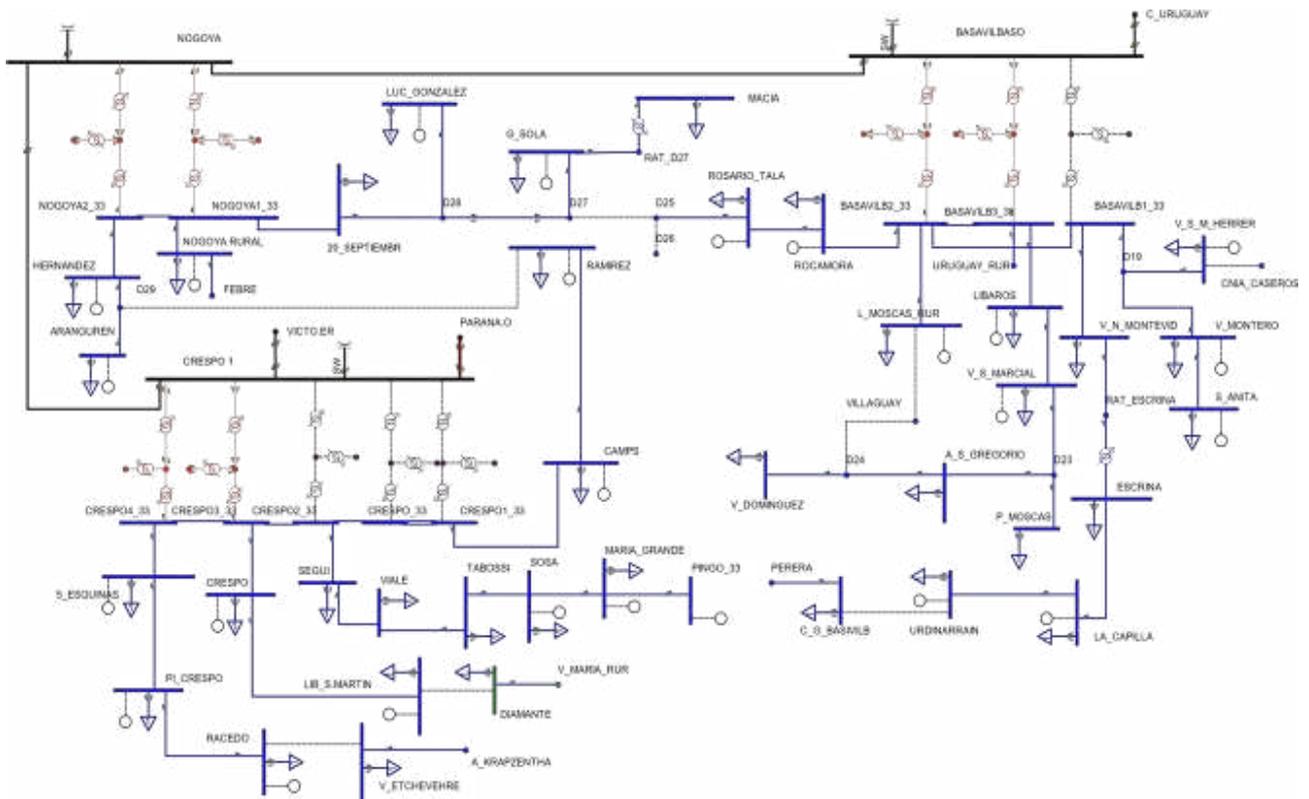


Fig. 2. Subsistema de 33 kV de Crespo, Nogoyá y Basavilbaso.

## 2.2. Consideraciones generales adoptadas para las simulaciones.

En los estudios eléctricos realizados, se adoptaron las siguientes hipótesis:

- Adopción de los niveles de calidad del producto técnico exigidos en el Anexo 27 de Los Procedimientos de CAMMESA.
- En todos los casos se considera que la tensión en barras de 33 kV de las ETs se mantiene constante en un valor de 1,05 pu –controlada por los reguladores bajo carga de los transformadores de dichas ETs-.
- Se adopta como límite de capacidad de transmisión de potencia de las líneas aéreas de 33 kV al límite térmico-mecánico impuesto por sus conductores.
- Los PFV a instalar en el sistema de subtransmisión se consideran con control de tensión. Según las recomendaciones de los Procedimientos de CAMMESA (anexo 40) las plantas deben operar controlando tensión en el punto de conexión y tener una característica del diagrama P-Q tal que, a potencia máxima, exhiba un factor de potencia 0,95 y la potencia reactiva, como mínimo, se mantenga constante para potencias activas entre 100% y el 20% de la potencia nominal (característica pentagonal).

## 2.3. Variaciones rápidas de potencia en PFV

La sección procedimientos de CAMMESA (anexo 40) indica las fluctuaciones máximas de tensión admisibles en barras de AT y MT ante variaciones rápidas de la potencia generada por PFV, las mismas se establecen en 3% de variación de tensión para barras de AT y del 2% en barras de MT ante cambios rápidos de la potencia generada dada para intervalos de tiempo de 10 minutos y de una hora.

Según recomendaciones establecidas en el anexo J de CAMMESA, se consideran variaciones rápidas de potencia del PFV, del 50% de la potencia generada para módulos menores a 10 MW y para aquellos PFV de una potencia mayor o igual a 10 MW las variaciones rápidas de potencia se asumen del 40%.

## 3. Resultados

### 3.1. Generación gestionable acoplada a barra de 33 kV de ETs (Convencional y Biogás).

Se analizó la ubicación y potencia de la generación de este tipo siguiendo criterios de maximización por corredor. Los resultados muestran que para escenarios de pico de demanda la principal restricción a la incorporación de potencia está dada por la sobrecarga de los elementos (líneas y transformadores), en cambio para escenarios de valle de demanda el limitante se presenta en las sobretensiones en régimen permanente que se dan en barras de la ET donde se acopla la generación, siendo este escenario el que admite los menores módulos de potencia por corredor. En todos los casos se observa que el recurso disponible en la zona (Biomasa) no constituye el limitante de la potencia a erogar por los proyectos definidos por corredor, sino la topología y los valores de la red donde se pretenden insertar las CTB.

En total, se definieron 25 proyectos de GD (Fig. 3) con módulos de potencia que van desde un mínimo de 1 MW hasta un máximo de 20 MW y cuyo acumulado global alcanza el valor total de 175,2 MW. La incorporación de esta GD permite la mejora de los perfiles de tensión en los corredores analizados, en un rango de 0,81% a 11,08%.

### 3.2. Generación no gestionable acoplada a barra de 33 kV de ETs (Fotovoltaico).

Para el estudio de este tipo de generación se partió de los resultados obtenidos para el caso precedente, adoptando la ubicación y las potencias máximas en régimen permanente como caso base. Se estudiaron las fluctuaciones de tensión ocasionadas por la variación en la potencia generada a causa de la naturaleza del recurso aprovechado, habiéndose encontrado en la mayoría de los casos reducciones importantes en la potencia máxima que admite el subsistema en estudio. Las variaciones rápidas de potencia se evaluaron por corredor, siendo el porcentaje de las mismas del 50% para aquellos módulos menores a 10 MW y del 40% para módulos mayores a 10 MW. Este estudio se realizó considerando dos escenarios de demanda, pico y valle, habiéndose encontrado que la condición de menor demanda es la que presenta las mayores limitantes.

Se definieron 25 proyectos (Fig. 4) con módulos de potencia admisibles por nodo que van desde 1 a 11 MW y que acumulan en total una potencia de 120,2 MW. Este acumulado global representa un 140% de la demanda total del subsistema, aunque debe atenderse al hecho de que se analiza la operación desvinculada por corredor, no así la operación conjunta de los mismos. La incorporación de esta GD permite la mejora de los perfiles de tensión en los corredores analizados, en un rango de 0,09% a 3,06%.

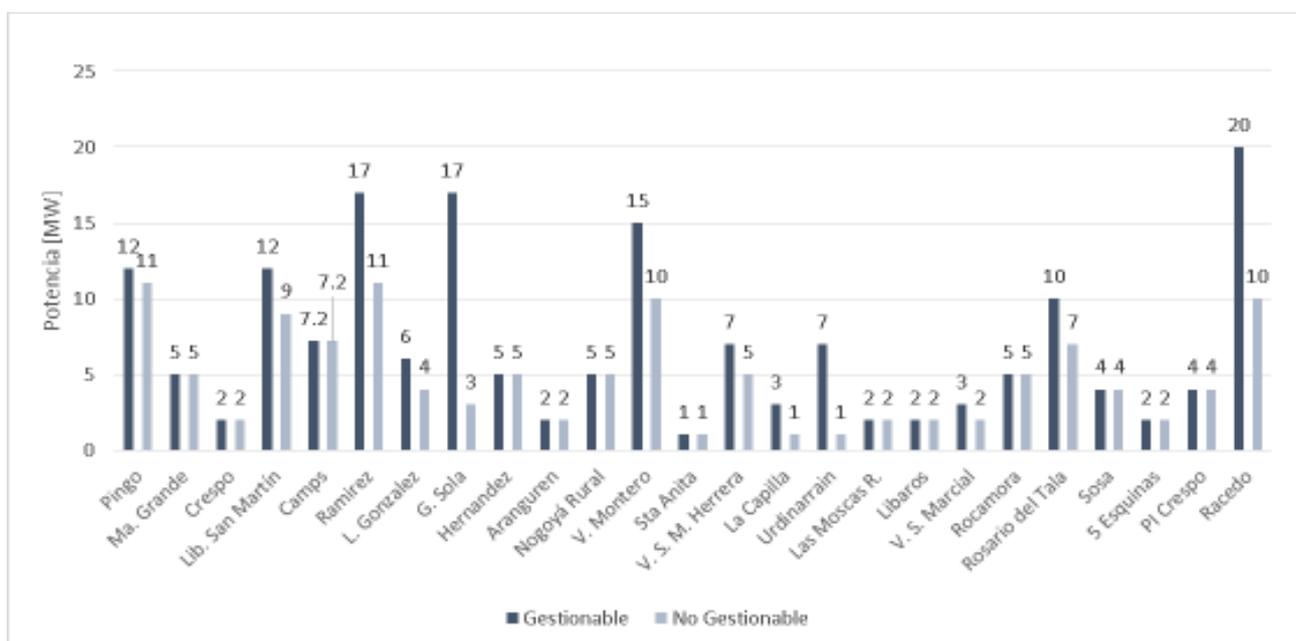


Fig. 3. Potencia máxima por nodo según tipo de generación.

En todos los casos se ha encontrado que la mejora en los perfiles de tensión promedio se encuentra influenciada por la potencia inyectada, la topología y las condiciones de carga del corredor. En la Fig. 4 se presentan las mejoras en las tensiones promedio de los corredores en función a la potencia que se propone incorporar en ellos para el caso de generación no gestionable, conjuntamente se muestra la variación en las pérdidas referidas a la demanda del corredor para un escenario de pico.

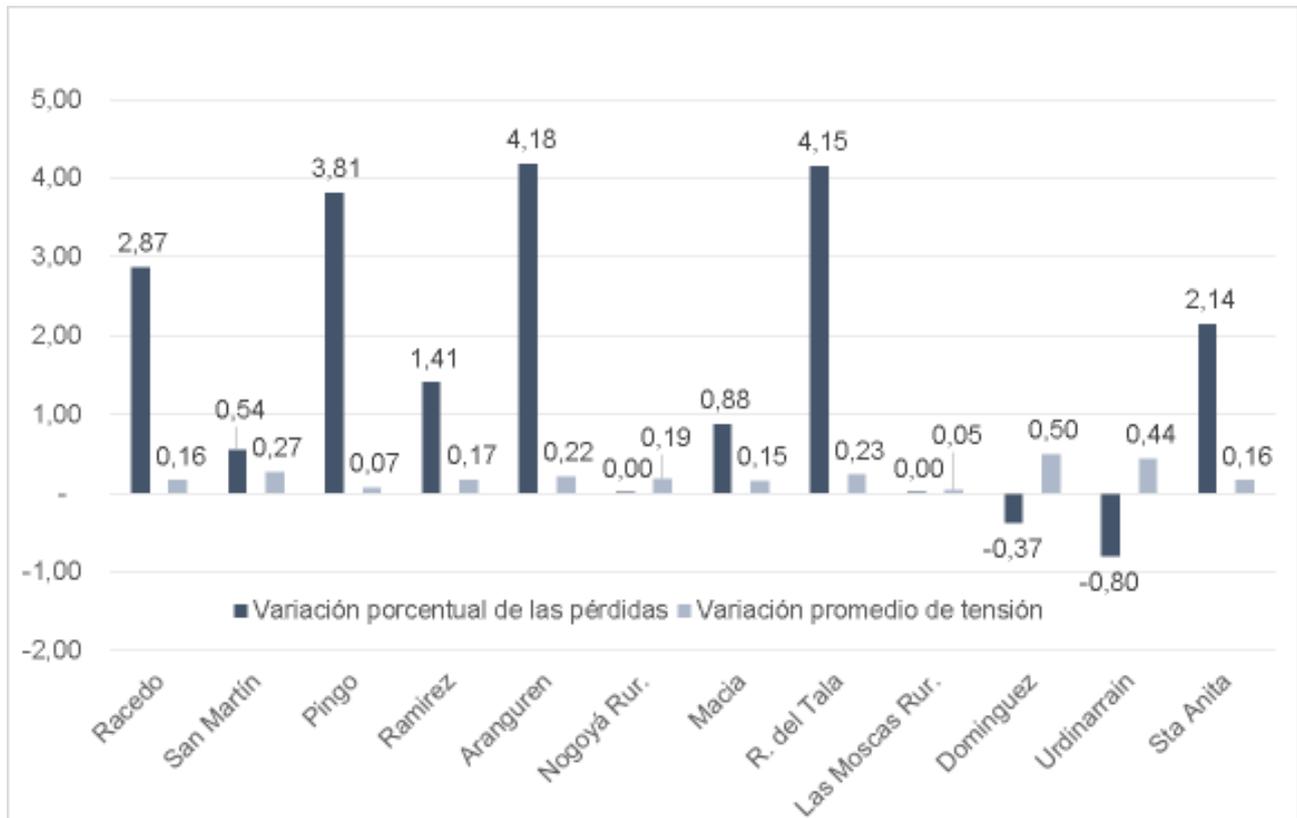


Fig. 4. Variación promedio de perfiles de tensión y de pérdidas por corredor y por unidad de potencia.

En la Fig. 4 puede observarse que los corredores Domínguez y Urdinarrain presentan la mayor compensación de reactivo (mayores incrementos de tensión por unidad de potencia inyectada) y esto se condice con una mejora en la eficiencia del subsistema (disminución de las pérdidas del corredor), lo que los posiciona preferencialmente en cuanto a la prioridad de ingreso. Para los demás corredores se observa un incremento en las pérdidas ocasionado por la inyección de generación, lo que se explica por el hecho de que la generación propuesta supera la demanda máxima del corredor, generando un estado mayor de carga de los elementos y la consecuente disminución de la eficiencia del subsistema.

#### 4. Conclusión

Los resultados obtenidos para la generación de tipo gestionable permiten afirmar que para aquellos corredores de grandes longitudes, topología radial y baja demanda, la potencia admisible a inyectar encuentra su límite en las sobretensiones en régimen permanente para escenarios de valle de demanda, en tanto que para aquellos corredores con una demanda mayor, la limitación está dada por la sobrecarga de las líneas para escenarios de pico de demanda.

Para el caso de la generación no gestionable, los resultados indican que los porcentajes de variaciones rápidas en la potencia de salida del PFV condicionan significativamente la potencia nominal del parque según los límites admitidos en la red por fluctuaciones de voltaje.

Finalmente, respecto al porcentaje de inserción global de generación distribuida admitida en el

subsistema analizado, para ambos tipos de generación se alcanzan potencias máximas de inserción por corredor superiores a la demanda del mismo, lo cual repercute favorablemente en las condiciones de operación de la red (principalmente por mejoras en los perfiles de tensión de los nodos de media tensión).

## 5. Referencias

- CAMMESA. Informe Anual 2015 del Mercado Eléctrico Mayorista. pp: 1- 66, 2015
- López Lezama, J. M.; Padilha-Feltrin, A., Gallego, L. A. (2009). Ubicación y dimensionamiento óptimo de generación distribuida en sistemas de energía eléctrica. *Scientia et Technica* Año XV, Vol. 41, Universidad Tecnológica de Pereira.
- Qian, K.; Zhou, C.; Yuan, Y.; Shi, X., Allan, M. (2008). Analysis of the environmental benefits of distributed generation. IEEE Power and Energy Society General Meeting: Conversion Delivery of Electrical Energy in the 21st Century.
- Jianing L.; Weiqi Z.; Rui Z.; Zhong, J. (2012). Impacts of distributed renewable energy generations on smart grid operation and dispatch. Power and Energy Society General Meeting, 2012 IEEE. (págs.1-5, 22-26).
- Ifes, (2016) Proyecto para la promoción de la energía derivada de biomasa (págs. 1-195).
- CAMMESA. Anexo 27: Reglamentación aplicable a la prestación adicional de la función técnica de transporte de energía eléctrica firme en el Mercado Eléctrico Mayorista. Pp: 1-12. 2012.
- CAMMESA. *Anexo 40: Generación Eólica*. pp: 1-4. Argentina. 2011.
- CAMMESA – PT N° 4 – Anexo J: “Generación fotovoltaica – Requisitos de conexión”.

# DETECCIÓN DE FALLAS ESTRUCTURALES EN SECCIONES ANALÓGICAS CONFIGURABLES DE SISTEMAS EN CHIP

Emanuel Dri<sup>1</sup>, Eduardo Romero<sup>1,2</sup>, Gabriela Peretti<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Estudio en Calidad en Mecatrónica, Facultad Regional Villa María, Universidad Tecnológica Nacional, Villa María, Argentina - [gecam@frvm.utn.edu.ar](mailto:gecam@frvm.utn.edu.ar)

<sup>2</sup>Grupo de Desarrollo Electrónico e Instrumental, Facultad de Matemática, Astronomía y Física, Universidad Nacional de Córdoba

**Resumen:** En este trabajo se evalúa la aplicabilidad del método de análisis de respuesta transitoria al test de filtros de capacidades conmutadas, embebidos en secciones analógicas de capacidades conmutadas configurables de sistemas en chip. Para evaluar la propuesta, se adopta un método completamente experimental, tomando partido de la capacidad de estos dispositivos de reconfigurarse para inyectarles fallas únicas. A dicho fin, se desvían mediante reconfiguración los valores de los capacitores del filtro y las condiciones de operación de algunas llaves a las que el usuario tiene acceso. Se analiza si estas fallas son detectadas por los atributos de test considerados. Asimismo, se evalúa la generación de estímulos de test internamente, con recursos propios del chip. Los resultados obtenidos son prometedores y permiten vislumbrar una muy buena capacidad de la estrategia para la detección de fallas estructurales.

## 1. Introducción

Los dispositivos de hardware configurable son circuitos integrados que poseen una matriz interna de elementos de circuito pasivos y activos, junto con una red de interconexión reconfigurable que hace posible implementar circuitos diseñados por el usuario, escogiendo la forma en que se conectan entre sí. Estos dispositivos permiten reemplazar varios componentes discretos, realizar prototipados rápidos y diseñar productos con circuitos actualizables en campo, entre otras prestaciones. Sin embargo, son difíciles de testear (al igual que los analógicos usuales), debido a la naturaleza continua de las señales involucradas [1] y a que la observabilidad y controlabilidad de los nodos internos se encuentran limitadas. La gran cantidad de configuraciones posibles dificulta el test debido a que las rutinas de prueba se hacen muy largas para dar lugar a una cobertura adecuada. En general, los circuitos analógicos no disponen de un método de test universal como sí lo tienen los digitales [2], obligando a la generación de estrategias y validaciones para cada circuito.

El número de trabajos que abordan el test de circuitos analógicos configurables embebidos (EACCs, *Embedded Analog Configurable Circuits*), es relativamente bajo. En [3] se propone el método ACT para evaluar la configurabilidad y conectividad de EACCs de tiempo continuo de un microcontrolador de señales mixtas. En [4]–[7] se presentan estrategias de test basadas en redundancia, en las cuales se compara la salida de un par de EACCs idénticos de un dispositivo FPAA (*Field Programmable Analog Array*), asumiendo que uno de ellos se encuentra libre de fallas. En [8] se aplica el método de test basado en oscilaciones, a las secciones analógicas de un FPAA. El método de análisis de respuesta transitoria (TRAM, *Transient Response Analysis Method*), es usado en [7] para la detección de fallas estructurales en las secciones analógicas de un dispositivo FPAA, en [9] se emplea el mismo método para realizar un test funcional de dichas secciones.

En el presente trabajo se propone la aplicación de TRAM al test estructural de filtros bicuadráticos implementados en PSoC1 (*Programmable System on Chip*) de Cypress Semiconductor [10]. Los resultados experimentales muestran que TRAM puede aplicarse a este dispositivo, usando métodos internos para la generación de estímulos. Asimismo, los resultados también empíricos de inyección de fallas estructurales deben ser considerados como prometedores en cuanto a la eficacia del test.

## 2. Descripción de los circuitos bajo test

Los dispositivos PSoC1 son plataformas de sistema en chip configurables que cuentan con recursos de hardware analógicos y digitales, una red de interconexión, un microcontrolador embebido de 8 bits, memorias SRAM y flash, entre otros recursos. Los elementos configurables se agrupan bajo la

forma de bloques que se disponen en dos arreglos, uno para los digitales y otro para los analógicos, señalados en el esquema de la fig. 1. La flexibilidad asociada a los bloques permite implementar funcionalidades como: contadores, protocolos de comunicación, comparadores analógicos, amplificadores, filtros de orden dos o superior, conversores analógico – digital y digital – analógico.

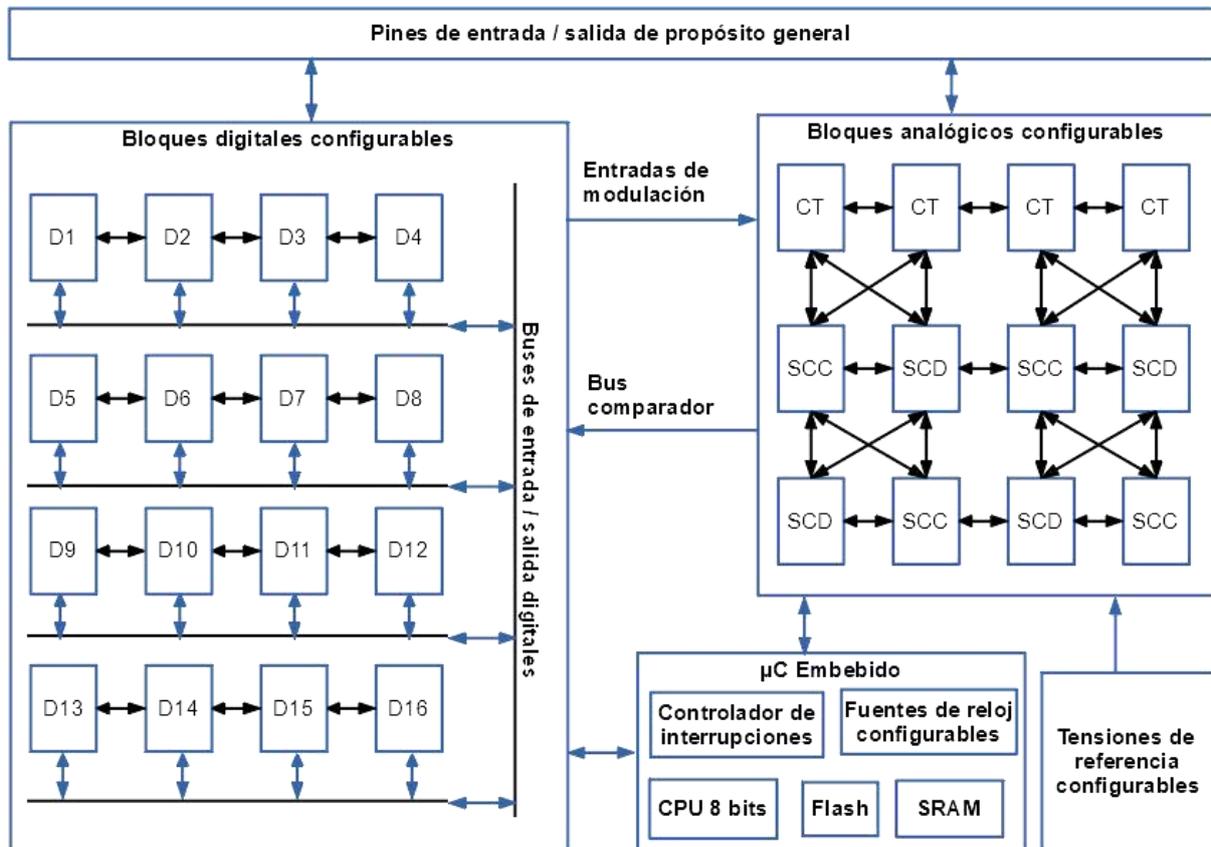


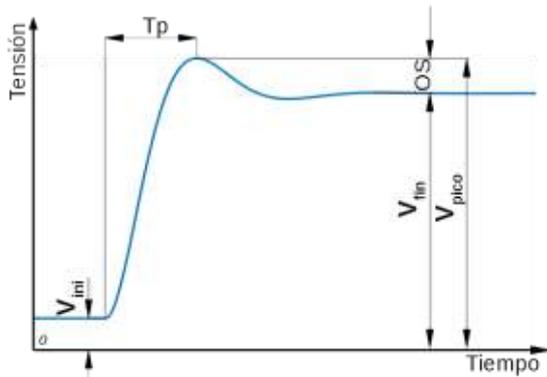
Figura 1. Descripción de la arquitectura de PSoC1

Se dispone de bloques analógicos, señalados en la fig. 1, de tiempo continuo (CT, *Continuous Time*) y de capacidades conmutadas (SC, *Switched Capacitor*). Estos últimos a su vez se subdividen en dos tipos, C y D, que se diferencian entre sí por la cantidad de elementos que los componen y el número de posibilidades de interconexión con otros elementos del chip. Como se señaló anteriormente, el objetivo del presente trabajo es evaluar la capacidad de TRAM para testear filtros de segundo orden implementados en las EACCs de PSoC1. Para embeber los filtros en el dispositivo, se utilizó la herramienta de software provista por el fabricante [11].

### 3. Método de análisis de respuesta transitoria

TRAM fue originalmente formulado para filtros de segundo orden y consiste en estimularlos con una señal que les provoque una respuesta transitoria sub-amortiguada. Para el caso de filtros pasabajos es necesaria una entrada en escalón. Se asume que la desviación de alguna de sus características evidencia la presencia de fallas. En este trabajo se adoptan como parámetros de test (PTs) el tiempo de pico ( $T_p$ ), el porcentaje de sobreimpulso (OS%) y la ganancia (K) de la respuesta transitoria. Los dos últimos son calculados a partir de la amplitud de la entrada en escalón ( $V_{step}$ ), la tensiones de pico ( $V_{pico}$ ) y las tensiones estacionarias inicial ( $V_{ini}$ ) y final ( $V_{fin}$ ), señaladas en la fig. 2, de acuerdo con las expresiones (1) y (2).

Las características de la función de transferencia del sistema se pueden inferir a partir de los parámetros de la respuesta transitoria [12] y al mismo tiempo, sus valores quedan determinados por las propiedades de los componentes del circuito. Debido a esto, TRAM puede emplearse tanto para detección de fallas estructurales del CUT (CUT, *Circuit Under Test*) como para la determinación de sus especificaciones funcionales. El paradigma de test estructural se adopta en este trabajo.



$$OS\% = \frac{V_{pico} - V_{ini}}{V_{fin} - V_{ini}} \times 100\% \quad (1)$$

$$K = \frac{V_{fin} - V_{ini}}{V_{step}} \quad (2)$$

Figura 2. Atributos medidos de la respuesta transitoria de los filtros bajo test.

#### 4. Descripción de los filtros bajo test

La implementación de los filtros bajo test requiere dos bloques SC adyacentes en el arreglo de bloques analógicos, uno tipo C para la etapa de entrada y otro tipo D para la salida. La fig. 3 muestra un diagrama de su estructura interna.

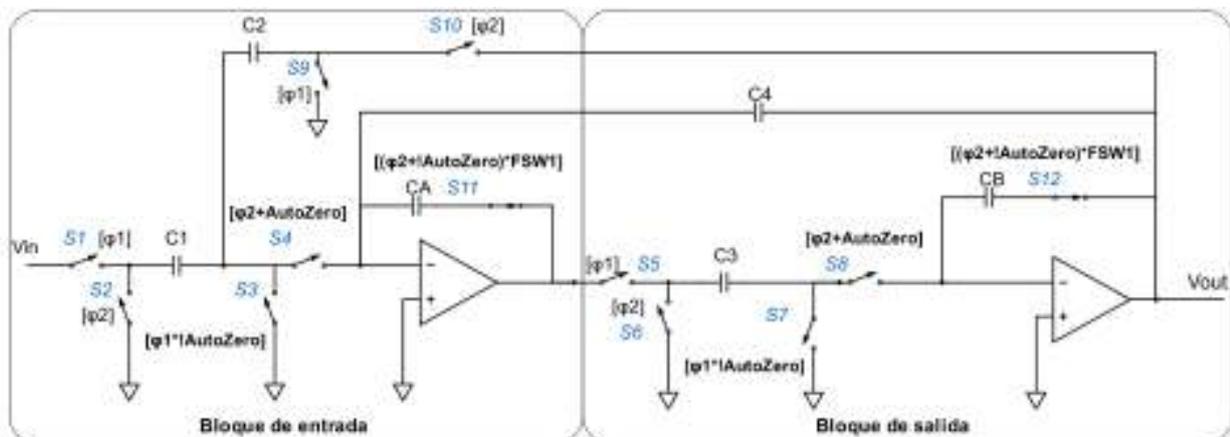


Figura 3. Diagrama esquemático de los filtros bajo test

Las llaves, designadas con la letra S seguida de un número, se cierran cuando se cumple la condición lógica indicada entre corchetes, en las que intervienen los bits de configuración propios de cada bloque [10], AutoZero y FSW1, y las señales de reloj  $\phi 1$  y  $\phi 2$ . Estas últimas tienen la misma frecuencia (llamada frecuencia de muestreo) y se encuentran desfasadas  $180^\circ$ , sin solapamiento. El valor de los bits AutoZero en la configuración de filtro pasabajos es 0 y el de FSW1 es 1. Las llaves S11 y S12 permanecen cerradas durante la operación normal del filtro.

Los filtros son de tipo A o B, según la forma en que se implementen internamente el ingreso de señal y los caminos de realimentación en el bloque de entrada. Adicionalmente, la orientación de los bloques escogidos (horizontal o vertical) determina la forma en que se interconectan los bloques. Ambos condicionantes dan lugar a cuatro topologías de filtros, las cuales implementan el esquema de la fig. 3, pero difieren en la forma en que se asignan y conectan los recursos internos. Debido a ello fueron considerados como circuitos diferentes a los fines de test. Por otro lado, el dispositivo admite que las topologías verticales y horizontales se ubiquen en diferentes posiciones del arreglo. Teniendo en cuenta estas consideraciones, un total de 14 filtros pueden ser embebidos en el chip bajo estudio. Con fines exploratorios, se adoptan como casos de estudio dos configuraciones horizontales y dos verticales de distinto tipo que denominamos como F3HA, F3HB, F3VA y F3VB. La posición de estos filtros en el arreglo se puede observar en las figs. 4b y 4c, explicadas abajo.

La generación de los estímulos de test se realiza mediante un módulo amplificador de ganancia unitaria, configurado sobre uno de los bloques de tiempo continuo. Para producir la entrada en escalón, se modifica su señal de entrada mediante software en tiempo de ejecución, alternándola

entre dos tensiones de referencia internas del chip, llamadas por el fabricante AGND y RefLo. La fig. 4 (a) muestra el esquema interno del generador.

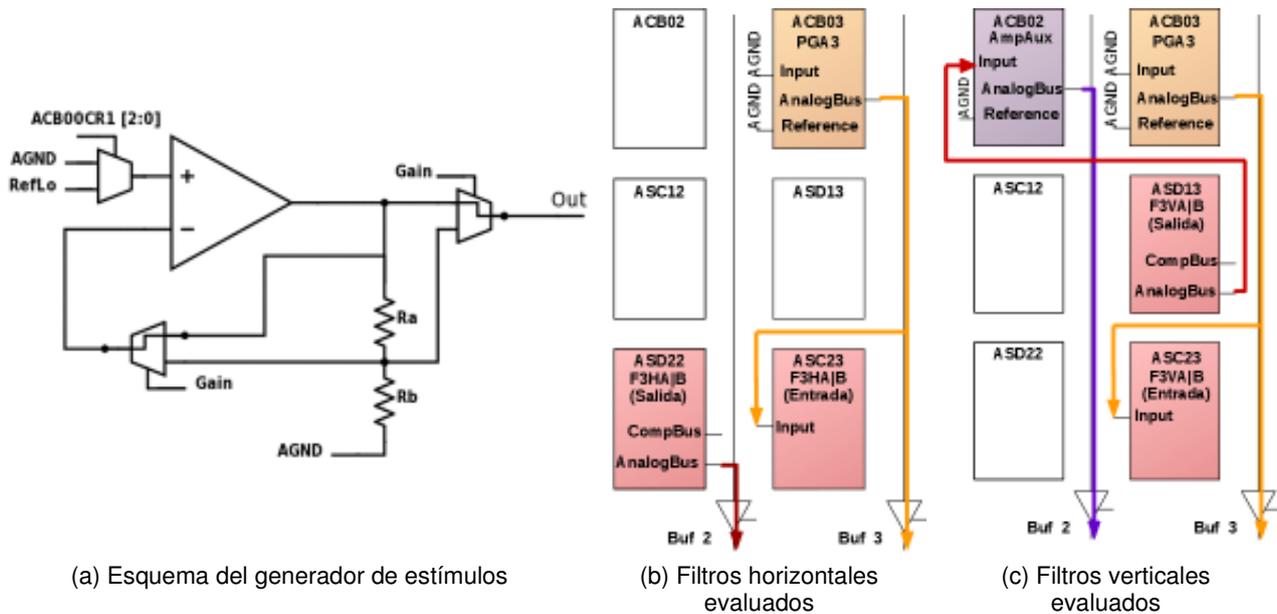


Figura 4. Posiciones de los filtros bajo test

En la fig. 4 (b) se señala el esquema de conexiones con los filtros horizontales F3HA y F3HB, en él se muestra solamente la parte del arreglo en el cual es embebido el filtro y los demás recursos requeridos. PGA3 representa el generador de estímulos, el cual se acopla a la entrada del filtro por medio de un bus de salida analógico del chip, mientras que la salida de este último se conecta directamente con un buffer de salida asociado con un pin. Análogamente, en la fig. 4 (c), los filtros verticales F3VA y F3VB también se conectan con el generador de estímulos por medio de un bus de salida analógico, y su salida es direccionada hacia un pin analógico a través de un amplificador de ganancia unitaria auxiliar, rotulado como AmpAux. Otros filtros no direccionados en este trabajo pueden requerir de más recursos para conectar los estímulos y/o extraer las señales por los pines. Esto se debe a limitaciones de conectividad interna.

## 5. Procedimientos de inyección de fallas

Normalmente, la evaluación de la capacidad de detección de fallas de una dada estrategia de test se realiza mediante procedimientos de simulación e inyección de fallas. Para esto, es necesario disponer de un modelo de simulación detallado del circuito. Infortunadamente, el fabricante no provee modelos de simulación de los bloques internos de PSoC1. Por ese motivo, en este trabajo se recurre a la modificación de los valores de los capacitores como mecanismo de inyección de fallas. Adicionalmente, se evalúa el efecto de enclavar ciertas llaves en un estado de conducción fijo. De esta forma, se adopta un método totalmente experimental para estimar la calidad del test. Las fallas modeladas son únicas.

Los capacitores señalados en la fig. 3 son arreglos configurables de capacitores en paralelo de 70 fF [13], siendo este último valor la capacidad mínima que puede programarse en el dispositivo. El valor de cada capacitor se establece mediante registros dedicados. Los capacitores C1, C2, C3 y C4 pueden adoptar múltiplos enteros de la capacidad mínima entre 0 y 31; mientras que CA y CB, solamente los valores 16 y 32.

Como caso de prueba, se adopta una configuración de filtro pasabajos de aproximación Chebyshev, frecuencia de corte 2 kHz, frecuencia de muestreo 200 kHz, ganancia unitaria y rizado en la banda de paso de 1dB. A partir de dichos parámetros, la herramienta de diseño de filtros del fabricante determina la configuración de capacitores y llaves, que se señala en la tabla I.

Tabla I. Configuración libre de fallas

Capacitores (múltiplos de 70 fF)						Llaves	
C1	C2	C3	C4	CA	CB	S11	S12
1	1	4	16	32	32	Cerrada	Cerrada

La tabla II enumera las fallas que fueron evaluadas. En los casos 1 a 8, por cada columna se señala el capacitor que se modificó y el valor que se le asignó; y en los casos 9 y 10 se indica cuál llave se dejó abierta. Solamente se evalúan fallas en las llaves S11 y S12, porque son las únicas que el usuario puede enclavarlas en un estado fijo.

Tabla II. Enumeración de las fallas evaluadas

Fallas de desviación de los capacitores									Fallas en las llaves	
Caso	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Parámetro	C1	C2	C3	C3	C4	C4	CA	CB	S11	S12
Valor	2	2	3	5	15	17	16	16	Abierta	Abierta

En los experimentos de inyección de fallas se adquiere con un osciloscopio la respuesta escalón del CUT y esta se analiza en una computadora conectada al instrumento. A fin de mitigar los efectos del ruido, se configura el modo de adquisición del osciloscopio, en promedio de 128 adquisiciones. Para evitar inconvenientes asociados con la forma escalonada de las señales, se practica un suavizado de tipo *smoothing spline*. Luego de esto, se calculan los atributos de test por medio de la función *step* del paquete Control System Toolbox de MatLab.

## 6. Resultados experimentales

La tolerancia de los PTs es el rango de valores dentro de los cuales debe considerarse al filtro bajo evaluación como libre de fallas. Si al menos un PT se encuentra fuera de dichos rangos, el chip es declarado defectuoso. Las tolerancias dependen de diversos factores, como por ejemplo el tipo de filtro considerado, su emplazamiento dentro del dispositivo y la variabilidad estadística chip a chip. Con fines exploratorios, se han determinado las tolerancias tomando como universo a todos los filtros diferentes que pueden empotrarse en el arreglo de bloques analógicos (14 filtros). Se efectuaron para cada uno de ellos 100 mediciones. Como resultado, se obtuvieron para cada PT 1400 valores. De la distribución resultante se tomó como tolerancia al intervalo entre los valores mínimo y máximo observados. Dichos valores se muestran en la tabla III.

Tabla III. Tolerancia máxima de los PTs

Parámetro	Tp [μs]	OS%	K [V/V]
Tolerancia	[274 – 281]	[15,377 - 15,701]	[0,982 -0,995]

La tabla IV muestra los resultados del proceso de inyección de fallas. En dicha tabla, se señala con una tilde si un dado parámetro funcional es capaz de detectar las fallas de cada caso considerado; una cruz denota el caso contrario. No se discrimina por filtro, debido a que los cuatro exhibieron el mismo comportamiento. Es posible apreciar que el parámetro más sensible a las fallas inyectadas fue OS%, mediante el cual todas fueron detectadas. La fig. 5 muestra las formas de onda obtenidas experimentalmente sobre el filtro F3HA libre de fallas y para algunos casos de falla de la tabla II (no se muestran todos casos para facilitar la interpretabilidad del gráfico).

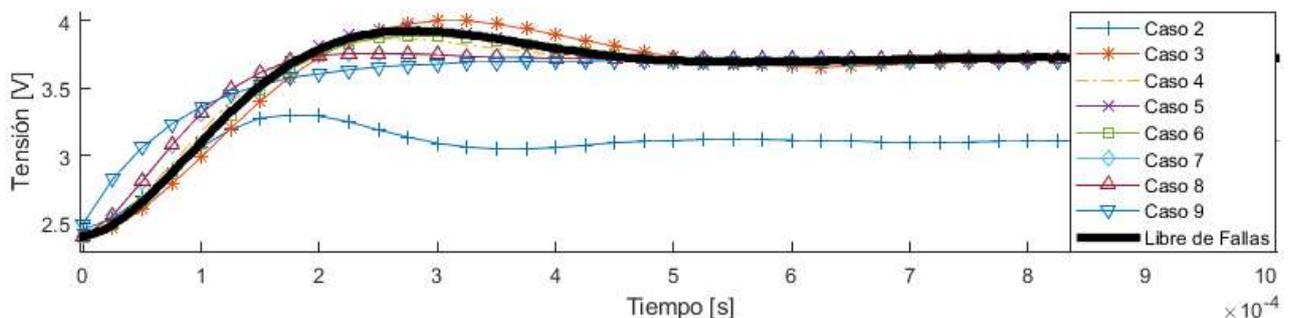


Figura 5. Mediciones experimentales de la respuesta transitoria

Tabla IV. Detección de fallas por cada parámetro

Parámetro	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5	Caso 6	Caso 7	Caso 8	Caso 9	Caso 10
Tp	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✓
OS%	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
K	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓

## 7. Conclusiones

En este trabajo se explora la capacidad de TRAM para detectar fallas estructurales de filtros pasabajos de segundo orden implementados en EACCs de capacidades conmutadas de sistemas en chip PSoC1. Debido a que no se cuenta con modelos de simulación de los bloques analógicos provistos por el fabricante, se adopta un enfoque experimental en el cual se inyectaron fallas únicas. Estas se introdujeron (tomando partido de las capacidades de reconfiguración de los filtros) como desviaciones de los valores de los capacitores de los filtros, y como enclavamiento en dos llaves.

Los estímulos de prueba se generaron empleando recursos disponibles dentro del chip, evitando el uso de equipamiento externo. Las respuestas de salida de los CUTs fueron evaluadas mediante procedimientos automatizados de captura y análisis, empleando un osciloscopio y una computadora conectada a este.

Si bien los resultados obtenidos deben considerarse como preliminares, permiten vislumbrar la viabilidad de la aplicación de TRAM a este tipo de filtros embebidos en PSoC1. Asimismo, los análisis efectuados aquí deben complementarse con estudios más profundos basados en inyección y simulación de fallas.

## 8. Referencias

- [1] L.-T. Wang, C. E. Stroud, N. A. Toubia, and Wang, *System-on-Chip Test Architectures, Nanometer Design for Testability*, 1st ed. Amsterdam: Morgan Kaufmann, 2008.
- [2] B. Vinnakota, *Analog and Mixed-Signal Test*, 1st ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall PTR, 1998.
- [3] A. Laprovitta, G. Peretti, E. Romero, and S. Mourad, "A low-cost configurability test strategy for an embedded analog circuit," *Microelectronics J.*, vol. 43, no. 11, pp. 745–755, 2012.
- [4] V. N. Mudhiredy, S. Ramamoorthy, and H. Wang, "Implementing self-testing and self-repairable analog circuits on field programmable analog array platforms," in *2010 11th International Symposium on Quality Electronic Design (ISQED)*, 2010, pp. 81–86.
- [5] H. Wang, S. Kulkarni, and S. Tragoudas, "On-line testing field programmable analog array circuits," in *2004 International Conference on Test*, 2004, pp. 1340–1348.
- [6] A. Laknaur and H. Wang, "A methodology to perform online self-testing for field-programmable analog array circuits," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 54, no. 5, pp. 1751–1760, 2005.
- [7] T. R. Balen, J. V. Calvano, M. S. Lubaszewski, and M. Renovell, "Built-In Self-Test of Field Programmable Analog Arrays based on Transient Response Analysis," *J. Electron. Test.*, pp. 497–512, 2007.
- [8] T. R. Balen, A. Q. Andrade, F. Azañs, M. Lubaszewski, and M. Renovell, "Applying the Oscillation Test Strategy to FPAA's Configurable Analog Blocks," *J. Electron. Test.*, vol. 21, no. 2, pp. 135–146, 2005.
- [9] T. R. Balen, J. V. Calvano, M. S. Lubaszewski, and M. Renovell, "Functional test of field programmable analog arrays," in *24th IEEE VLSI Test Symposium*, 2006, p. 6 pp.--pp.333.
- [10] "PSoC® Programmable System-on-Chip Technical Reference Manual. Cypress Semiconductor," San Jose, CA.
- [11] "User Module Datasheet: Two-Pole Low-Pass Filter Datasheet LPF2," V 4.10. Cypress Semiconductor, San Jose, CA.
- [12] K. Ogata, *Ingeniería de control moderna*, 5ta ed. S.I.: PRENTICE HALL N, 1900.
- [13] "CY8C29466, CY8C29566, CY8C29666, CY8C29866: PSoC® Programmable System-on-Chip Datasheet | Cypress Semiconductor," San Jose, CA.

# ESTUDIO PARA MEJORAR LA DURACIÓN DEL FILO DE CUCHILLAS PARA CORTE DE HILO Y PAPEL

Autores: Lucas J. Da Silva, Bruno Alderete, Valentín Ronconi  
Tutora: Sonia P. Brühl.

UTN – FRCU – Grupo de Ingeniería de Superficies.  
Ing. Pereira 676 (3260) Concepción Del Uruguay, Entre Ríos, Argentina.  
Email: lucas.dasilva.utn@gmail.com

## Resumen

El objetivo del presente trabajo es resolver la problemática de una industria de la zona del litoral, la cual solicita aumentar la vida útil de cuchillas para corte de hilo y papel con el que empaquetan sus productos. Este bajo rendimiento se debe al alto poder abrasivo del material de trabajo.

Mediante un análisis de composición química, metalográfico y de dureza, tras un tratamiento térmico, resultó que dichas cuchillas están compuestas de dos aceros diferentes, identificados tipo AISI M2 y AISI O1.

Posteriormente, con el objetivo de aumentar el rendimiento de las piezas, y pese a verificar que el acero O1 no conserva la dureza en un revenido a 400°C, de igual modo se optó por un proceso de nitruración asistido por plasma, realizándolo en corto tiempo para evitar la capa blanca.

El análisis de laboratorio reveló que el aumento de mayor dureza se alcanzó en las probetas de tipo M2; y en el ensayo de laboratorio Pin-on-Disk, se obtuvo un aumento a la resistencia al desgaste del 54% para el material O1, mientras que para el material M2 fue del 36%. Sin embargo el M2 tratado, perdió un 23% del volumen perdido por el O1 tratado.

Por último se realizó un tratamiento de nitruración a ambas cuchillas y una prueba en planta previo a efectuar las recomendaciones finales.

## 1. Introducción

Al momento de diseñar una cuchilla de acero, la selección del material y tratamiento es una decisión crítica. Todos los materiales presentan características ligeramente diferentes que deben tenerse en cuenta para lograr un óptimo desempeño. Algunas de ellas son evidentes, tales como la tenacidad y la resistencia al desgaste, mientras que otras demandan un análisis más complejo (Hutchings, 2001). Los aceros de herramienta utilizados usualmente para cuchillas se caracterizan por tener muy alta dureza, además de buena resistencia al desgaste y gran tenacidad.

Los filos de las cuchillas que actualmente dispone la empresa solicitante, poseen una duración promedio de 200 horas de trabajo. Luego del primer reafilado, su duración es de tan solo 150 horas.

De este modo, se propone una serie de procedimientos con el fin de obtener un material con mejores prestaciones a la solicitud. Existen distintos tratamientos capaces de mejorar las propiedades superficiales de los aceros, tales como la nitruración y la nitrocarburoción. La nitruración asistida por plasma es un tratamiento termoquímico que permite endurecer las capas superficiales del material mediante la difusión de nitrógeno [Pye, 2005]. Como resultado de este tratamiento, se forma una capa de compuestos, llamada capa blanca, seguida por una zona de difusión. La capa blanca puede ser dura y fragiliza la superficie del acero, pudiendo afectar su comportamiento al desgaste, por esta razón en determinadas aplicaciones se trata de evitar [Davis, 2002].

En este trabajo se analizaron las cuchillas utilizadas por la empresa con el objeto de proponer una solución que aumenta la duración de las mismas.

## 2. Materiales y procedimientos

### 2.1. Análisis del material

La empresa solicitante proporcionó una serie de pares de cuchillas, y al mismo tiempo, los resultados de un análisis de composición química del material de cada una de ellas.

Las cuchillas estudiadas se encuentran esquematizadas en la Fig. 1. En todo momento se trabajó con dos tipos, las cuales fueron denominadas D17 y D32, por el diámetro del agujero mayor en cada una de ellas.

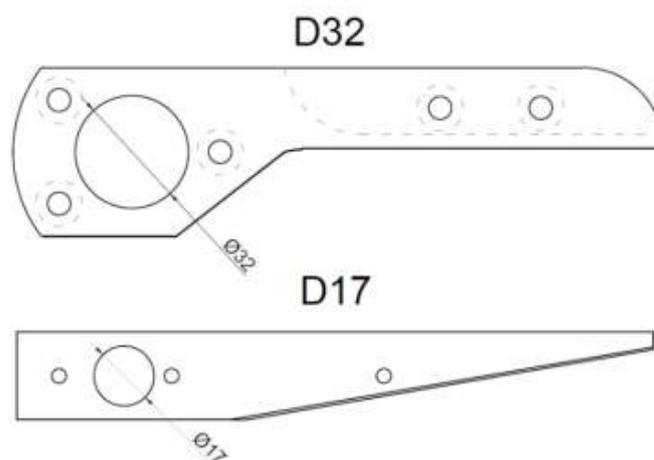


Fig. 1 Plano de las cuchillas

En primer lugar, se analizaron las hojas de composición química enviadas por la empresa. Seguidamente se midió la dureza de los materiales, utilizando un microdurómetro Shimadzu con indentador Vickers y cargas de 50g. Los resultados obtenidos se convirtieron a valor HRC (Rockwell C). Luego de estudiar los diagramas de dureza con el propósito de confirmar la naturaleza de los materiales, se realizó en un grupo de muestras, de ambas cuchillas, un revenido a 500°C por una hora.

### 2.2. Nitruración iónica

Se prepararon 3 muestras de cada material y 4 pares de probetas, 2 nuevas y 2 reafiladas. Posteriormente, se dejó sin tratar la cuchilla D32 en un par de cada caso mencionado. De esta manera, quedaron 4 grupos de cuchillas diferentes para ensayar en planta. Asimismo resultaron 6 probetas tratadas, 3 de cada material, para analizar dureza y desgaste en el laboratorio con los ensayos que se describen a continuación.

Los parámetros utilizados para la nitruración no pueden especificarse debido a las políticas de la empresa que lo realizó. Empero puede afirmarse que se eligió un proceso de nitruración asistido por plasma, realizándolo en corto tiempo para evitar la capa blanca y la fragilización.

### 2.3. Ensayo de Desgaste

Se llevó a cabo un ensayo de desgaste en condiciones de deslizamiento rotacional. Dicho ensayo se denomina Pin-On-Disk, es decir que tiene una geometría de bola sobre el plano. El plano es la probeta; y en este caso la contraparte, la bolilla, es de alúmina. Esta bolilla se carga en forma normal y se mantiene estática mientras la probeta gira. De este modo, se realizaron pruebas con cargas de 3 N, radios de 5 y 7 mm, 500 m de recorrido total.

El resultado del ensayo se expresa como volumen desgastado, luego de medir el perfil de la huella de desgaste producida por la bolilla sobre la superficie de la probeta.

## 3. Resultados

### 3.1. Caracterización del material

Del análisis de composición química provista, quedó en claro que no se trata del mismo acero. Resultó que las cuchillas D32 y D17 se encuentran dentro del grupo de aceros para herramientas y corresponden al tipo O1 y M2 respectivamente.

Diversas empresas los comercializan con otros nombres. Se seleccionó de modo ilustrativo a la empresa Böhler, la cual comercializa en Argentina; y se obtuvieron las fichas técnicas donde también se halla explicado el comportamiento del material en los tratamientos térmicos (Fig. 2). El M2 corresponde al Böhler S600 y el O1 al Böhler K460.

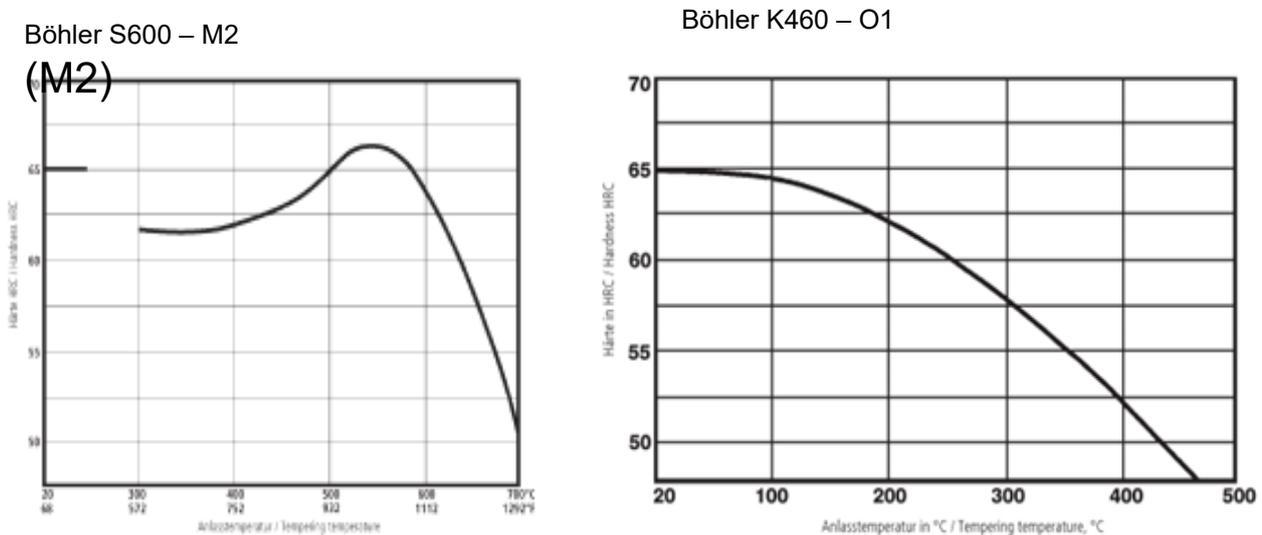


Fig. 2 Diagrama de revenidos

Luego del tratamiento térmico de revenido en el laboratorio, se midió la dureza en superficie nuevamente. Los resultados se muestran en la Fig. 3. En el gráfico puede observarse que el material de la cuchilla D32 disminuyó la dureza de 66 HRC a 45 HRC, mientras que el de la D17 la mantuvo. Por lo tanto puede inferirse que, con un alto grado de seguridad, las cuchillas D17 se encuentran construidas con acero O1 y las D17, con acero M2. Esta denominación se empleará de aquí en adelante.

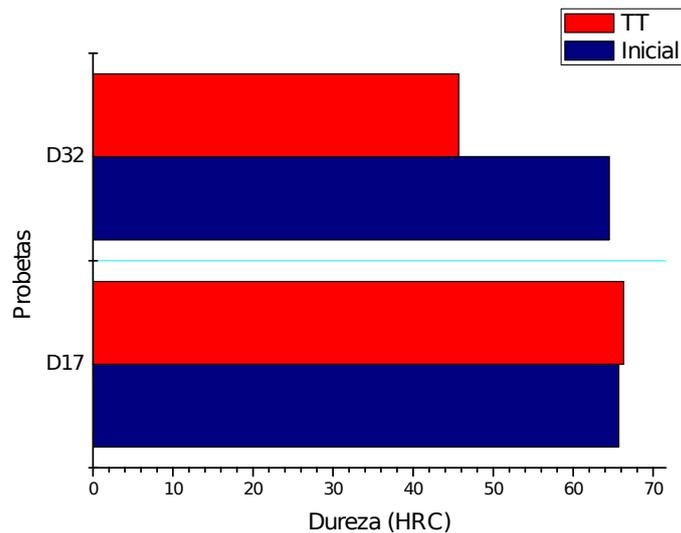


Fig. 2 Dureza inicial versus revenidas

### 3.2. Dureza después de la nitruración y ensayos de desgaste

A partir de este resultado, se diseñaron los ensayos de endurecimiento superficial. Se optó por una nitruración debido a la elevada resistencia al desgaste y dureza que proporciona, con valores de 650 a 1100 HV<sub>0,050</sub> según el material utilizado. Conforme las gráficas de revenido mostradas en la Fig. 2 se deduce que, aunque se lograra endurecer la superficie del acero O1, la dureza del material o del núcleo decaería, mientras que no generaría ningún efecto negativo sobre el acero M2.

En cada una de las probetas y en tres patrones de los materiales tratados, se realizaron ensayos de desgaste. Por "patrones" se entiende al material sin tratamiento superficial.

A continuación (Fig. 4.) se presenta el gráfico comparativo de pérdida de volumen donde se observa que, a pesar de la dureza similar, la resistencia al desgaste fue diferente entre los distintos materiales. Igualmente se verifica que el material O1 tratado mejoró su resistencia al desgaste, pese a que su dureza fuese la misma que la del otro acero. Claramente la resistencia al desgaste adhesivo es un fenómeno más complejo que la deformación plástica (medida de dureza).

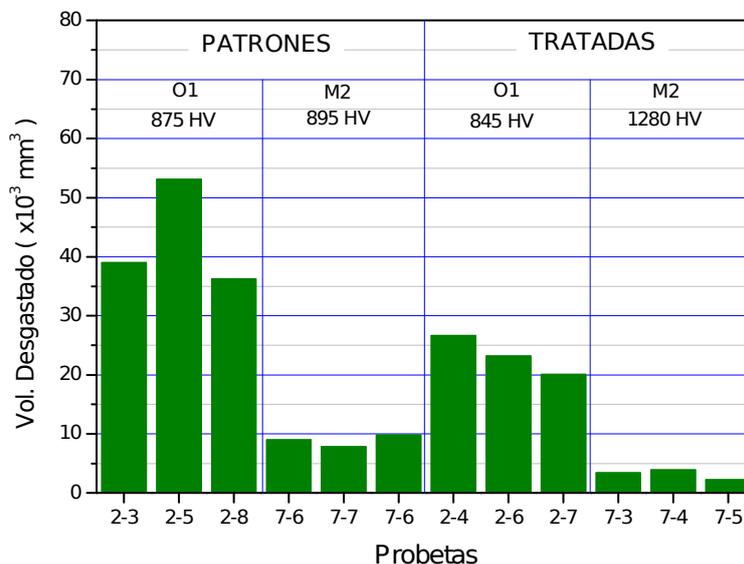


Fig. 4 Comparación de pérdida de volumen

La disminución en la pérdida de volumen del material O1 tratado (cuchilla D32) fue del 55% frente al material sin tratar; y la del acero M2 arrojó un resultado del 36% (cuchilla D17). No obstante el M2 tratado perdió un 23% del volumen total frente al O1 tratado.

### 3.3. Ensayos en planta

Se enviaron 6 pares de cuchillas a probar en planta. En la siguiente tabla (Tabla 1) se expone duración y detalles del tratamiento de los pares.

Las cuchillas en las máquinas fueron montadas de acuerdo a los parámetros de fábrica.

Tabla 1

MÁQUINA A	REFERENCIA	DURACION (HS)	COMENTARIOS	TRATAMIENTO
1	JUEGO AMARILLO GIS	1	Inmediatamente luego de instalarse el juego de cuchillas, el mecánico advirtió su mal funcionamiento acerca del corte y duración.	Reafiladas y nitruradas ambas
2	JUEGO NARANJA GIS	86	Se extrae de la máquina por mal corte.	Reafilada y nitrurada, la cuchilla fija
3	JUEGO GRIS GIS	36	Ídem.	Cuchillas nuevas, nitruradas ambas
4	JUEGO VERDE GIS	50	Ídem.	Cuchillas nuevas, nitrurada la fija
5	CUCHILLA NUEVA A	65	Ídem.	Ninguno
6	CUCHILLA REAFILADA B	85	Ídem.	Ninguno

Se detectó que en el Juego Amarillo, la cuchilla fija no está plana. Esa deformación podría haberse generado durante el tratamiento. De igual modo, es posible que haya llegado al laboratorio de esa manera y nunca se verificó. Por esto, el par se descarta del análisis.

A pesar de que no hay suficiente estadística, puede extraerse información útil, no sólo de la tabla sino también de la revisión ocular y con lupa que se realizó en las cuchillas usadas.

Se observó con claridad que la cuchilla fija, del material O1, sufrió el mayor desgaste en todos los casos analizados, es decir, en las máquinas comprendidas entre la 2 y la 6. La parte móvil de la cuchilla presenta poco desgaste.

Por otro lado, es notable la falla temprana del Juego Gris dado que fueron nitruradas ambas cuchillas. En el caso de la cuchilla fija, de acero tipo O1, sufrió un endurecimiento de la superficie y disminuyó la dureza del núcleo, debido a la temperatura del tratamiento. Ese efecto no ocurre en el material tipo M2 de las cuchillas móviles. Esto se reafirma con el buen rendimiento observado en el Juego Naranja, de la máquina 2, donde sólo se nitruró la cuchilla de M2.

### 4. Conclusión y recomendaciones

En primer lugar, se logra evidenciar el uso de un acero distinto para construir cada cuchilla de un mismo par; y esto es un error, especialmente en el acero elegido para la cuchilla D32 (la fija). Un tratamiento superficial eleva la resistencia al desgaste de ambos materiales, pero en caso de elegir esta opción, es indispensable el uso del acero M2 para la construcción de ambas cuchillas.

A partir de la observación de las probetas probadas en planta y retiradas por mal corte, se verificó que en cada una de ellas, el mayor desgaste, en extensión y profundidad, se presenta en las probetas fijas, es decir las D32, construidas con el acero O1.

Con estos resultados se estima que, con las dos cuchillas construidas con M2 y luego nitruradas, la resistencia al desgaste del par se elevaría al menos el doble, en otras palabras, duraría por lo menos el doble de tiempo el flanco de corte.

Se recomendó a la empresa enviar a construir juegos de cuchillas con el mismo diseño y material que éstas: acero tipo M2, como el Böhler S600. El AISI M2 es un tipo de acero rápido, el más recomendable para cuchillas, cizallas, fresas, herramientas de corte para madera y papel, entre otras aplicaciones.

Y como para elevar aún más la resistencia al desgaste, se recomendó nitrurar mediante plasma, ambas cuchillas en la cara del flanco de corte. El tratamiento debería tener una penetración de al menos 30 micrones. La nitruración por plasma es la más adecuada para estos tipos de aceros, en comparación con la nitruración gaseosa, ya que opera a temperaturas menores que los tratamientos clásicos y permite controlar la aparición de la capa blanca que en efecto, debería evitarse en este tipo de aplicaciones dada su fragilidad.

## **Referencias**

Davis, J.R., Surface Hardening of steels. ASM International. 1ra. edición (2002).

Hutchings, I.M., Tribology, Friction and Wear of Engineering Materials. Department of Materials Science and Metallurgy, University of Cambridge., 2da. edición (2001).

Pye, D., Practical Nitriding and Ferritic Nitrocarburizing. ASM International. 2da. edición (2005).

# MONITOREO DE CONTAMINACIÓN ACÚSTICA GENERADA POR EL TRÁFICO VEHICULAR EN EL ENTORNO DEL HOSPITAL VERA BARROS, LA RIOJA

Sebastián Avalos<sup>1,2</sup>, Ignacio Alaníz<sup>2</sup>, Juan Mercado Ramos<sup>1,2</sup>, Raúl Asís<sup>2,3</sup>, Emilce Lucero<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Departamento Electromecánica – UTN – Facultad Regional La Rioja

<sup>2</sup>Grupo de Actividades Interdisciplinarias Ambientales (GAIA) – UTN – FRLR

<sup>3</sup>Departamento Electrónica – UTN – Facultad Regional La Rioja

## Resumen

El presente forma parte de un trabajo de investigación que lleva a cabo el Grupo de Actividades Interdisciplinarias Ambientales (GAIA) perteneciente a la Facultad Regional La Rioja de la UTN en forma conjunta con los Departamentos de Ingeniería Electrónica y Electromecánica.

Los ruidos provenientes del tráfico vehicular son parte importante en la contaminación acústica en una ciudad, principalmente en zonas de alta sensibilidad, que requieren especial protección contra el ruido como son las de uso sanitario, docente, cultural y espacios naturales protegidos.

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos en el Hospital Vera Barros, principal centro de salud de la capital riojana. Las mediciones se realizaron con un decibelímetro marca CEM, modelo DT-8852 montado sobre un trípode de 1.5 metros de altura.

Se registró el movimiento vehicular, en horario diurno, desde las 10.28 hasta las 17.58 horas, a centímetros del cordón de la vereda y a 55 metros dentro del predio, entre las 7:30 y 9:40 horas. La toma de datos se realizó con una frecuencia de un segundo, obteniéndose picos máximos de 98,4 dBA a la altura de la calle y 72,2 dBA en el jardín.

Según los datos obtenidos los niveles medidos son altos, pero la distancia entre los puntos de medición respecto al de reposo de los enfermos es superior a 80 metros en un caso, y de 30 metros en el otro, sumando a esto la mampostería que actúa como barrera.

Así mismo se recomienda una mayor densidad de vegetación aumentando la ya existente como barrera natural entre la fuente de origen y las instalaciones, a modo de prevención, constituyendo esta una solución económicamente viable y ambientalmente accesible, sumado a que existe espacio físico disponible para ello.

## Introducción

La contaminación acústica ambiental, ocasionada por el tráfico vehicular, es un problema que preocupa a nivel mundial. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) el ruido ambiental tiene efectos adversos sobre la salud de las personas como por ejemplo: problemas en la audición, trastorno del sueño y la conducta, merma en el rendimiento y disfunciones fisiológicas o de salud mental.

A fin de combatir este problema existen normas estableciendo zonas diferenciadas y valores máximos permitidos en distintas franjas horarias. En la ciudad de La Rioja existe la Ordenanza Municipal N° 1.1282 del año 1975 muy general, que en los artículos 57 al 68 regula los “ruidos excesivos” y reglamenta los decibeles permitidos en distintos ámbitos. Para el sector hospitalario, designado como ámbito I, los máximos son de 35 dBA para la noche y de 45 dBA en el día, estableciendo el horario diurno entre las 6 y 22 horas y el nocturno entre las 22 y 6 horas.

El proyecto intenta registrar los datos provenientes de fuentes móviles en áreas sensibles, para armar una base que pueda ser usada por el municipio estableciendo las medidas correctoras que cada caso particular requiera. En este trabajo solo se presentan los resultados del Hospital Enrique Vera Barros, principal nosocomio de la capital provincial. El hospital está ubicado en la zona Este de la ciudad sobre la Av. Madre Teresa de Calcuta, ocupa una superficie de una

hectárea, cuenta con servicios de urgencias, internación, terapia intensiva, análisis clínicos, diagnóstico por imágenes, consultorios externos, unidad de cuidados intensivos, figura 1. Los puntos marcados con color rojo y verde son los puntos de muestreo de datos en el exterior e interior del hospital, respectivamente.



Figura 1: Vista del Hospital Enrique Vera Barros

## Materiales y Método

Para el trabajo de campo se utilizaron los siguientes equipos: un Sonómetro Clase 2 DT-8852 CEM en la obtención de los niveles sonoros (certificado de calibración N°YL-111403), un calibrador CEM SC-05 clase 2 que permite calibraciones a 94 dB (certificado de calibración N°YL-111403A), un Anemómetro CEM DT-619 para control de vientos y GPS Garmin Etrex Legend H para la ubicación de los puntos de muestreo (ver figuras 2, 3, 4 y 5).



Figura 2: Sonómetro



Figura 3: Calibrador



Figura 4: Anemómetro



Figura 5: GPS

En primer lugar se realizó la medición en la parte externa del Hospital, próxima a la vía principal, construida de asfalto con tres carriles de circulación en dirección sur-norte, y en una segunda instancia en el patio exterior entre la calle y el edificio, a 55 y 10 metros, respectivamente.

En la zona más próxima a la calle, el sonómetro se ubicó a  $29^{\circ}24'49.2''$  de latitud Sur y a  $66^{\circ}50'14.3''$  de Longitud Oeste, sobre la vereda en un trípode a 1.5 metros de altura y a treinta centímetros del cordón, figuras 6 y 7. El registro de datos se realizó el día 1 de noviembre de 2017 en la franja horaria que va desde las 10.28 hs. a las 17.30 hs. en forma continua, de modo tal que abarcase un horario pico de movimiento vehicular. La temperatura osciló entre 30 y 33°C, soleado, sin nubes y viento calmo, 2 a 9 Km/h.



Figuras 6 y 7: Toma de datos en la zona cercana al tráfico

El registro de datos en el área del patio exterior del hospital (figuras 8 y 9) se realizó el día 21 de diciembre de 2017 entre las 7:40 y 9:40 horas a 55 metros de la calle y a 10 metros de la pared exterior del edificio, el sonómetro se ubicó a la misma altura que el otro punto, posicionando con GPS ( $29^{\circ}24'50.4''$  Latitud Sur y  $66^{\circ}50'12.3''$  Longitud Oeste). La temperatura de 31.8°C se mantuvo constante durante todo el tiempo de registro de datos, con una humedad ambiente de 25%, el viento sopló a una velocidad de 5 Km/h con picos de 15 Km/h.

El lugar se encuentra rodeado de árboles distribuidos de forma irregular, el terreno en un 90% está compuesto de césped y tierra, con una gran circulación de estudiantes, visitantes y personal del hospital, actuando como fuente extra de ruido ambiental.



Figuras 8 y 9: Toma de datos en el patio del hospital

## Resultados

Los datos recabados durante las mediciones en velocidad **slow**, un valor por segundo, se agruparon por minuto, es decir se toma el promedio por minuto, y se graficaron los máximos de 15 minutos por cada hora, siendo este lapso de tiempo representativo de lo observado en el terreno.

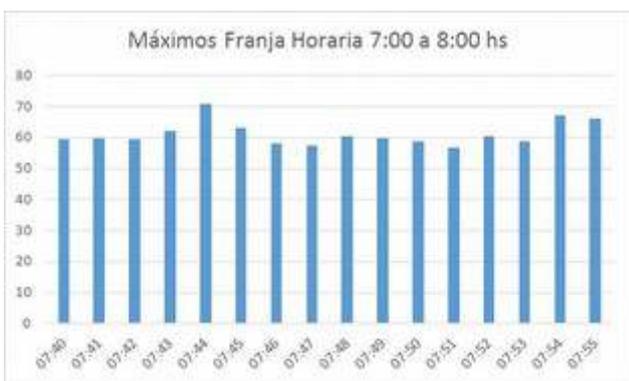
Por razones de extensión las planillas de datos no se anexan a este trabajo y solo se presentan los gráficos que permiten una mejor visualización de los resultados obtenidos. En el eje vertical se grafican los valores en dBA y en el eje horizontal el horario correspondiente.

### Exterior del hospital





Interior del hospital





## Conclusiones y Recomendaciones

Los máximos obtenidos son de 98.4 dBA en el exterior y los 72.2 dBA en el patio interno. Los valores medios son de 62.5 dBA y 56.25 dBA, dentro y fuera del predio, respectivamente. Del análisis resulta que los valores se reducen en forma considerable a una distancia aproximada de 55 metros. Por ello se deduce que los valores dentro del edificio, especialmente en las habitaciones donde descansan los pacientes, disminuyen en función de la distancia al foco y también por efecto barrera de las paredes que los separan.

Igualmente, se recomienda aumentar la densidad de vegetación existente (especies autóctonas) como barrera natural entre la fuente de origen y las instalaciones, a modo de prevención, siendo esta una solución económicamente viable y ambientalmente accesible, sobre todo porque existe espacio físico disponible para ello.

## Bibliografía

Bruel & Kjaer Sound & Vibration Measurement A/S, "Ruido Ambiental", (2000).

Petiti, Y.I.; Lorenzo, J.; Verzini, A.M. "Evaluación de un Entorno Sonoro Urbano". Memorias en CD Room del 2do Congreso Internacional de Acústica, UNTREF, 8/10 de septiembre, Buenos Aires, (2010).

Petiti, Y. I., Verzini, A. M. Proceedings. "¿Qué sabemos sobre los efectos del ruido?". I Jornadas Regionales de Acústica-AdAA 2009. (Trabajos completos en CD-Rom, resúmenes en libro ISBN 978-987-22880-8-2. Rosario, Noviembre, (2009).

Rocio Díaz Ramirez. "Muestreo Temporal para la evaluación del ruido ambiental" Proyecto fin de carrera. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica de Telecomunicación, (2012).

# DETECCIÓN DE FALLAS EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES MEDIANTE SEÑALES DE VIBRACIONES

Andrés Tomás Morello, Tutor: Ing. Carlos Tais

Departamento de Ingeniería Mecánica, UTN Facultad Regional Villa María.  
Avda. Universidad 450 (5900) Villa María, Córdoba.  
andresmore6@gmail.com

## Resumen

Las estructuras, tal y como se diseñan y construyen actualmente, son ideadas para que presten un adecuado servicio durante un tiempo de vida especificado, sin incluir en dicha estimación el aumento de la vida útil gracias al mantenimiento que se le aplique a las mismas. A medida que el tiempo transcurre, éstas dejarán de servir de la misma manera que cuando fueron construidas; es decir, sus propiedades tanto mecánicas como geométricas e incluso estéticas se degradarán paulatinamente. Diferente es el caso cuando una estructura que se encuentra en plena capacidad de servicio es afectada por eventos extremos, tales como sismos, huracanes, tornados, inundaciones, explosiones, actos terroristas o medio ambientes agresivos, pues entonces se provoca una degradación mecánica acelerada, que puede verse reflejada de diversas formas en el comportamiento estructural de la misma. Todas las situaciones expuestas anteriormente, son causantes de daño. De manera más precisa y para propósitos de este trabajo, el daño se puede definir como el cambio en las propiedades materiales y/o geométricas de la estructura, incluyendo sus condiciones de apoyo, conectividad entre elementos, secciones transversales geométricas, cargas, propiedades materiales y cualquier otro factor capaz de provocar un comportamiento inusual, presente o futuro, de la estructura.

Los métodos de detección de daño basados en vibraciones suponen que cualquier situación de daño se puede traducir como una reducción de la rigidez estructural. Como la respuesta dinámica está gobernada por los parámetros estructurales del sistema (rigidez, masa, amortiguamiento, propiedades de los materiales, etc.), cualquier cambio en los mismos implicará cambios en la respuesta vibratoria, caracterizada por los parámetros dinámicos (frecuencias naturales, modos de vibración, factores de amortiguamiento, etc.).

Entonces el problema de la localización y estimación del daño consiste en correlacionar adecuadamente las características dinámicas en su estado inicial y con daño.

En este trabajo se propone aplicar el método de detección de daño basado en vibraciones denominado DLAC (criterio de aseguramiento de localización de daño). Este método permite detectar y localizar la presencia de alteraciones estructurales mediante correlaciones de las frecuencias naturales obtenidas experimentalmente con aquellas determinadas analíticamente o mediante métodos numéricos. Se destaca el buen comportamiento del método para estructuras no simétricas, aunque en los casos en que el daño se ubica próximo a los soportes no puede eliminarse la influencia de este en la medición experimental.

**Palabras Claves:** Frecuencias naturales, Vibraciones, DLAC, Identificación de daño, vigas.

## 1. Introducción

El monitoreo de la salud estructural mediante el estudio del comportamiento dinámico global de la estructura no es un concepto nuevo. Es conocido el hecho de que los antiguos artesanos tocaban sus utensilios de arcilla y escuchaban su tono como una forma de determinar la condición del recipiente fabricado. Entendían que cualquier desviación de la norma esperada en el tono indicaba la presencia de algún defecto en el trabajo realizado. Este concepto es la base del monitoreo de la condición estructural basado en vibraciones. Actualmente se utilizan dispositivos de detección innovadores para adquirir y registrar datos y luego aplicar herramientas matemáticas sofisticadas durante el proceso de monitoreo.

En general, la integridad estructural es monitoreada por técnicas simples como inspección visual y ultrasonido [1] [2]. La experiencia del inspector es necesaria para diagnosticar los resultados de las pruebas, que solo pueden revelar posibles síntomas de daño.

Estos métodos requieren excesiva mano de obra y consumen mucho tiempo, demandando tanto un técnico de campo capacitado para realizar las pruebas como un ingeniero estructural para interpretar los resultados.

Debido a las limitaciones asociadas con los métodos citados, se buscan alternativas de monitoreo más robustas. Actualmente, se desarrollan metodologías analíticas de monitoreo basadas en los modelos matemáticos que describen el movimiento armónico simple o modelo masa-resorte-amortiguador. Estas técnicas tienen su origen en la industria aeroespacial y se aplican a otros sectores con cierto éxito.

## 2. Metodología de detección de daño

Las técnicas de monitoreo basadas en la correlación de características dinámicas de la estructura consisten esencialmente comparando las características de un modelo numérico con las de la estructura real. En general, estos métodos se implementan de acuerdo con el siguiente concepto: Las características dinámicas de la estructura real se obtienen efectuando las mediciones correspondientes y se comparan con una base de datos de estas características extraídas de la respuesta de modelo numérico. Este modelo de la estructura sana se utiliza para generar y posteriormente simular todos los posibles escenarios de daño.

Si existe una fuerte correlación entre un conjunto de características estructurales observadas y aquellas obtenidas por medio de un modelo numérico pueden indicar la condición de la estructura similar a la del modelo, es decir, se puede afirmar que la estructura real está dañada de la misma manera que el modelo numérico.

Cawley & Adams [3] presentaron uno de las primeras técnicas de correlación que se utilizaron para localización de daño. Esta consistía en comparar relaciones de frecuencias naturales consecutivas obtenidas de un modelo experimental con aquellas obtenidas mediante el modelo numérico. A partir de entonces, métodos más sofisticados han sido introducidos con el objetivo de reducir la cantidad de datos requeridos y el costo computacional.

## 3. Criterio de Aseguramiento de la Ubicación del Daño

En este estudio se utiliza el Criterio de Aseguramiento de la Ubicación del Daño, (DLAC, Damage Localization Criterion) desarrollado por Messina et al [4]. Este método fue desarrollado a partir del Criterio de Aseguramiento Modal (MAC, Modal Assurance Criterion). El índice MAC es una medida de la correlación lineal entre los modos normales experimentales vs analíticos y es utilizado generalmente para validar la confiabilidad de un modelo matemático representativo del real. Messina et al demostraron que el concepto MAC puede extenderse y ser utilizado para la localización del daño comparando características como las frecuencias naturales de un modelo con la de la estructura en estudio.

Si  $\{\Delta f\}$  es un vector que mide el cambio en las frecuencias naturales obtenidas experimentalmente para una estructura con un defecto en una posición desconocida y  $\{\delta f_j\}$  es el vector de cambio en las frecuencias naturales obtenido analíticamente para un daño ubicado en la

posición  $j$ , el indicador DLAC es una medida de la correlación entre ambos vectores y se expresa por:

$$DLAC(j) = \frac{\left| (\Delta f)^T \{\delta f_j\} \right|^2}{\left( (\Delta f)^T \cdot (\Delta f) \right) \cdot \left( \{\delta f_j\}^T \cdot \{\delta f_j\} \right)} \quad (1)$$

El vector de variaciones en las frecuencias observadas se define como:

$$\{\Delta f\} = \{\Delta f_1, \Delta f_2, \Delta f_3, \dots, \Delta f_n\} \quad (2)$$

Y el vector de variaciones en las frecuencias obtenido analíticamente para la posición  $j$  como:

$$\{\delta f_j\} = \{\delta f_{1j}, \delta f_{2j}, \delta f_{3j}, \dots, \delta f_{nj}\} \quad (3)$$

Las componentes de ambos vectores se calculan mediante

$$\Delta f_i = \frac{f_{i, \text{observado}} - f_{i, s/\text{daño}}}{f_{i, s/\text{daño}}} \quad \text{y} \quad \delta f_{ij} = \frac{f_{ij, \text{teórico}} - f_{ij, s/\text{daño}}}{f_{ij, s/\text{daño}}} \quad (4)$$

Así,  $\{\Delta f\}$  y  $\{\delta f_j\}$  son dos vectores de dimensión  $n$ , donde  $n$  es la cantidad de escenarios hipotéticos de daños o posibles ubicaciones que se han propuesto para el estudio. El indicador DLAC varía entre 0 y 1 indicando en este caso una coincidencia exacta entre los vectores de cambios de frecuencias. La ubicación  $j$  dada por el mayor valor de DLAC indica la mejor correspondencia y por lo tanto se asume que es la predicción de la localización del año.

Ambos vectores de cambios en las frecuencias están normalizados respecto a las frecuencias de la estructura sana. Esto es porque el empleo de variaciones en términos porcentuales pondera por igual a los modos normales altos y bajos, mientras que si se emplearan cambios absolutos se destacarían los modos altos ya que estos tienen a exhibir cambios mayores.

Es importante destacar que la ecuación (1) puede ser utilizada para detectar solamente ocurrencias de daño único. Existen otras metodologías que pueden emplearse para localizar múltiples daños simultáneamente. Contusi et al [5] desarrollaron el criterio de Aseguramiento de Localización de Múltiples Daños (MDLAC, Multiple Damage Localization Criterion) basado en la métrica DLAC, el cual se utilizará en futuros trabajos para detectar escenarios de múltiples daños. Un beneficio importante del indicador DLAC es que la magnitud del daño simulado en el conjunto de vectores hipótesis no afectan significativamente los resultados de localización.

#### 4. Implementación e investigaciones realizadas

Para implementar el método, se analizó el problema de una viga cantiléver (empotrada en un extremo y libre en el otro) de largo libre de 750 mm con una sección recta rectangular de dimensiones 75 x 35 mm orientada de manera que la flexión se produzca alrededor de su eje de menor momento de inercia. Las propiedades físicas y mecánicas del acero son: Módulo de Young,  $E=2100000 \text{ kg/cm}^2$ , y coeficiente de Poisson,  $\mu = 0.3$  y la densidad  $\delta = 7850 \text{ kg/cm}^3$ .

El daño estructural se simula mediante el agregado de masa, lo que es equivalente a una pérdida de rigidez, para representar una variación en las frecuencias naturales.

Las frecuencias naturales teóricas de la viga sana y con daño se obtienen a partir de un modelo de Elementos Finitos utilizando elementos viga Euler-Bernoulli. La longitud total de la viga se divide en 15 elementos de 50 mm longitud. Resultan suficiente la determinación de las cuatro primeras frecuencias naturales de la viga.

Se proponen cuatro escenarios de daño (D1, D2, D3 y D4) ubicados a 100 mm, 300 mm, 550 mm y 700 mm del extremo fijo correspondiendo el escenario D1 al daño en el elemento 2, en el

elemento 6 para el escenario D2, en el elemento 11 para el escenario D3 y en el elemento 14 para el escenario D4. En la Figura 1 se muestra el modelo de la viga implementado con la ubicación de los distintos escenarios de daño propuestos.

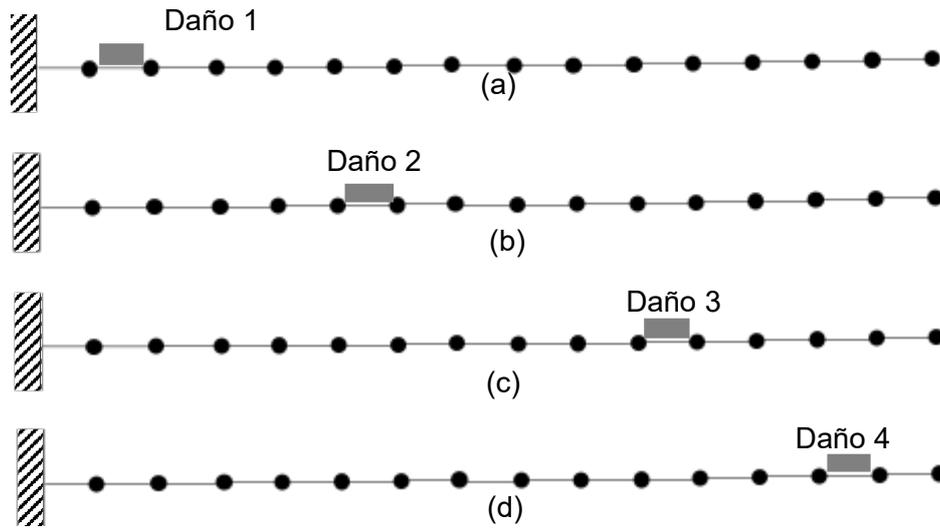


Fig. 1: Modelo de viga analizado y ubicación del daño. (a) Escenario D1 (100 mm, elemento N° 2), (b) Escenario D2 (300 mm, elemento N° 6), (c) Escenario D3 (550 mm, elemento N° 11) y (d) Escenario D4 (700 mm, elemento N° 14)

Las frecuencias naturales experimentales se calculan a partir de la determinación de los cuatro primeros modos normales de la viga en cada escenario de daño. Para la medición de las mismas se utilizó hardware compuesto de acelerómetro digital ADXL 345 [6] de tipo capacitivo con capacidad de medición en tres ejes y una placa ARDUINO Mega [7]. El software de adquisición, registro y procesamiento fue realizado por docentes y becarios del Departamento de Ingeniería Mecánica de la UTN Facultad Regional Villa María aprovechando las posibilidades que ofrece el entorno de programación MATLAB R2014 [8].

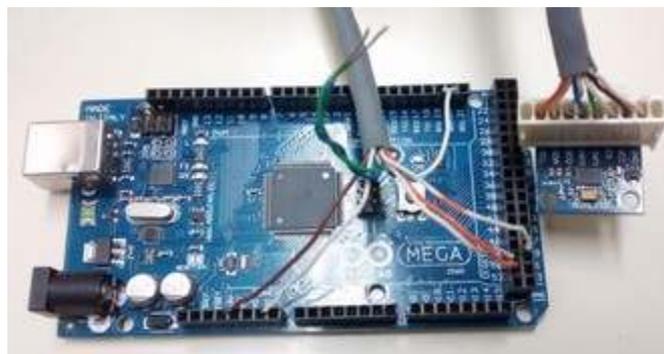


Fig. 2: Placa y sensor utilizados para la adquisición y registro de los datos

En la Tabla 1 se muestran las frecuencias naturales calculadas experimentalmente para los cuatro primeros modos normales.

Tabla 1. Frecuencias naturales obtenidas experimentalmente

Modos normales	Frecuencias (Hz)				
	Sin daño	D1	D2	D3	D4
1	8.8	8.6	8.4	7.6	6.6
2	53.4	60.25	42	51	48.53
3	160	125	136	132	163.34
4	344	322	333	338	340

### 3. Análisis de resultados

Cada una de las variaciones de frecuencia obtenidas experimentalmente para cada propuesta de ubicación de la falla se compara con la variación de frecuencias experimentales mediante el índice DLAC de acuerdo a la ecuación (1). Este algoritmo ha sido programado en el lenguaje MATLAB R2014. Los resultados de los cuatro diferentes escenarios de daño se muestran en la Figura 3 mediante gráficos de barra indicando el valor del índice para división efectuada en la barra.

En el caso (a), donde el daño se encuentra en el elemento 2, los resultados son adversos teniendo en cuenta los valores del índice DLAC arrojados. Esto puede deberse a que el daño se encuentra cerca del soporte y entra en juego su influencia en la medición experimental.

Para los casos (b), (c) y (d), donde los daños se ubican en los elementos 6, 11 y 14 respectivamente, observamos que el índice DLAC obtenido para cada caso toma los mayores valores justamente donde el daño estructural mediante el agregado de masa fue situado. Esto quiere decir que el método funciona bien, sobre todo a medida que la localización del daño se aleje del empotramiento de la viga, ya que la influencia del soporte en la medición se atenúa y, además, permite una lectura mucho más nítida y fácil de las frecuencias naturales en el software de adquisición de datos.

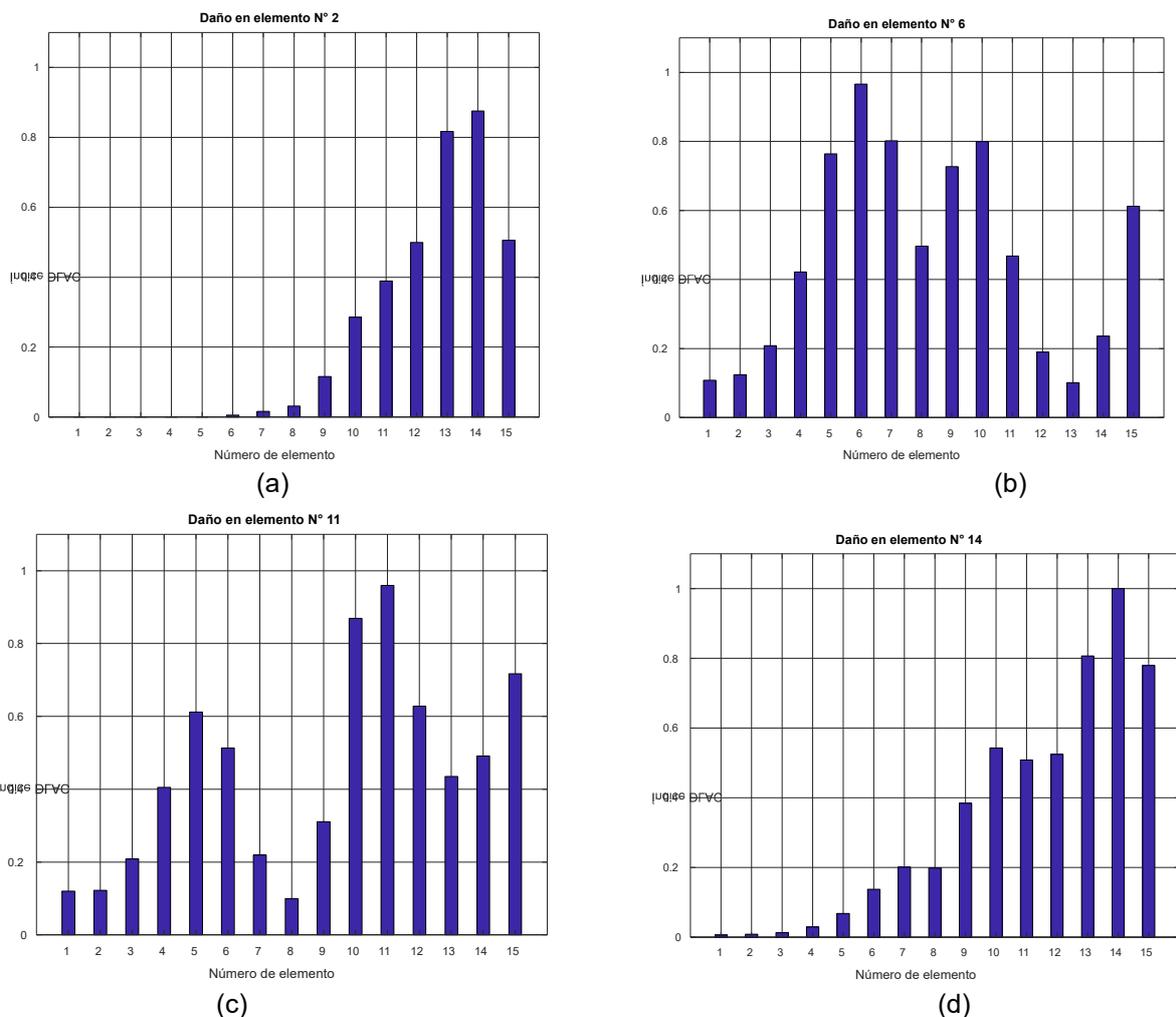


Fig. 3: Representación de la correlación DLAC mediante gráficos de barras indicando la localización de la falla en cada escenario

#### 4. Conclusiones

En este trabajo se ha utilizado una viga cantiléver para estudiar experimental y numéricamente la metodología de detección de daño mediante el índice DLAC. Para esto se simularon cuatro escenarios de daños con distintas ubicaciones de la falla, donde encontramos que el método funciona a medida que el daño se aleja del soporte de la viga donde las mediciones se tornan dificultosas y existe una influencia del empotramiento.

Este método de correlación ha probado ser robusto cuando se lo ha aplicado a un sistema continuo, dando resultados confiables en los casos estudiados. Mediante una placa Arduino y un acelerómetro (ambos comerciales y de económica adquisición) y sumado a unas horas de programación obtuvimos un software de adquisición, registro y procesamiento de datos confiable. Posee la ventaja de requerir la determinación de los valores de las frecuencias naturales en lugar de los modos propios, lo cual resulta mucho más dificultoso dado que requiere medir desplazamientos en varias posiciones simultáneamente [9].

Se reconoce como inconveniente la imposibilidad del método de detectar escenarios de varios daños simultáneamente. Aunque existen variantes de este método, MDLAC por ejemplo, que permiten evaluar escenarios de daños múltiples. Estos métodos se encuentran en los intereses de estudio del autor de este trabajo y se previene su exposición en futuras reuniones científicas.

#### 5. Referencias.

- 1 Rytter. A., Vibrational based inspection of civil Engineering structures. PhD thesis, university of Aalborg, April 1993
- 2 Grunert, M. S., Routine uses of NDE applications in Nevada DOT bridge inspection program. In proceedings of the 5th ITI Bridge NDE Users Group Conference. California Department of Transportation Northwestern University Infrastructure Technology Institute, (1997).
- 3 Cawley, P. and Adams, R. D., "The Localization of defects in structures from measurements of natural frequencies. Journal of strain Analysis, 14:49-57, 1979
- 4 Messina, A. and Williams, E. J., Damage detection and localization Using natural frequency changes. In proceedings of the conference on identification in engineering systems, (1996), p 67-76.
- 5 Conturi, T. Messina, A. and Williams, E. J. A multiple damage location assurance criterion based on natural frequency changes. Journal of vibration and control, (1998), p 619-633.
- 6 Analog Devices <http://www.analog.com/en/search.html?q=adxl345>, 2018
- 7 Arduino <https://www.arduino.cc/en/Guide/ArduinoMega2560>, 2018
- 8 Matlab R2014. Mathworks, <https://la.mathworks.com/products/matlab.html>, 2018.
- 9 Cao T.T, Zimmerman D.C "Procedure to extract Ritz vectors from dynamic testing data", (1999). J. Struct. Eng. 125, 1393–1400.

# APLICACIÓN EN SCILAB PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESPUESTA DINÁMICA EN ROTORES FLEXIBLES

Fabbi, Nicolás<sup>(1)</sup>, Tutor: Palmieri, Fernando<sup>(2)</sup>

*Grupo de Estudio de Vibraciones Mecánicas, U.T.N. Facultad Regional San Nicolás,  
Colón 332, (CP2900) San Nicolás, Buenos Aires, Argentina.  
nfabbi@frsn.utn.edu.ar (1), fpalmieri@frsn.utn.edu.ar (2)*

## RESUMEN

El estudio de la dinámica de los rotores es un tema de gran importancia en la ingeniería mecánica. Esta área de estudio se ocupa de resolver problemas como la respuesta en vibraciones de rotores con desbalanceo o desalineación [1]. Esta determinación es muy importante a la hora de realizar un adecuado diseño de un nuevo rotor, o al momento de analizar su funcionamiento.

El método de la matriz de transferencia es uno de los métodos propuestos para la determinación de las formas modales y las frecuencias críticas de un rotor [2]. El mismo es de sencilla aplicación, se basa íntegramente en ecuaciones de la mecánica clásica y permite obtener resultados empleando relativamente poca capacidad de cálculo. Actualmente hay enfoques que emplean el método de los elementos finitos con el mismo objetivo, pero este implica una matemática y una programación más compleja y mayor capacidad de cálculo [3].

El objetivo de este trabajo es desarrollar una aplicación libre que permita obtener la respuesta de un rotor flexible a fuerzas debidas a desequilibrado empleando el método de la matriz de transferencia. El trabajo incluye el desarrollo de la aplicación, la validación contra datos obtenidos por métodos numéricos alternativos y experimentales.

Para el desarrollo de la aplicación se usaron subrutinas programadas en Scilab por tratarse de un software libre. Se generó una interfaz amigable e intuitiva para que el analista de vibraciones o el diseñador mecánico lo puedan emplear fácilmente.

Para comparar los resultados obtenidos por los algoritmos generados dentro de la aplicación se eligió modelos de elementos finitos confeccionados en un software comercial y datos experimentales obtenidos con el rotor de pruebas de la facultad y un analizador comercial de vibraciones.

En base a los datos obtenidos de la aplicación se puede concluir que la herramienta desarrollada entrega resultados satisfactorios en la determinación de la amplitud de vibraciones debidas a desbalanceo.

**Palabras Claves:** Scilab, Dinámica de rotores, Desbalanceo, Matriz de Transferencia

## 1. INTRODUCCIÓN

El estudio de la dinámica de rotores, en la actualidad, ha adquirido una importancia fundamental en muchas aplicaciones de ingeniería. La demanda creciente de equipos de alta potencia, elevado número de vueltas y bajo peso, ocasiona que en muchos casos, estos equipos funcionen por encima de una o varias de sus velocidades críticas. Es por ello, que el análisis del comportamiento dinámico de los rotores se convierte en un elemento fundamental en el diseño y durante la operación de los equipos si se desea obtener un funcionamiento seguro, confiable y duradero.

Cada vez es más habitual que los diseñadores de equipos como turbinas de vapor y de gas, compresores y husillos de máquinas herramientas deban recurrir a herramientas para estudiar cómo será el comportamiento dinámico de los rotores una vez construidos. Actualmente, el método de los elementos finitos y el método de la matriz de transferencia son los dos caminos más usuales para analizar el comportamiento de los sistemas rotor-cojinete. El método de los elementos finitos permite modelar el sistema rotor-cojinetes mediante un sistema de ecuaciones diferenciales de segundo orden que se deben resolver numéricamente para poder estimar la respuesta del rotor.

La aplicación de modelos de elementos finitos en dinámica de rotores ha sido exitosamente verificada [1]. No obstante, el principal inconveniente de este camino es que emplea una gran capacidad de cálculo, la programación es compleja y, en general, requiere un conocimiento de la geometría preciso. Estos factores lo convierten en un método poco práctico en ciertas situaciones. El método de la matriz de transferencia, en cambio, resuelve el problema dinámico en el dominio de las frecuencias, utilizando un procedimiento de aproximación que consiste en partir de un extremo del rotor, donde las condiciones de contorno son conocidas. Luego usando expresiones

lineales simples se va determinando los parámetros del rotor en determinados puntos característicos a lo largo del mismo (cambios de sección, apoyos intermedios, rodetes de alabes, etc.). Se continúa avanzando en forma progresiva hasta llegar al otro extremo. La condición de satisfacción de las condiciones de contorno de este último extremo y en todos los puntos intermedios permite plantear un sistema de ecuaciones lineales para determinar las velocidades críticas. Luego con esa solución se puede obtener el estado del rotor en esos puntos característicos intermedios a través de las matrices de transferencia.

Este método tiene como principal ventaja que no requiere almacenar o manipular grandes matrices de datos, se puede trabajar con datos concretos, como son los diámetros del rotor y las masas de los componentes y resulta más rápido para obtener resultados cuando la capacidad de cálculo es reducida.

La idea fundamental del método de las matrices de transferencias fue propuesta por Holtzer para sistemas sometidos a vibraciones torsionales, luego Myklestad lo generalizó para sistemas sometidos a la flexión [2]. Desde entonces distintas publicaciones fueron ofreciendo generalizaciones del método para sistemas rotor-cojinete considerando variable compleja para reflejar el comportamiento en dos direcciones, incluyendo los efectos giroscópicos, de torsión y flexión combinadas, usando distintos modelos para los cojinetes, etc. [1] Como sugiere Murphy [3] este método en algunos casos puede presentar errores en la determinación de algunas respuesta dinámica, pero existen técnicas para asegurar la precisión y mejorar los resultados. En otro trabajo el mismo autor sostiene que puede limitarse el error a un máximo del siete por ciento [4] si se tiene cuidado en optimizar correctamente el algoritmo de cálculo.

## 2. FORMULACIÓN MATEMÁTICA

El método de la Matriz de Transferencia es un método aproximado que trata al sistema continuo como un sistema de n-grados de libertad, donde n es un número finito. Se plantean ecuaciones de equilibrio que se resuelven asumiendo una solución que tiene generalmente la forma de series de funciones conocidas. Este procedimiento conduce a un problema de auto-valores, similar en estructura al problema de un sistema discreto de n-grados de libertad. Su solución es un conjunto de "n" auto-valores distintos, que proveen las aproximaciones para las primeras "n" frecuencias naturales o velocidades críticas del sistema dependiendo de los datos y las simplificaciones realizadas: estos auto-valores se corresponden con los "n" auto vectores, que se calculan por el mismo método y son usados para construir las "n" formas modales para el sistema continuo. Como ya se dijo, Myklestad lo desarrollo originalmente para a la vibración transversal de las vigas [2] considerando las siguientes relaciones para un sistema en flexión:

$$\frac{\partial Q(x,t)}{\partial x} = m(x) \cdot \frac{\partial^2 \delta(x,t)}{\partial t^2} \quad \text{Y} \quad Q(x,t) = \frac{-\partial M_f(x,t)}{\partial x} \quad (1) \text{ y } (2)$$

Donde  $Q(x,t)$  es el esfuerzo de corte,  $M_f(x,t)$  el momento flector,  $\delta(x,t)$  es la deformación y  $m(x)$  es la masa de los tramos de viga, todas expresadas como función del tiempo y de la abscisa a lo largo del eje. Siguiendo la metodología propuesta por Meirovitch [2] donde estas magnitudes toman la forma del producto de una función armónica por una amplitud que es función de la abscisa a lo largo del eje:

$$\delta(x,t) = \delta(x) \sin(\omega t + \varphi) \quad (3) \quad Q(x,t) = Q(x) \sin(\omega t + \varphi) \quad (4) \quad M_f(x,t) = M_f(x) \sin(\omega t + \varphi) \quad (5)$$

Donde  $\omega$  es la frecuencia y  $\delta(x)$ ,  $Q(x)$ , y  $M_f(x)$  son las amplitudes de la deformación, el esfuerzo de corte y el momento flector respectivamente. Las que se traducen en expresiones discretas, considerando, para ello, tramos de eje elástico de masa despreciable. Entonces se procede a dividir el eje en tramos llamados campos separados por rotores o discos llamados estaciones, usando la relación entre las fuerzas y momentos en un extremo del campo y el desplazamiento lineal y angular en el otro y las relaciones de continuidad de una viga se pueden escribir las matrices de transferencia para cada campo.

$$\begin{pmatrix} \delta_{i+1}^L \\ \psi_{i+1}^L \\ M_{i+1}^L \\ Q_{i+1}^L \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \Delta x_i & \frac{\Delta x_i^2}{2EI_i} & \frac{-\Delta x_i^2}{6EI_i} \\ 0 & 1 & \frac{\Delta x_i}{EI_i} & \frac{-\Delta x_i^2}{2EI_i} \\ 0 & 0 & 1 & -\Delta x_i \\ -\omega^2 m_i & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \delta_i^R \\ \psi_i^R \\ M_i^R \\ Q_i^R \end{pmatrix} = [T_f]_i \begin{pmatrix} \delta_i^R \\ \psi_i^R \\ M_i^R \\ Q_i^R \end{pmatrix} \quad (6)$$

Luego usando las ecuaciones de la dinámica de cuerpos rígidos se puede analizar el movimiento de cada disco que tiene el rotor. Para ello se pueden emplear los ángulos de Euler, y a partir de las ecuaciones de Lagrange se pueden plantear las ecuaciones de equilibrio del disco que sirven para llegar a la matriz de transferencia del mismo. Un desarrollo detallado de este método se puede encontrar en el trabajo de Hsieh y colaboradores [1]. Trabajando sobre las expresiones desarrolladas por estos autores y despreciando el efecto de torsión, se arriba a las siguientes ecuaciones de equilibrio para el disco en dos direcciones, vertical y horizontal.

$$Q_y^R - Q_y^L - \omega^2 m \cdot \delta_y - m \cdot g = 0 \quad (7)$$

$$Q_x^R - Q_x^L - \omega^2 m \cdot \delta_x = 0 \quad (8)$$

$$M_y^R - Q_y^L - I \cdot \ddot{\psi}_y - I_p \cdot \omega \cdot \dot{\psi}_x = 0 \quad (9)$$

$$M_x^R - Q_x^L - I \cdot \ddot{\psi}_x - I_p \cdot \omega \cdot \dot{\psi}_y = 0 \quad (10)$$

Donde  $Q$  es esfuerzo de corte,  $M$  momento flector,  $m$  es la masa del disco,  $\delta$  es deformación transversal,  $\psi$  es ángulo de giro,  $\omega$  es frecuencia de rotación,  $I$  es momento de inercia de masa del disco respecto al eje de giro,  $I_p$  es el momento de inercia del disco respecto a un eje perpendicular al de giro,  $g$  es la aceleración de la gravedad, los subíndices  $x$  e  $y$  indican dirección horizontal y vertical respectivamente y los superíndices  $R$  y  $L$  indican derecha e izquierda del disco. Estas expresiones permiten llegar una matriz de transferencia, similar a la presentada en la ecuación 3, pero para el disco, y el orden de la matriz depende de la cantidad de términos que se empleen en la serie armónica usada para representar cada una de las variables.

Por último, en el Método de la Matriz de Transferencia los soportes son considerados también como estaciones y la matriz de transferencia de estas se obtiene considerando que los apoyos tienen una determinada rigidez  $K$ , constante y aplicando la ley de Newton a un elemento de eje de longitud despreciable ubicado en el centro del apoyo. Cuando este parámetro es conocido por algún camino se puede incluir en el algoritmo, pero de no ser así, la estimación de este parámetro es un tema bastante complejo pero algunos autores [6] lo resuelven exitosamente suponiendo que la misma es equivalente a  $10^4$  veces la rigidez de los campos (tramos de ejes) adyacentes a la estación. Finalmente considerando todos los campos y estaciones se llega al sistema de ecuaciones que rige el comportamiento del sistema

$$\begin{pmatrix} \delta_{n+1}^r \\ \psi_{n+1}^r \\ M_{n+1}^r \\ Q_{n+1}^r \end{pmatrix} = [T_s]_{n+1} [T_f]_n \cdots [T_f]_2 [T_s]_2 [T_f]_1 [T_s]_1 \begin{pmatrix} \delta_1^l \\ \psi_1^l \\ M_1^l \\ Q_1^l \end{pmatrix} \quad (11)$$

Resolviendo el problema de auto-valores y auto-vectores de este sistema se llega a las frecuencias naturales y formas modales del eje rotor. Una vez obtenidas estas, las matrices de transferencia obtenidas para cada tramo o estación se pueden usar para determinar la respuesta dinámica para una velocidad de giro preestablecida y un grado de desequilibrio. Para ello se asume un valor de velocidad de rotación y las condiciones de contorno y se calculan usando las matrices los parámetros como desplazamiento, giro, esfuerzo de corte y momento flector en cada estación [6]

### 3. IMPLEMENTACIÓN

La implementación del programa de cálculo basado en las ecuaciones del apartado anterior se desarrolló en Scilab con una interfaz diseñada específicamente para estos tipos de problemas. Esto permite obtener un entorno amigable con botones y pantallas de fácil manejo similares a todos los programas de uso comercial. En la Figura 1 se presenta la pantalla principal del programa usada para carga de datos y elegir operación a realizar.

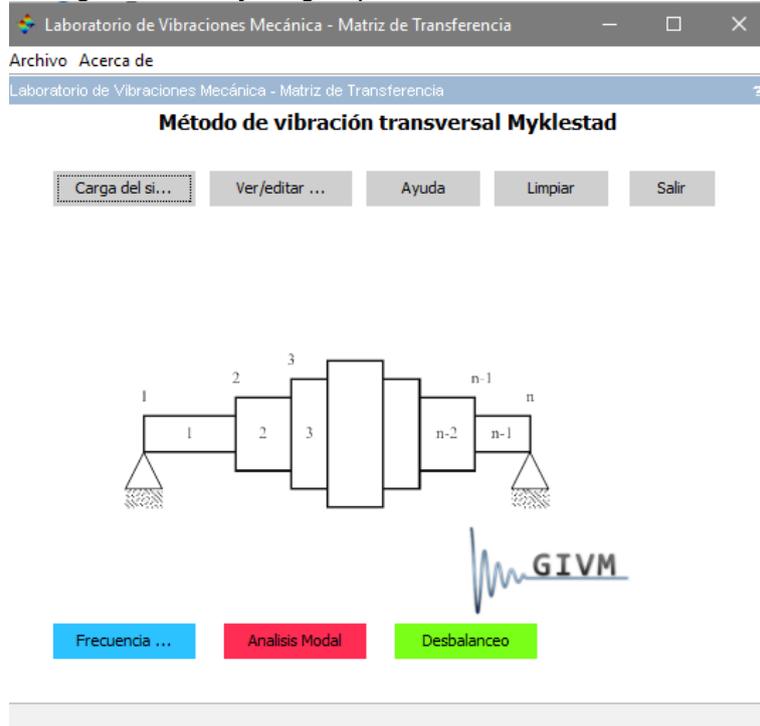


Fig. 1 - Pantalla Principal del software

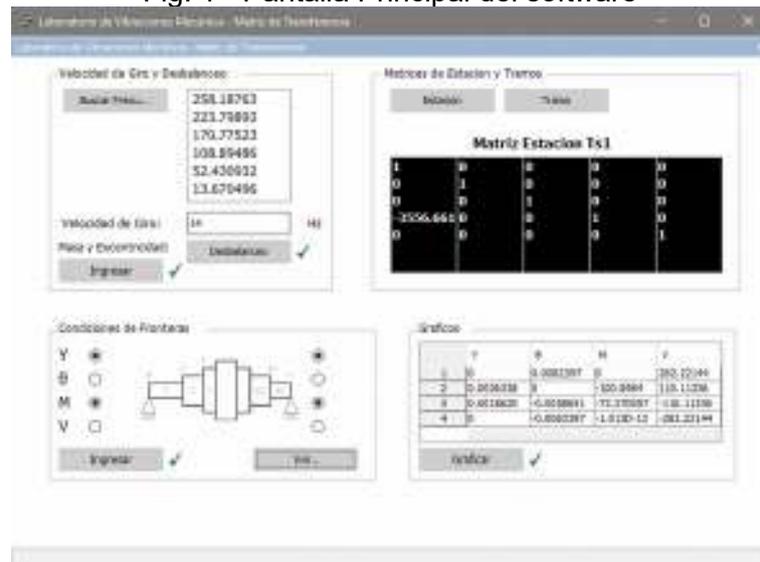


Fig. 2 - Pantalla Módulo Desbalanceo

En la pantalla principal se puede apreciar diferentes zonas:

- La zona 1 donde se encuentra los botones de cargar, editar y limpiar los datos del sistema.
- La zona 2 donde tenemos 3 módulos los donde nos permite realizar Búsqueda de Frecuencia Naturales, Análisis Modal y Análisis con Desbalanceo.

En la pantalla del módulo de desbalanceo se puede apreciar diferentes zonas:

- La zona 1 donde se encuentra los botones de búsqueda de velocidades críticas de carga de masa de desbalanceo y de ingreso de datos al sistema.
- La zona 2 nos permite visualizar las matrices de estación y tramos formuladas para el desarrollo del sistema

- La zona 3 ingresamos las condiciones de fronteras que nos permiten realizar un análisis modal  
 - La zona 4 tenemos los resultados de las estaciones y nos lanza el gráfico de las mismas, los resultados son el desplazamiento, ángulo de giro, momento y esfuerzo de corte  
 El algoritmo implementado es una variante del algoritmo de Myklestad que puede incluir o no los efectos giroscópicos dependiendo de los datos disponibles del rotor. Además, se puede considerar la masa del eje para mejorar la aproximación. Para ello se realiza un cálculo interno en base a los diámetros de cada tramo de eje determinando la masa del campo que luego se añade en forma repartida a los discos adyacentes (estaciones adyacentes).

#### 4. RESULTADOS

Para la validación del programa se usaron dos vías, la primera fue comparar los resultados que arroja el programa TMM para distintas configuraciones de rotores, con los obtenidos mediante un programa de cálculos por elementos finitos. Para eso se empleó el software I-deas 10.

El segundo camino, fue confrontar los resultados obtenidos por el programa de matriz de transferencia versus mediciones experimentales realizadas en un banco de pruebas. Dicho banco está dotado de discos y apoyos móviles de forma tal de poder probar diferentes configuraciones de rotores. Las velocidades críticas fueron medidas mediante pruebas de arranque del banco y las frecuencias naturales por test de impacto, midiendo simultáneamente con un analizador de vibraciones comercial marca I-dear® modelo Vibrachek y un analizador de laboratorio instrumentado mediante una placa de adquisición de datos National Instruments® de 16bit montada sobre una PC con un sistema de filtros adosado con conectores para emplear acelerómetros o sensores de proximidad.

Como se analizó en un trabajo previo [7] el programa permite obtener en forma rápida y empleando una capacidad de cálculo reducida las velocidades críticas de rotores simples y complejos. La aproximación de la primera velocidad crítica es muy buena salvo en aquellos casos donde los rotores presentan discos de alabes o masas muy importantes en voladizo. En los restantes casos el error se mantiene debajo del 7%.

La aproximación de la segunda velocidad crítica por este método es menos exacta que la primera.

Configuración de rotor	Software de Matriz de Transferencia		Programa de Elementos Finitos		Diferencia porcentual	
	1ºcrit	2ºcrit	1ºcrit	2ºcrit	1ºcrit	2ºcrit
1	13,67Hz	52,43Hz	14,10Hz	53,90Hz	3,05%	2,73%
2	15,45Hz	57,42Hz	16,10Hz	60,50Hz	4,04%	5,09%
3	12,82Hz	53,76Hz	13,50Hz	54,50Hz	5,04%	1,36%
4	54,06Hz	184,59Hz	53,00Hz	179,00Hz	2,00%	3,12%
5	18,15Hz	103,76Hz	18,40Hz	113,30Hz	1,36%	8,42%
6	6,00Hz	37,34Hz	6,10Hz	44,60Hz	1,68%	16,28%
7	1,21Hz	6,00Hz	1,30Hz	7,80Hz	6,92%	23,08%
Diferencia Promedio					3,44%	8,58%

Tabla 1 - Comparación Software de Matriz de Transferencia Y Programa de Elementos Finitos.

Configuración de rotor	Software de Matriz de Transferencia		Medición experimental		Diferencia porcentual	
	1ºcrit	2ºcrit	1ºcrit	2ºcrit	1ºcrit	2ºcrit
1	36,9Hz	130,5Hz	36,2Hz	128,3Hz	1,9%	1,7%
2	33,6Hz	144,3Hz	33,3Hz	142,5Hz	0,9%	1,3%
3	31,6Hz	173,3Hz	32,2Hz	168,3Hz	1,8%	2,9%
4	23,5Hz	98,7Hz	24,9Hz	89,8Hz	5,6%	9,9%
5	22,2Hz	102,5Hz	23,5Hz	90,5Hz	5,5%	13,3%
6	22,6Hz	107,8Hz	22,5Hz	95,8Hz	0,4%	12,5%
7	19,9Hz	152,4Hz	22Hz	ND	9,5%	ND
8	37,2Hz	148,2Hz	32,5Hz	138,5Hz	14,4%	7%
9	26,5Hz	90,6Hz	26,5Hz	87,8Hz	0,1%	3,2%
10	29,4Hz	80,5Hz	29,3Hz	78,5Hz	0,3%	2,5%
Diferencia Promedio					4,04%	6,03%

Tabla 2 Comparación Software de Matriz de Transferencia & Mediciones.

Y en el apartado de respuesta dinámica en frecuencia se puede apreciar la figura 4 las pantallas del programa, en la cual, a la izquierda muestra la tabla de los datos de desplazamiento, distorsión angular, momento de flexión y esfuerzo de corte obtenido para cada estación y a la derecha de la figura una gráfica de distorsión-longitud según las formas modales obtenidas y evaluado en la frecuencia antes seleccionada.

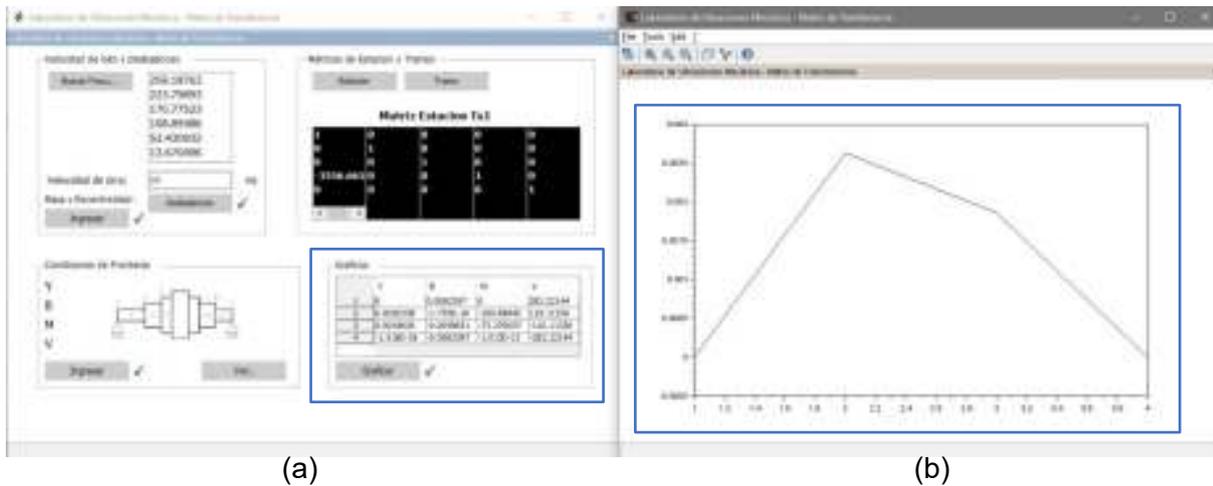


Fig. 3 – (a) Pantalla Módulo Desbalanceo (b) Grafica de respuesta de Desplazamiento

## 5. CONCLUSIONES

El programa desarrollado permite obtener en forma rápida y empleando una capacidad de cálculo reducida las velocidades críticas y las respuesta dinámica de rotores simples y complejos.

La aproximación de la primera velocidad crítica es muy buena salvo en aquellos casos donde los rotores presentan discos de alabes o masas muy importantes en voladizo. En los restantes casos el error se mantiene debajo del 7%.

La aproximación de la segunda velocidad crítica por este método es menos exacta que la primera.

## 6. REFERENCIAS

- [1]Sheng-Chung Hsieh, Juhn-Horng Chen, An-Chen Lee. (2006). "A modified transfer matrix method for the coupling lateral and torsional vibrations of symmetric rotor-bearing systems". *Journal of Sound and Vibration*. 289, pp294-333.
- [2]Meirovitch, Leonard. (1967). *Analytical Methods in Vibrations*. Londres. 1ª edición. The Macmillan Company. E.E.U.U.
- [3]Murphy, B.T.; Vance, J. M. (1983). "An improved method for calculating critical speeds and rotordynamic stability of turbomachinery". *Transactions of the ASME- Journal of Engineering for Power*. 105 pp 591-595
- [4]Murphy, B.T.; Vance, J. M.; Tripp H. A. (1983). "Critical Speeds of turbomachinery: computer predictions & experimental Measurements". *Proceedings of the thirteenth turbomachinery symposium* pp 105-130
- [5]Huang, Y.M.; Horng, C. D. (1999). "Analysis of Torsional Vibration Systems by the Extended Transfer Matrix Method". *Transactions of the ASME. Journal of Vibration and Acoustics* 121 pp 250-255
- [6]Al-Bahkali, E.; ElMandany M. (2009). "Dynamic Analysis of Rotating Machinery Using Computer Aided design Approach". *ResearchCenter, KingSaudUniversity*. pp 1-10. Disponible en: <http://faculty.ksu.edu.sa>
- [7]Fabbi Nicolás Emanuel (2016). "aplicación en scilab para la determinación de las formas modales y velocidades críticas en rotores flexibles". *CONEM 2016 –UTN FRC*

# COMPARACIÓN DE LAS CURVAS DE REVENIDO EN ACEROS SAE 1070 Y SAE 4140 CON LAS CURVAS DE LAS NORMAS IRAM

Alan Calvo, Rodrigo Conci, Mercedes Lozano  
Tutor: Ing. Eduardo Cerutti

Departamento de Ingeniería Mecánica – Laboratorio de Metalurgia y Materiales  
Facultad Regional Villa María – Universidad Tecnológica Nacional  
Avda. Universidad 450 – (5900) Villa María (Córdoba)

## Resumen

En este trabajo, el objetivo es realizar distintos tratamientos térmicos a dos aceros, uno, al carbono SAE 1070 y el otro un acero aleado SAE 4140 y posteriormente se compararan los resultado.

El primer paso es realizar un recocido en ambos aceros, luego de pulir y atacar la superficie con el reactivo correspondiente se observará y fotografiará la estructura conseguida.

El segundo paso será llevar las muestras a la temperatura de austenización correspondiente, y enfriarlas bruscamente para templar las muestras y lograr una estructura martensítica, se tomará dureza rockwell C, luego se hará el revenido a distinta temperaturas para comprobar, mediante un estudio metalográfico, como se transformó la martensita en otras estructuras como perlita, sorbita y trostita, etc.

Una vez que se efectuó el revenido, en un rango de temperatura de entre 200 y 700°C se les tomará dureza a cada una de las muestras y se comparará con la curva de revenido de la NORMA IRAM IAS 500-600

**Palabras clave:** Tratamientos térmicos. Dureza. Transformación.

## 1. INTRODUCCIÓN

El término acero es una mezcla de hierro con una cantidad de carbono variable entre el 0,03 % y el 2,14 % en masa de su composición, dependiendo del grado. Los aceros aleados son aquellos que además del carbono, contienen otros elementos en cantidades suficientes como para alterar sus propiedades como el Cr, Mo, V, Mn, Ni, etc.

Con el tratamiento térmico adecuado en los aceros se pueden reducir los esfuerzos internos, el tamaño del grano, incrementar la tenacidad o producir una superficie dura con un interior dúctil. La clave de los tratamientos térmicos consiste en las reacciones que se producen en el material, ocurren durante el proceso de calentamiento y enfriamiento de las piezas, con unas pautas o tiempos establecidos.

La variación en la composición química del acero dentro de un grado específico hará que varíe la rapidez crítica de enfriamiento y, a su vez, que varíe la respuesta del acero al tratamiento térmico. Se utilizaron dos aceros el SAE 1070, es un acero al carbono con un porcentaje promedio de 0.70% de C, y el otro acero SAE 4140, que tiene un porcentaje de carbono de 0,42% C, aleado con Mn al 0,81%, Cr al 0,96% y Mo al 0,23%.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Tratamientos térmicos

El tratamiento término se define como una combinación de operaciones de calentamiento y enfriamiento, de tiempos determinados y aplicados a un metal o aleación en el estado sólido en una forma tal que producirá propiedades deseadas [2].

Todos los procesos básicos de tratamientos térmicos para aceros incluyen la transformación de la austenita. La naturaleza y la apariencia de estos productos de transformación determinan las propiedades físicas y mecánicas de cualquier acero.

El primer paso en el tratamiento térmico del acero es calentar el material a una temperatura, en o por encima del intervalo crítico para formar austenita.

El recocido total es un proceso que consiste en calentar el acero a la temperatura de austenización y luego enfriar lentamente a lo largo del intervalo de transformación, preferentemente en el horno o en cualquier material que sea buen aislante al calor. Dicho tratamiento tiene diversas propiedades, como, refinar el grano, proporcionar suavidad, mejorar las propiedades eléctricas y magnéticas, y, en algunos casos, mejorar el maquinado.

Con el aumento adicional de la rapidez de enfriamiento, la estructura resultante se conoce como martensita, y es una solución sólida sobresaturada de carbono, atrapado en una estructura tetragonal centrada en el cuerpo. Esta estructura reticular altamente distorsionada es la principal razón para la alta dureza de la martensita. A este tratamiento térmico se lo conoce como temple y se logra calentando el acero a la temperatura de austenización, y produciendo un enfriamiento brusco, en agua o en aceite de acuerdo al acero a temprar.

Generalmente los aceros después del temple suelen quedar demasiado duros y frágiles para los usos a que van a ser destinados. Estos inconvenientes se corrigen, por medio del revenido, que es un tratamiento que consiste en calentar el acero a una temperatura más baja que su temperatura crítica inferior  $A_{c1}$ , enfriándolo luego generalmente al aire. El objeto del revenido no es eliminar los efectos del temple, es modificarlos, disminuyendo la dureza y resistencia mecánica eliminando también las tensiones internas que tienen siempre los aceros templados.

Los tratamientos térmicos sin aporte de material constan de tres etapas:

1. Calentamiento: se calienta lentamente la pieza para evitar la dilatación y que no genere tensiones de tracción.
2. Homogeneización: el tiempo de esta etapa depende del espesor de la pieza. Una regla dice 1 hora por base + 1 hora por pulgada de espesor.
3. Enfriamiento: definido para cada tratamiento específico.

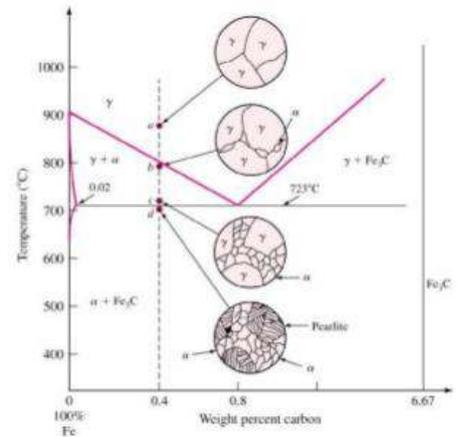


Fig. 1.  
Diagrama Hierro-Carbono

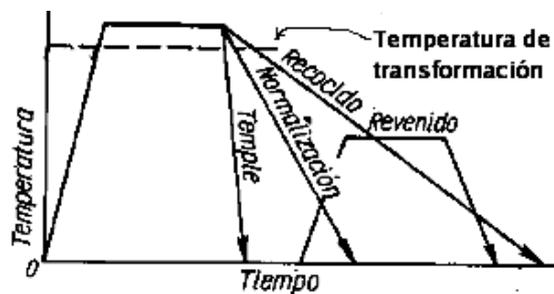


Fig. 2. Esquema de tratamientos térmicos sin aporte químico de los aceros.

## 2.2 Metalografía

Se define como el estudio de las características estructurales o de constitución de un metal o una aleación para relacionar ésta con las propiedades físicas y mecánicas [2].

Los cuatro pasos básicos que se requieren para preparar la superficie para su observación son:

- 1) Corte transversal.
- 2) Montaje.
- 3) Desbaste y pulido.
- 4) Ataque.

La parte más importante, sin duda, es el examen microscópico de una probeta adecuadamente preparada. Tales estudios microscópicos, proporcionan una abundante información sobre la constitución del metal o aleación investigados.

Mediante estos estudios se puede definir características estructurales, como el tamaño de grano, con total claridad; se puede conocer el tamaño, forma y distribución de las fases que comprenden la aleación que tan profundamente pueden modificar las propiedades mecánicas y el comportamiento general de un metal.

La preparación de la probeta consiste, en general, en obtener una superficie plana y semipulida, mediante el empleo de papeles de esmeril de granulometría decreciente o realizando este desbaste con discos adecuados sobre los que se deposita un abrasivo, terminando con un pulido fino y finalmente sobre un disco provisto de paño, con una suspensión de alúmina en agua.

El final de esta operación se obtiene de una superficie especular que es la requerida para, efectuar el ataque que se realiza con distintos reactivos para cada tipo de aceros. Luego se procede a la observación e identificación de las estructuras en cuestión, en el microscopio metalográfico.

### 3. DESARROLLO

La metodología de trabajo se implementó en tres partes: Revisión bibliográfica, Ejecución de los tratamientos y Visualización metalográfica.

#### 3.1 Revisión bibliográfica

Los datos extraídos de la bibliografía disponible se contrastaron con lo que determina el ASM Handbook vol.4 para realizar los tratamientos térmicos y la Norma ASTM E-3 para el examen microscópico.

Adquirió importancia la información existente en la web ya que los tratamientos térmicos son un campo difundido en el país.

Adicionalmente, en relación a la normativa específica, se implementó apoyo bibliográfico en los apuntes de cátedra de Materiales Metálicos.

#### 3.2 Ejecución de los tratamientos

Se utilizaron, en el caso del acero SAE 1070, planchuelas con dimensiones de 50 mm de largo, 20 mm de ancho y 2 mm de espesor; para el acero 4140, se emplearon barras de 31mm por un largo de 5 mm.

##### 3.2.1 Recocido

Se colocaron las probetas de ambos aceros, en intervalos diferentes de tiempos, dentro del horno para realizar el recocido de austenización completo. Para el acero 1070 (Fig.5), se calentó la mufla a 840°C manteniendo 60 minutos a esa temperatura y luego se apagó la mufla, dejando las probetas dentro del horno por 19 horas para lograr el recocido de austenización completo. Para el acero 4140 (Fig.6), se elevó la temperatura de la mufla hasta unos 860°C con las probetas dentro de éste, dejándolas 60 minutos a dicha temperatura y luego se apagó la mufla, dejando dichas probetas dentro del horno por 19 horas.

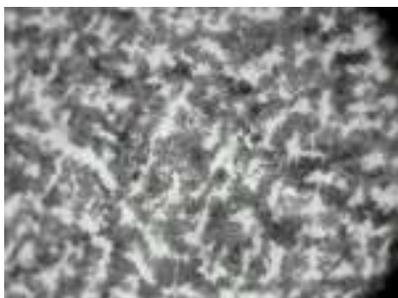


Fig.3  
Estructura del acero SAE 1070  
recocido.



Fig.4  
Estructura acero SAE 4140  
recocido.

En las figuras 3 se observa una estructura de ferrita (blanca) y perlita (oscura) típica de este acero, en la Fig.4 se muestra una micrografía del acero SAE4140 y se puede ver áreas blancas (ferrita) y áreas oscuras (perlita).

### Templado y revenido

Dicho tratamiento se realizó, en caso del acero SAE 1070, introduciendo las probetas dentro de la mufla y elevando la temperatura a 840°C durante 20 minutos, tiempo necesario para lograr la completa austenización las muestras, inmediatamente se sacaron y se enfriaron bruscamente en agua. Para el acero SAE 4140, se elevó la temperatura de las muestras hasta los 860°C usando para este fin, una mufla, se dejaron dentro a dicha temperatura por un intervalo de 30 minutos y se enfriaron en aceite.

El revenido en ambos casos se hizo a distintas temperaturas en cada probeta, siguiendo los gráficos de revenido de la NORMA IRAM IAS 500-600 y comprobando la dureza en la escala Rockwell C para cada temperatura de revenido, para el acero al carbono se puede visualizar en la Fig.5 y para el acero aleado se visualiza en la Fig.6 El enfriamiento, se realizó a temperatura ambiente, colocando las probetas fuera de la mufla.

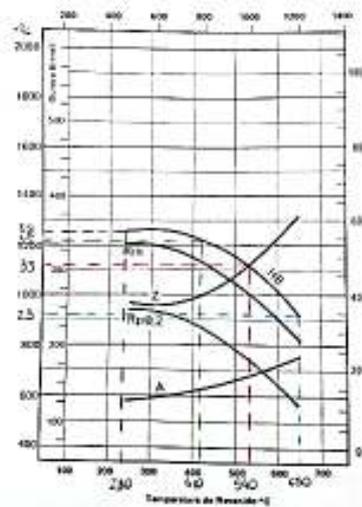


Fig.5. Revenido de acero al carbono

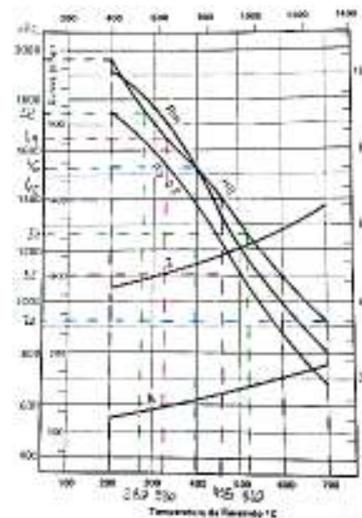
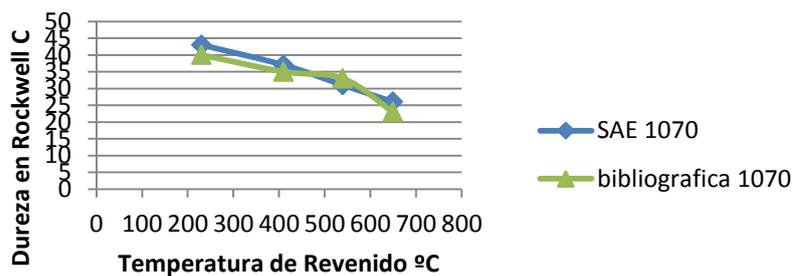


Fig.6 Revenido de acero aleado

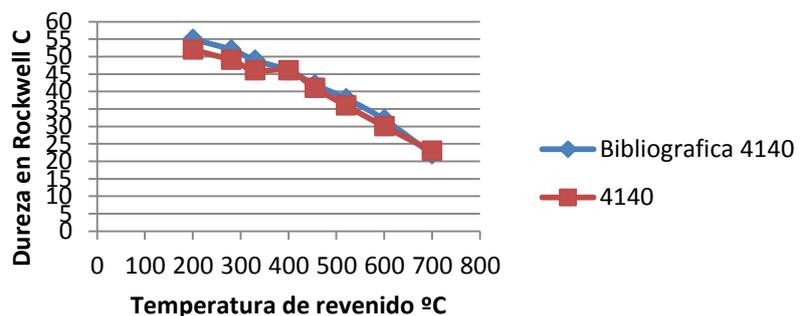
### Acero SAE 1070

Acero SAE 1070	
Temperatura	HRC
230	43
410	37
540	31
650	26



Acero SAE 4140	
Temperatura	HRC
200	52
280	49
330	46
400	46
455	41
520	36
600	30
700	23

### Acero SAE 4140



Si se compara la curva obtenidas en el laboratorio, con las curvas de la NORMA se observa una gran similitud.

### 3.3 Visualización metalográfica

Procedimiento de preparación de las muestra

Obtención de las muestras: se procedió al corte de las muestras con una sierra a mano en algunos casos y en otros, discos abrasivos muy bien refrigerado para no alterar la estructura.

Montaje: Las muestras que se examinaron eran demasiado pequeñas, por lo cual se montaron en un soporte de baquelita, que por medio de una incluidora, luego de aplicar presión y calor, se formaron pastillas.

Desbaste: Este proceso se efectuó utilizando granos cada vez más finos de lija, partiendo del grano 400, 600 y por último 800. La muestra se desplazó en forma tal que las rayas hechas por las distintas lijas formen ángulos rectos con las del inmediatamente anterior.

Pulido: Este procedimiento se basa en el uso de un plato cubierto con una tela (o paño), cargada con una suspensión de alúmina ( $Al_2O_3$ ). hasta obtener una superficie pulida a espejo.

Ataque: El ataque químico se realizó sumergiendo la muestra en un reactivo denominado Nital 3, ya que, oscurece la perlita y pone de manifiesto los bordes de la ferrita, luego se lavó la probeta con agua, se enjuagó con alcohol y se secó en corriente de aire caliente.

Observación: se llevaron las muestras al microscopio, se identificaron las distintas estructuras y se tomaron las fotos correspondientes

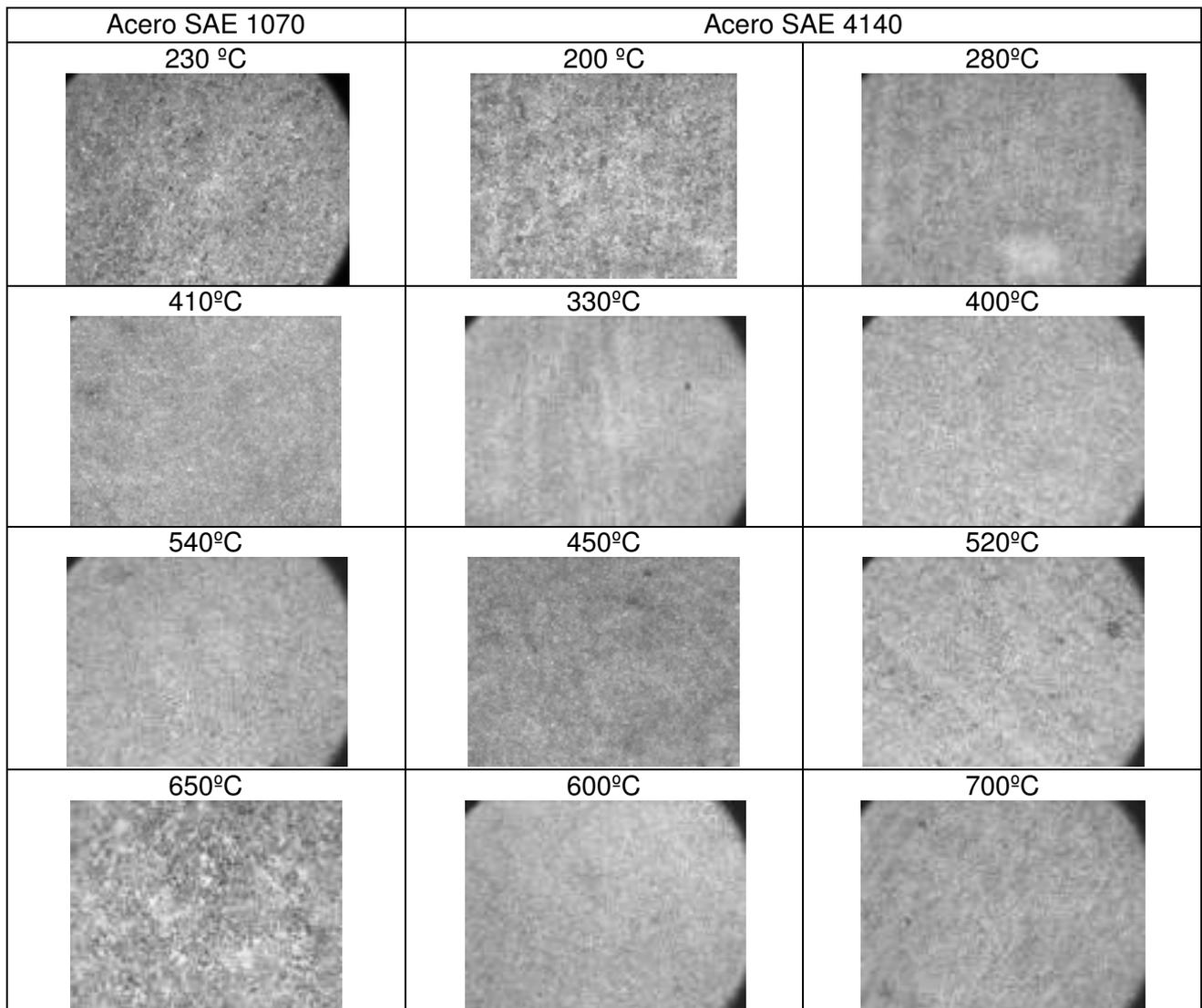


Fig. 7. Revenido de Acero SAE 1070

A través del microscopio se pudo observar las siguientes imágenes plasmadas en la Fig. 7 obtenidas en el revenido, para el acero SAE 1070 se muestran en orden ascendente de temperatura (230, 410, 540 y 650 °C), y para el caso del acero SAE 4140 se visualizan también en orden ascendente de temperatura (200, 280, 330, 400, 450, 520, 600 y 700 °C).

En las micrografías se puede observar la transformación que sufrió la martensita con los revenidos a distintas temperaturas. A cada una de las muestras se tomó dureza Rockwell C obteniendo los siguientes resultados

#### **4. CONCLUSIONES**

Al finalizar esta investigación podemos concluir que el tratamiento térmico que se realizó, al igual que el intervalo de temperatura a la que se ejecutó, influye sobre las propiedades del acero. Esto se pone de manifiesto observando en las micrografías, el cambio producido en la estructura por las distintas temperaturas a las que fueron sometidas.

En las micrografías se puede ver que la estructura martensítica, no sufrió cambios con un revenido a bajas temperaturas, pero a medida que la temperatura de revenido aumenta vamos obteniendo transformaciones estructurales, debido a la relajación de tensiones producidas por el temple.

Otro cambio importante se ve en la variación de dureza, que a medida que aumenta la temperatura de revenido disminuye la misma, éste es un parámetro muy importante porque la dureza está directamente relacionada con la resistencia mecánica.

Por ende dependiendo de las propiedades que se desean obtener, es el tratamiento térmico que se debe efectuar.

Por otra parte, tanto el porcentaje de carbono como los elementos aleantes que tenga el acero se deberán tener en cuenta.

#### **AGRADECIMIENTO**

Al Ing. Eduardo Cerutti (UTN-FRVM) por el apoyo prestado para la elaboración del trabajo.

#### **REFERENCIAS**

- [1] Apuntes de cátedra de Materiales Metálicos.
- [2] *ASM Handbook* Vol.4, Heat Treating, ASM International, USA, 1992.
- [3] Tratamientos térmicos de los aceros, José Apraiz - 4ta Edición, Madrid, 1961.
- [4] Vandervoort, G., *Metalografía: Principios y Práctica*, McGraw Hill, Nueva York, 2<sup>a</sup> Ed., 1999.

# ANÁLISIS DE FALLAS EN SISTEMA DE MEZCLADO DE GERMINADOR DE CEBADA

Palmieri, Marcos<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Estudio de Vibraciones Mecánicas, U.T.N. Facultad Regional San Nicolás,  
Colón 332, (CP2900) San Nicolás, Buenos Aires, Argentina.

*mpalmieri@frsn.utn.edu.ar*

## Resumen.

Este trabajo se realizó como parte de la práctica profesional que se llevó a cabo en el área de Mantenimiento basado en la confiabilidad en la planta de Cargill Alvear. En dicha planta existen numerosos equipos para el procesamiento de cereales. Entre ellos, 10 germinadores de Cebada. Cada uno de estos equipos realiza un proceso de aproximadamente 5 a 6 días donde se somete a la semilla a una humificación controlada, que consiste en hacer pasar el aire húmedo por la parte inferior del producto hacia la parte superior, de manera de cambiar el aire dentro del germinador, reducir el CO<sub>2</sub> y aumentar la humedad del recinto donde están las semillas.

El germinador es un reactor donde se deposita el cereal en un piso perforado por donde se insufla aire y dicho piso se hace girar por medio de 6 motorreductores. Al mismo tiempo existe un sistema para revolver el cereal que consta de una estructura con 25 espiras o hélices que giran por medio de 5 motorreductores, para poder remover el cereal apelmazado y mejorar el proceso.

Este estudio se realizó porque las espiras experimentaban habitualmente vibraciones excesivas y reiteradas fallas en los ejes de transmisión de movimiento. Dichos ejes habían sido reemplazados en numerosas ocasiones por repuestos originales o en otros casos por repuestos confeccionados en talleres de la zona. El objetivo del trabajo es determinar las causas de la vibración y de las fallas para intentar determinar alguna alternativa de solución. El estudio realizado comprende el análisis de las vibraciones, el relevamiento de la situación actual, el análisis de las piezas reemplazadas (ejes rotos) y la propuesta de mejora.

Para el desarrollo del trabajo se realizaron mediciones de vibraciones periódicas utilizando un analizador comercial Vibrachek de la firma Idear; se hizo un relevamiento dimensional y de materiales usados en los ejes con defectos, se analizó la morfología de la falla y finalmente las causas posibles utilizando técnicas convencionales.

Como conclusión se determinó que las fallas se producían posiblemente por un incorrecto ajuste de los ejes con las coronas de mando y un incorrecto tratamiento térmico de los repuestos.

**Palabras Claves:** Análisis de falla, Vibraciones, Germinador

## Descripción del problema.

El germinador es un reactor que, como se ha dicho tiene un piso perforado por donde se insufla aire, tiene forma de anillo con un diámetro externo de 29880mm y uno interno de 5820mm; el diámetro interno se debe que hay un ducto por donde se produce la carga y descarga del germinador mediante canales de chapa. El piso del germinador se mueve por 6 motorreductores de marca SEW modelo K167 DV112M4-TH, con una potencia de 4KW y una velocidad de salida de 0,97rpm, que accionan una corona metálica de 15 dientes que hermana con una cremallera circular solidaria al piso para hacer rotar el piso como se ve en la figura 1

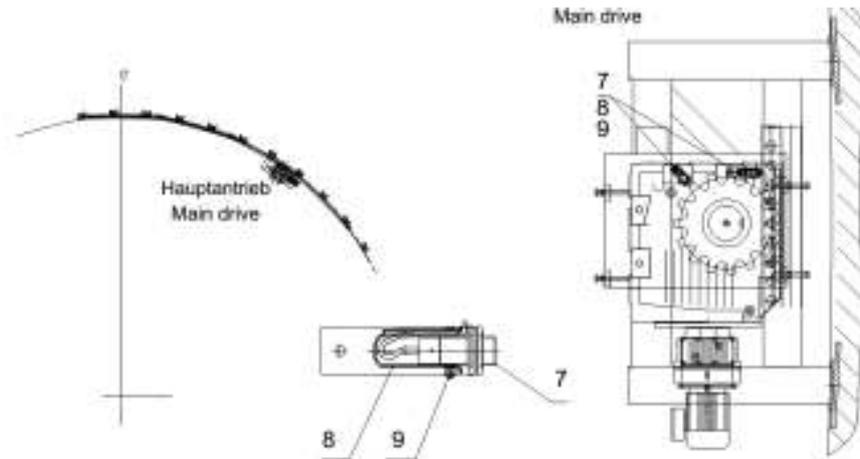


Figura 1. Motorreductor de piso; en la figura se ve el hermanado y la ubicación del mismo

Además este equipo posee un bastidor fijo en el cual se montan 25 espiras revolventoras con su mecanismo de accionamiento y el sistema de descarga y carga del mismo por medio de un sinfín el cual sólo se rota el sentido de giro sea para car o descarga y a la vez en el proceso va subiendo por medio de un malacate en la carga y a la inversa en la descarga (Figura 2)

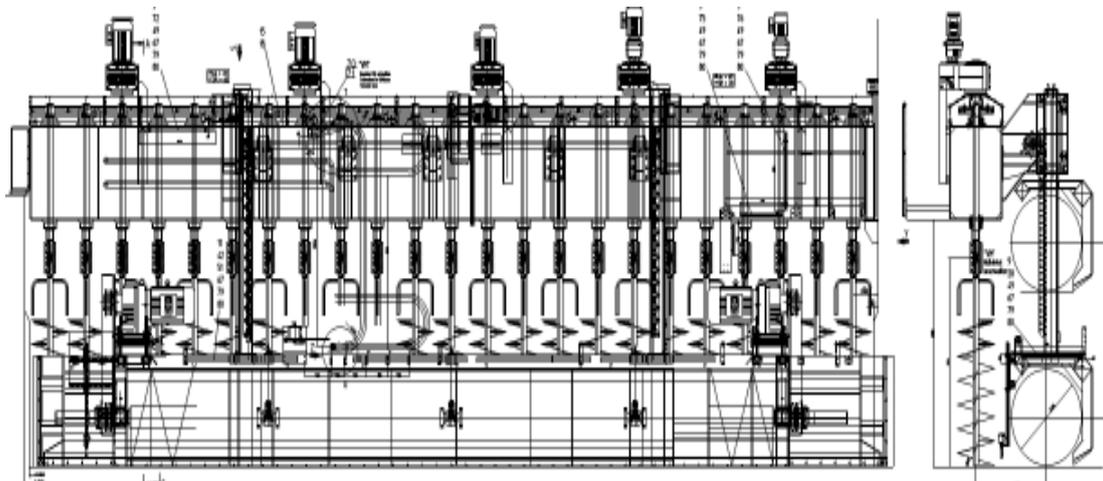


Figura 2. Sistema de rotación y de carga y descarga del germinador

En la Figura 3 se muestra como están montado la los motorreductores hasta la espira

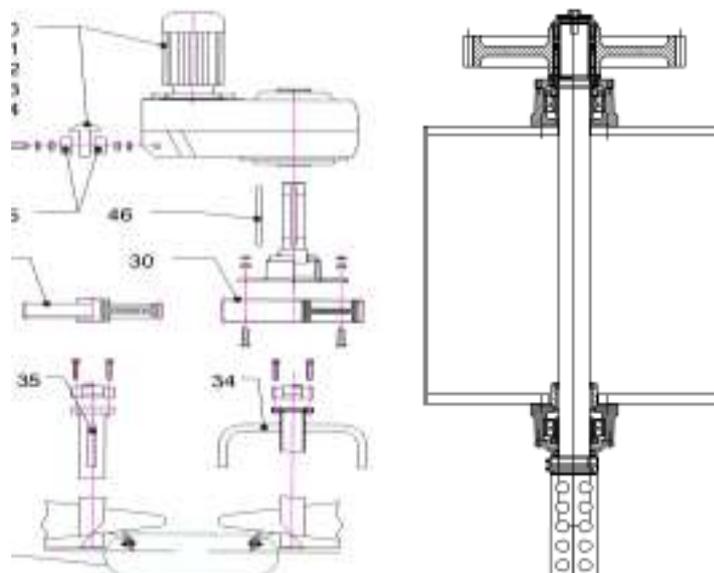


Figura 3. Conjunto de espira revolventoras

Los motorreductores de accionamiento de las espiras, son 5, de distinta potencia y velocidad de salida comenzando de 3kW y 4,8rpm, hasta 11kW y 14rpm, dependiendo de la distancia al centro del germinador, cada uno de ellos produce el giro de 5 espiras.

Las fallas se presentan en todos los germinadores y con mayor frecuencia en las espiras, de la 3 a la 5. En los ejes rotos se observaron las características de falla por fatiga en el alojamiento de la corona. En algunos casos la fisura se produce en el chavetero. En la Figura 4 debajo se muestra un eje que ha fallado



Figura 4. Eje de espira 3 germinador 9

Los ejes no eran todos del mismo material, los originales provistos por el fabricante de la planta estaban confeccionados en Acero alemán Stand 1.5714 (16NiCr4 DIN 17200 o F1581 UNE 36011-12) que si bien no tiene equivalencia directa nacional es similar a un acero IRAM 4320, también existían repuestos montados y disponibles en el pañol confeccionados en talleres locales de aceros SAE 4140 [4] y SAE 8620 [3] con tratamiento térmico. Finalmente se encontraron ejes de recambio que estaban montados y se rompían, de los que se desconocía su especificación. Para analizar estos últimos se realizaron ensayos de dureza y metalografía y se determinó que eran de acero SAE 1045 [5].

Los acoples entre eje y corona se realizan por manguitos cónicos, originalmente las espiras tenían manguitos KTR 206 65/95[2], pero algunas de ellas habían sido reparadas y estos elementos de vinculación fueron reemplazados por alternativas nacionales.

Se controlaron dimensionalmente alrededor de 15 ejes nuevos con micrómetro y se encontraron medidas entre 64,96mm y 64,55mm, estos diámetros en su mayoría no cumplen con la tolerancia que exige el manguito cónico auto-centrante que se les coloca para vincularlo a la corona, dicha tolerancia según el catálogo [2] es h8 (la medida nominal debe tener una discrepancia de entre +0 $\mu$ m y -46 $\mu$ m respecto de la nominal) para el diámetro del eje (70mm) sobre el que se fija el manguito que se vincula a la corona de como muestra la Figura 5. Esto indica que el diámetro del eje debe hallarse entre 70mm y 64,954mm.

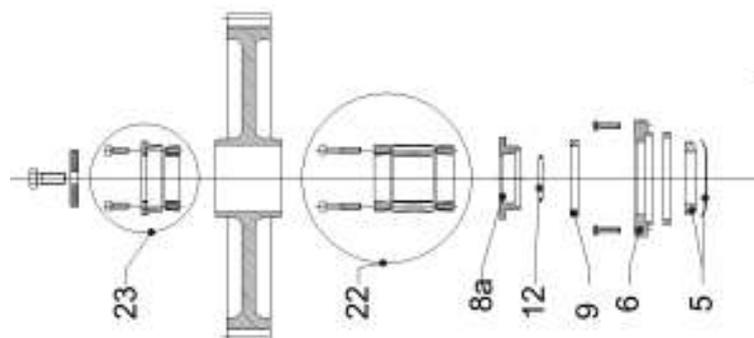


Figura 5. Vinculación con manguito de la corona al eje

Desde el punto de vista de vibraciones se puede decir que las vibraciones máximas ocurren en el sentido o dirección que se mueve la carga (cebada) hacia la espira, lo que daría indicio de que este movimiento podría estar produciendo cargas excesivas de flexión.

### Análisis de vibraciones

Para la medición de vibraciones se empleó un analizador comercial Vibracheck desarrollado por la firma IDEAR y el software que lo acompaña. Para el estudio se disponía de casi 5 años de mediciones periódicas. En general, las espiras de los germinadores experimentan valores de vibraciones de hasta 36mm/s RMS con una componente dominante en la frecuencia de la corona de transmisión de las espiras de 51dientes.

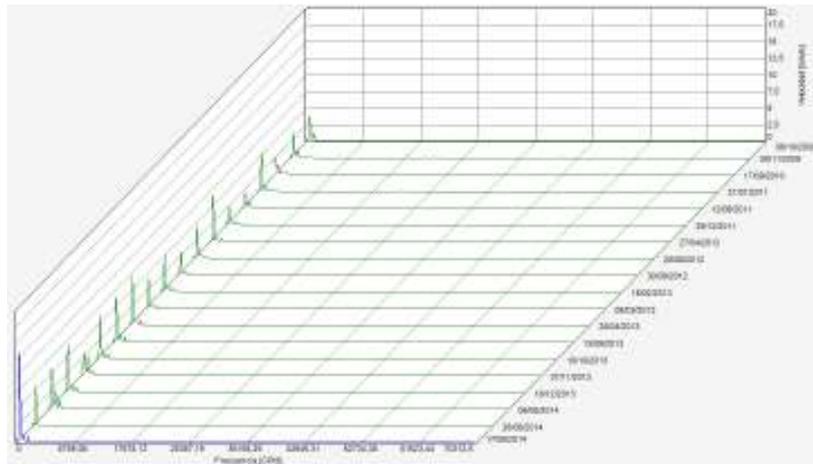


Figura 6. Cascada de espira 4 germinador 2; en el Motor

En la imagen superior (Figura 6), se observan los espectros en cascada de las últimas mediciones del espira 4 del Germinador 2; donde se observa un pico de 616rpm que condice con la frecuencia de engrane de la corona, (velocidad de giro: 12rpm x 51 dientes) siendo esta frecuencia muy superior a la de giro del motor

Para poder llegar a un diagnóstico más preciso sin tener datos de los rodamientos del eje; se procede a realizar mediciones a baja frecuencia en los puntos 4, 5 y 6 de los reductores de ambas torres de germinación.

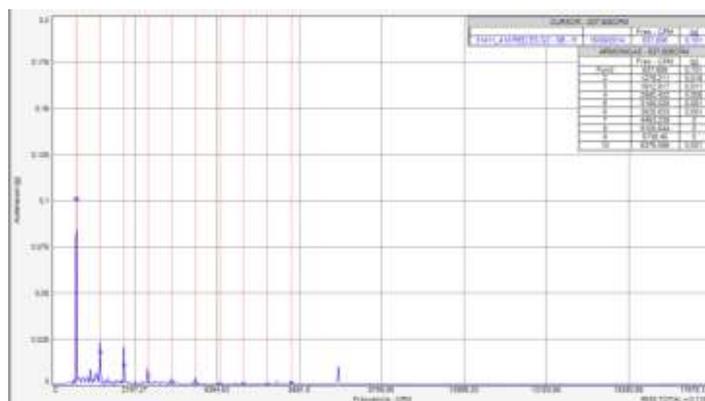


Figura 7. Espectro de velocidad con nueva configuración

En el espectro (Figura 7) de velocidad a baja frecuencia se puede observar múltiplos de la frecuencia de la corona, posiblemente debido a juego con el eje, y por otro lado, en la señal temporal (Figura 8), se observa modulación de la corona de mando con la frecuencia de giro. Esto último indica un engrane irregular producto posiblemente del juego del conjunto.

En vista de poder verificar la causa del problema, se procede a inspeccionar los ejes que se iban a remplazar a partir del plan previsto por mantenimiento.

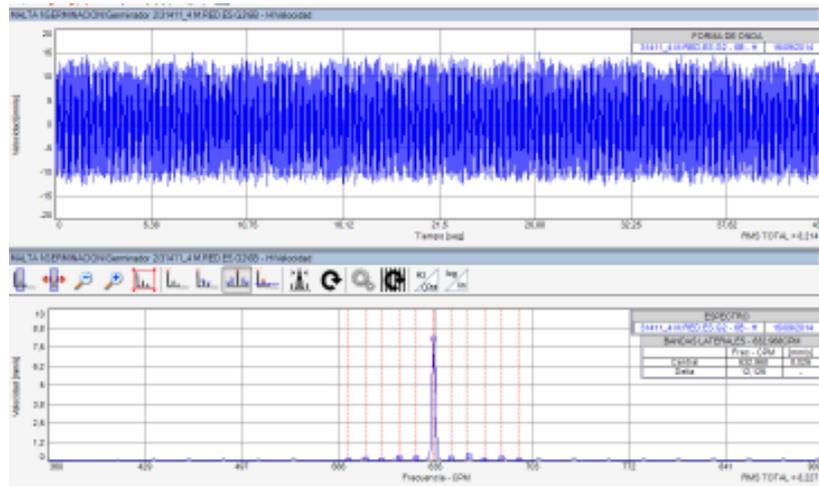


Figura 8. Señal temporal

### Inspecciones de campo

Par confirmar la posibilidad de existencia de juego excesivo entre corona y eje, se procedió al desarme de varios conjuntos, se midieron las piezas y documentó fotográficamente las fallas. En la foto de la figura 9 se puede apreciar el estado de corrosión del eje y la deformación del mismo producida en la zona donde aprieta el manguito cónico que sujeta la corona. En la mayoría de los ejes inspeccionados se observaron los mismos defectos superficiales en la zona de trabajo del manguito (oxidación, deformación superficial y signos de producirse el giro del manguito sobre el eje).



Figura 9. Fotos de los asientos de los manguitos desgastados

En algunos casos se observó una corrosión severa y también marcas del posible el giro de la superficie externa del manguito en la corona también



Figura 10: Fotos el eje con corrosión y el manguito con signos de giro en la superficie

También se controlaron los diámetros de los ejes con micrómetro, para poder conocer si existe una relación entre la deformación y las vibraciones excesivas, Se determinó que los diámetros de se hallaban entre 64,96mm hasta diámetros de 64,55mm, (la medida nominal es 65h8) y como era de esperarse, los de valores mas lejos de tolerancia coincidían con las coronas que mas vibraciones presentaban y la que presentan mayores signos de oxidación.

Finalmente se determino mediante dureza que los ejes más deteriorados eran los confeccionados en material calidad SAE 1045[5] y donde el manguito original KTR 206 65/95[2] había sido reemplazado por un acople nacional equivalente.

## **Conclusiones.**

La falla se presenta en las señales de vibración como una modulación de la frecuencia de engrane de la corona con la de giro producida por juego excesivo. No obstante no existe una correlación directa con el nivel de vibraciones y la proximidad de la falla.

A partir de las inspecciones realizadas se puede concluir que los ejes llegaron a rotura por fatiga siempre presentaban un desgaste superficial excesivo.

Además se observó que los sistemas de ajuste con manguito seleccionados como reemplazo no están acorde a la aplicación, dado que los manguitos nacionales, usados como repuesto no son inoxidable y el KTR 206 65/95 original si, además el manguito nacional no soporta esfuerzos de flexión y torsión combinados según datos del fabricante; esto contribuyen a la falla del equipo porque se aflojan y adquieren un juego excesivo, que repercute en las vibraciones y permite la oxidación de la superficie de contacto.

Finalmente los ejes de material SAE 1045 [5] son los que mayor número de fallas presentan probablemente por un deficiente tratamiento térmico.

## **Bibliografía**

[1]<http://www.blokearacoples.com.ar/catalogo.pdf>

[2]<https://www.ktr.com/es/productos/tecnologia-de-transmision-de-potencia/sistemas-de-fijacion-y-juntas-de-precision/sistemas-de-fijacion-internos/clampex-self-centering//>

[3]<http://matensayos.webcindario.com/acerosiram/8620.pdf>-Ficha técnica IAS-Acero para construcciones Mecánicas-IRAM 8620

[4]<http://matensayos.webcindario.com/acerosiram/4140.pdf>-Ficha técnica IAS-Acero para construcciones Mecánicas-IRAM 4140

[5]<http://www.deinoxidable.mx/AISI%201045.pdf>

[6]<http://www.acerosgrinon.com/productos/utilidades/TABLAS-EQUIVALENCIAS-INTERNACIONALES>

# REINGENIERÍA DEL DISPOSITIVO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA AL DESGASTE EN SECO DE MATERIALES POR EROSIÓN

Nores Morello, Rodrigo Alejandro; Victorio Vallaro, Juan Manuel  
Correo electrónico: rodrigo\_nores@hotmail.com  
Tutor: Dr. Ing. Lucioni, Eldo José

Departamento de Ingeniería Mecánica – Laboratorio de Metalurgia y Materiales  
Facultad Regional Villa María – Universidad Tecnológica Nacional  
Avda. Universidad 450 – (5900) Villa María (Córdoba)

## Resumen

El fenómeno de erosión está dado por la pérdida progresiva del material en una superficie sólida debido a la interacción mecánica con un fluido de componentes múltiples, un líquido o partículas sólidas. En estos ensayos, se somete a una probeta a la acción de partículas con distintos tamaños, velocidades, ángulos de ataque, etc., con el fin de obtener resultados que den la noción del desgaste. Este proceso se encuentra estandarizado bajo la norma ASTM G 76-95.

El trabajo realizado consistió en rediseñar y modificar el equipo para la realización del ensayo a fin de mejorar la performance y ajuste a la norma. La metodología empleada consistió en la investigación y diseño, basado en un estudio preliminar del desgaste por erosión, utilizando recursos informáticos pertinentes. La obtención de la información se realizó a partir de la lectura de bibliografía especializada, normas y consultas a especialistas. Los resultados obtenidos son; la puesta en marcha de una máquina de desgaste bajo norma; y la elaboración de un protocolo de ensayo con un 95% de confianza en los resultados, recomendados por la norma.

Por otro lado, las tasas de erosión observadas en componentes de acero SAE 1010 tienen valores similares a los verificados durante los ensayos de probetas de material factory; todo ello indica que el protocolo de ensayo y la máquina rediseñada son útiles.

**Palabras claves:** Erosión. Desgaste. Tribología. ASTM G 76-95.

## 1. Introducción

La erosión es un tipo de desgaste que genera grandes pérdidas económicas y reduce las prestaciones en los diferentes tipos de materiales; dicho mecanismo se encuentra presente en casi todas las ramas de la ingeniería (minería, hidráulica, agrícola, alimenticia, etc.).

El dispositivo para evaluar la erosión en seco de materiales, intenta simular de manera controlada y acelerada las condiciones de erosión a las cuales pueden llegar a estar sometidos los materiales. La norma ASTM G76-95 (Standard Test Method for Conducting Erosion Test by Solid Particle Impingement Using Gas Jets) [1] establece el modo de realización del ensayo y los parámetros a medir. Anteriormente, se había diseñado un tribómetro en base a una arenadora comercial como componente principal [2], pero con el inconveniente de presentar una dispersión de resultados elevada. Por lo tanto, en este trabajo se realizaron modificaciones a la máquina, con el propósito de obtener una mejora en la repetitividad de resultados.

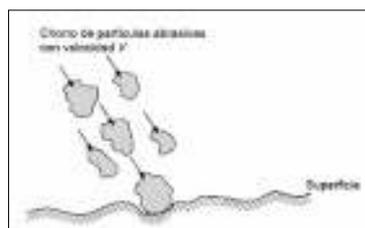


Fig. 1. Fenómeno de erosión.

## 2. Marco teórico

### 2.1 Erosión

El desgaste erosivo es la pérdida de material provocado por impactos repetitivos de partículas que pueden ser de diferente naturaleza tamaño y forma (Fig. 1).

Como el desgaste en general es un fenómeno que depende considerablemente de factores propios del ambiente en donde se presente, es posible evaluarlo a través de parámetros diferentes a los estandarizados y los resultados continúan siendo válidos en aquellas situaciones reales similares a las del ensayo en laboratorio. [1]

El mecanismo básico para producir el desgaste es el que se muestra en la Fig. 2.

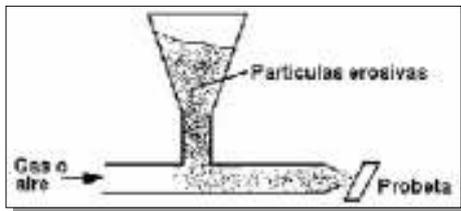


Fig. 2. Esquema de un ensayo.

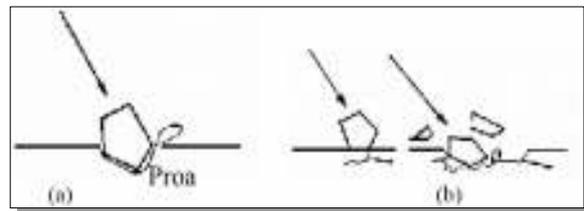


Fig. 3. Modos de erosión  
a) Metales dúctiles. b) Metales frágiles.

### 2.2 Factores característicos que intervienen

Los mecanismos de remoción que actúan durante desgaste erosivo cuando una partícula sólida colisiona sobre una superficie, difieren según el material sea dúctil o frágil (Fig. 3). Partículas con una dureza superior que la de la superficie a impactar causarán un mayor desgaste que aquellas partículas con menor característica sobre la misma. [3,4]. Los rangos de desgaste dependen de la forma de la partícula; donde las angulares son más nocivas que las redondas. [5]

Finnie [6] demostró que el desgaste es inferior cuando el tamaño de las partículas es menor a 100  $\mu\text{m}$ . En la erosión de los materiales dúctiles el ángulo de impacto es un factor que influye fuertemente en los resultados obtenidos. En la Fig. 4 se muestra como el desgaste para materiales dúctiles presenta un máximo cuando los ángulos de impacto se encuentran entre 20 y 30°, y posteriormente para ángulos de impacto de 90° el desgaste se encuentra en mayor medida para los materiales frágiles. [3,4,5,7]

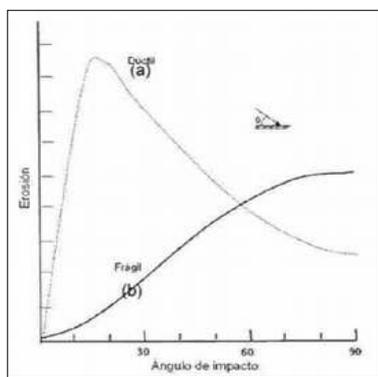


Fig. 4. a) Dúctiles. b) Frágiles. [1]

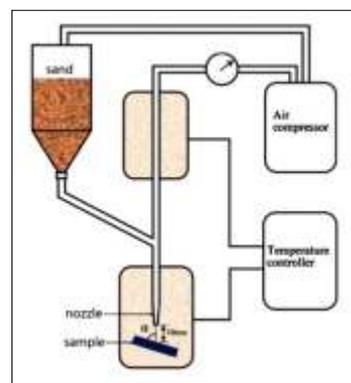


Fig. 5. Esquema tribómetro.

## 3. Proyecto

### 3.1. Descripción

Un tribómetro funciona controlando la dirección del flujo erosivo, empleando una boquilla pequeña que entrega una corriente de aire que contiene partículas erosivas que impactan la superficie del material, en diferentes ángulos de incidencia, y así determinar la tasa de erosión o de desgaste de materiales, recubrimientos, placas, epoxis, soldaduras, sprays, pinturas y productos similares bajo condiciones controladas. En la Fig. 5 se muestra un esquema de una máquina.

### 3.2. Tribómetro modificado

El dispositivo posee tres movimientos, dos en el pico inyector y uno en el porta probeta. El pico tiene un movimiento ascendente y descendente para variar la distancia de impacto, a su vez tiene un movimiento de traslación. El porta probeta dispone de un eje de giro que permite variar el ángulo de impacto desde los 0° a 90°. Utiliza aire seco con una presión de 20 psi (100 psi máximo) y un tubo con una boquilla de alimentación de medios ajustable que controla la velocidad de alimentación de partículas. El mecanismo incluye un controlador de tiempo de arranque / parada y un obturador de flujo mecánico, y una salida de escape. Se emplean partículas de  $SiO_2$  de 50  $\mu m$ .

Se incorporaron dos componentes fundamentales para cuantificar el caudal de arena. El primero consta de un depósito que permite principalmente regular la presión deseada, además de presurizar dicho sistema, la misma se denomina “cámara de presurización” (Fig. 6). El segundo, fue la incorporación de una cámara adicional que permita depositar la cantidad de arena necesaria (Fig. 7); la misma cuenta de dos colimadores encargados de dosificar dicho material en el ensayo (Fig. 8).



Fig. 6. Cámara de presurización



Fig. 7. Cámara depósito de arena.



Fig. 8. Colimadores

El equipo se alimenta con aire comprimido mediante un compresor a pistón, pasando a una cámara de presurización (Fig. 6) que se utiliza para regular la presión (20 psi), de allí desembocan dos líneas.

La línea principal transporta el flujo de aire que va directamente hacia la probeta, mientras que la secundaria, de menor diámetro, presuriza la cámara donde se encuentra una cantidad de 10 g de arena. El depósito de arena dispone de un sistema vibrador para tamizar a la misma, evitando así obturaciones. El flujo erosivo se homogeniza utilizando dos colimadores, que después de varias pruebas de diámetros se resolvió disponer de ambos en serie, con un orificio de 1,75 mm, evitando obturaciones y logrando el caudal deseado.

El tiempo total que demanda un ensayo es de 5 minutos aproximadamente.

### 3.3. Flujo erosivo

La velocidad de las partículas y la masa total impactada son las variables importantes del proceso de erosión. El mecanismo de inyección de la arena es el dispositivo que controla a ambas variables. Por ello es necesario conocer la velocidad de la partícula con que se efectuará el ensayo. A continuación se describe el método seleccionado.

#### 3.3.1. Medidor de velocidad partículas de arena

El dispositivo consta de dos discos, que giran de manera solidaria y poseen una separación de 6 mm, el disco superior cuenta con una perforación de 5 mm de diámetro y está ubicado a 40 mm del eje de giro. La velocidad de los discos es de 5400 rpm (628,32 rps).

La partícula de arena atraviesa la ranura superior y demora un tiempo “t” en impactar el disco inferior. Este fenómeno permite detectar un desfase entre el agujero superior y la “impronta” de la partícula en el disco inferior. Midiendo este desfase se puede determinar el tiempo que tardó la partícula en realizar el recorrido y así determinar su velocidad promedio.

Para el cálculo, se emplearon los siguientes valores:  $r = 0,04$  m,  $\omega = 628,32$  rps y  $h = 0,06$  m. Luego, se determinó la velocidad lineal del flujo, obteniéndose  $67,86$  m/s. En la Fig. 9 muestra un esquema del dispositivo utilizado.

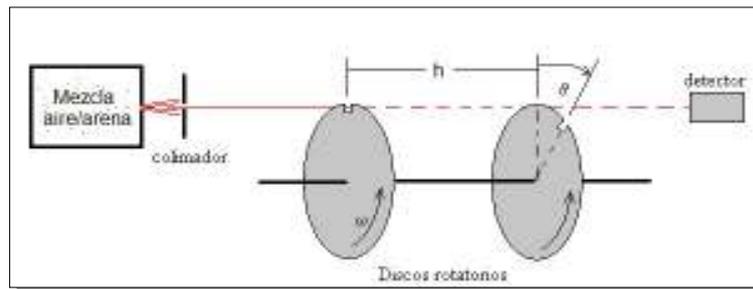


Fig. 9. Esquema medición velocidad de la partícula.

## 4. Construcción

### 4.1. Sistema de inyección

La inyección del material erosivo se realiza mediante la succión de las partículas, producida por el efecto “Venturi” que genera el flujo de aire a presión. El compresor que inyecta el aire a través de la “cámara de presurización”, es mecánico a pistón, de dos cilindros, movido por un motor eléctrico de 5,5 HP y una presión máxima de trabajo de 11 bar – 159 psi.

El pico inyector tiene una boquilla de dispersión característica de 3 mm de diámetro, el cual ingresa la arena por la parte superior del mismo. (Ver Fig. 10).

### 4.2. Caja hermética y porta probetas.

Para la construcción del recinto hermético porta probetas, se partió de una caja metálica utilizada para instalaciones eléctricas.

El sistema de sujeción de la probeta es del tipo “morsa”, quedando la muestra perfectamente apoyada a fin de evitar movimientos. Además posee la particularidad de poder girar sobre su eje según sea la necesidad del ángulo requerido.

Se grabaron las marcas de los ángulos en una placa metálica la cual se acopló en la parte posterior del recinto, y de esta manera poder observar el movimiento del porta probetas y determinar el ángulo. Además, se dispuso de una puerta vidriada que permite observar el ensayo en todo momento. (Fig. 11, 12 y 13).



Fig. 10. Tobera.



Fig. 11. Porta probetas.



Fig. 12. Frente.



Fig. 13. Dorso.

## 5. Resultados

Según la norma [1], los ensayos en este dispositivo deben arrojar resultados de tal forma que el gráfico generado se aproxime a una recta con pendiente positiva. Las variables a tener en cuenta fueron la masa pérdida acumulada por la probeta y el tiempo total empleado.

En la Fig. 14, se muestran los ensayos realizados expresados en un gráfico lineal, tras someter a una probeta de acero SAE 1010 al flujo de  $SiO_2$ , con un ángulo de  $90^\circ$  y aire a 20 psi, cuyos

resultados fueron acordes a lo que la norma establece. Además se muestran los valores obtenidos anteriormente del tribómetro funcionando con la arenadora.

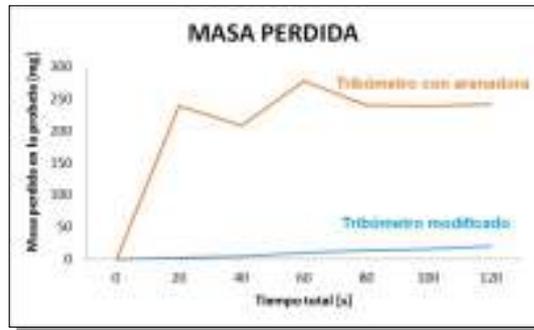


Fig. 14. Ensayos

## 6. Conclusiones

Se procedió al rediseño y modificación del dispositivo (Fig. 15) para determinar la resistencia al desgaste erosivo en seco de materiales de ingeniería, a fin de cumplir con los parámetros generales establecidos en la norma ASTM G76-95. El trabajo se realizó dentro de los plazos estipulados, logrando modificar la máquina en el Laboratorio de Mecánica, con materiales disponibles en el mismo y algunos obtenidos comercialmente.

Para verificar el correcto funcionamiento de los mecanismos se realizaron pruebas que arrojaron resultados satisfactorios (Fig. 14). La calibración del aparato se efectuó en concordancia con las condiciones exigidas por la norma. Los resultados obtenidos se lograron con un 95% de confianza, alcanzando una media y desviación estándar dentro de los valores tabulados en la mencionada.

La construcción de esta máquina contribuirá a la capacitación de alumnos e incrementa la posibilidad de realizar ensayos de desgaste por erosión en el marco de los proyectos de investigación dentro de la UTN FRVM. Además se podrá estudiar a dicho fenómeno, en orden a adquirir herramientas conceptuales para enfrentar situaciones típicas de la industria local y regional.



Fig. 15. Tribómetro.

## 7. Referencias

- [1] Norma ASTM G76-95 - Standard Tests Method for Conducting Erosion Test by Solid Particle Impingement Using Gas Jets.
- [2] Fraire, D.; Gaño, N.; Lerda, E.; Gastaldi, R. Construcción de dispositivo para determinar la resistencia al desgaste erosivo en seco de materiales de ingeniería. Jornadas de Ciencia y Tecnología CyTAL 2016. Edutecne, Buenos Aires, 2016.
- [3] Treviño Acevedo, A.M. Desarrollo de un metodología para pruebas de abrasión. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León. México, 2004.
- [4] Neilson, J.H. and Gilchrist, A. Erosion by a stream of solid particles, 1967.
- [5] Bitter, J. G. A. A study of erosion phenomena: Part I. Wear, 1963.
- [6] Finnie, I. Some Reflections on the Past and Future of Erosion. Wear, 1995.
- [7] A.W. Ruff and S.M. Wiederhorn. Erosion by solid particle impact, 1979.

## APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ARCILLOSOS PARA LA REMOCIÓN DE METALES DIVALENTES EN SOLUCIÓN

Autores: Ana J. Maskavizan, Emiliano Centurión, Nancy. E. Eggs.

Tutores: Valeria Corne y María C. García.

Departamento de Materias Básicas. Facultad Regional Concepción del Uruguay. Universidad Tecnológica Nacional. Concepción del Uruguay, Entre Ríos. cornev@frcu.utn.edu.ar.

### Resumen

La contaminación de los recursos hídricos por metales pesados constituye un problema ambiental grave debido a la naturaleza no biodegradable, persistente y acumulativa de estos tóxicos. Distintas tecnologías destinadas a la remoción de estos contaminantes en aguas han sido desarrolladas, siendo el proceso de adsorción uno de los más empleados. Entre los diversos materiales utilizados como adsorbentes, las arcillas han tenido una vasta aplicación para la remoción de iones metálicos en solución dada su eficacia, disponibilidad y bajo costo.

La provincia de Entre Ríos dispone de grandes volúmenes de minerales arcillosos que permanecen como pasivos ambientales luego de la explotación de las canteras y, una manera de aprovechar estos recursos podría ser mediante su empleo como materiales adsorbentes.

En base a ello, el objetivo de este estudio se enmarcó en investigar la remoción de metales divalentes ( $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  y  $\text{Ni}^{2+}$ ) en solución mediante el uso de arcillas regionales.

El material arcilloso empleado como adsorbente fue extraído de una cantera ubicada en la provincia de Entre Ríos. La caracterización del mineral mediante espectroscopía infrarroja sugirió que el mismo está formado mayoritariamente por caolinita. Por otro lado, los resultados obtenidos en los ensayos de sorción revelaron que la capacidad de remoción varió según el orden  $\text{Pb}^{2+} \gg \text{Cu}^{2+} \approx \text{Zn}^{2+} \approx \text{Ni}^{2+}$ . En todos los casos el equilibrio de sorción entre la arcilla y el metal se alcanzó rápidamente. En cuanto al pH del medio, este resultó ser un factor determinante en la eficiencia del proceso de sorción. Asimismo, pudo observarse que el aumento en la masa de arcilla mejoró la remoción de los contaminantes como consecuencia de la mayor disponibilidad de los sitios de unión, mientras que el incremento en la concentración inicial del metal provocó una disminución en los porcentajes de adsorción como resultado de una probable saturación del adsorbente. Finalmente, se encontró que el modelo de Freundlich es el que mejor describe el equilibrio de sorción de los metales divalentes  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  y  $\text{Ni}^{2+}$  sobre estos minerales de arcilla.

Este estudio de optimización de los parámetros involucrados en el proceso de sorción de metales divalentes en arcillas de la región puso de manifiesto la potencial aplicación de estos materiales como adsorbentes de metales contaminantes. De esta manera, los resultados obtenidos en este trabajo podrían contribuir a la búsqueda de soluciones a diferentes problemas como son la remediación de pasivos ambientales y el tratamiento de aguas contaminadas.

### Introducción

La contaminación de los recursos naturales por metales pesados constituye un serio problema ambiental. Entre los elementos metálicos más perjudiciales se encuentran cadmio, cobre, cromo, níquel, cinc, plomo y mercurio.<sup>1</sup> La liberación de estos tóxicos a los ecosistemas se genera a partir de diversas fuentes tales como residuos domésticos, desechos agrícolas o efluentes industriales. La exposición de los sistemas biológicos a concentraciones elevadas de estos contaminantes provoca efectos adversos graves.<sup>2</sup> Por ello, resulta de vital importancia mantener un estricto control de los niveles de estos elementos metálicos en el ambiente, con el fin de preservar la integridad de los ecosistemas.

Los medios acuáticos constituyen los principales sitios afectados por este tipo de contaminación. A raíz de ello, varios métodos destinados a la remoción de estos tóxicos en aguas han sido desarrollados.<sup>1,3</sup> Entre estos, el proceso de adsorción se ha convertido en uno de los

elegidos para la remoción de metales en aguas contaminadas ya que ha demostrado ser muy efectivo, económico, versátil y simple.<sup>4</sup>

Entre los diversos materiales utilizados como adsorbentes, las arcillas han tenido una vasta aplicación en la remoción de distintos contaminantes, en especial de metales pesados, dada su eficacia como adsorbente, gran disponibilidad y bajo costo. Las arcillas se caracterizan por poseer una alta superficie específica y una elevada capacidad de intercambio catiónico. Además, la mayoría de estos minerales presenta una carga negativa neta, por lo cual resultan muy eficaces para remover cationes metálicos en solución.<sup>4,5</sup>

Entre Ríos es una provincia que posee una importante actividad minera, la cual se restringe a la extracción de rocas de aplicación. Como consecuencia de este tipo de actividad, en estas explotaciones permanecen abandonados grandes volúmenes de materiales arcillosos, convirtiendo a estos yacimientos en lo que se conoce como pasivos ambientales mineros.<sup>6</sup> Dentro de este contexto, resulta de vital importancia la búsqueda de soluciones que contribuyan a la remediación y restauración de estos sitios afectados.

En base a lo expuesto en párrafos precedentes, una manera de aprovechar estos residuos arcillosos podría ser mediante su empleo como potenciales adsorbentes de metales contaminantes. Por ello, en este proyecto se propone evaluar la capacidad de remoción de metales divalentes ( $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  y  $\text{Ni}^{2+}$ ) en solución mediante el uso de arcillas regionales, llevando a cabo un análisis de los distintos parámetros que afectan el proceso de sorción así como también la caracterización de los materiales utilizados.

### **Materiales y métodos**

Como material adsorbente se empleó arcilla de una cantera de la provincia de Entre Ríos, la cual fue secada y triturada de manera de obtener un tamaño de partícula inferior a 0,15 nm. La caracterización del mineral fue realizada mediante espectroscopía infrarroja. El material arcilloso fue utilizado para evaluar la capacidad de remoción de cobre, plomo, cinc y níquel en solución.

Los ensayos de sorción fueron realizados en condiciones batch (25 mL) variando el pH (2 a 8), la relación sólido/líquido (1-120 g/L), la concentración inicial del metal (10 a 300 ppm) y el tiempo de contacto (10 a 480 minutos). Las correspondientes soluciones de cobre, plomo, níquel y cinc fueron preparadas a partir de  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  y  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  respectivamente. Para ajustar el pH del medio se utilizó HCl (0,1 o 1,0 M) o NaOH (0,1 o 1,0 M).

Finalizados los ensayos de sorción, las muestras fueron centrifugadas, filtradas y se procedió a la cuantificación de metal residual en la solución recolectada. La determinación se realizó por espectroscopía de absorción atómica utilizando una llama de aire-acetileno a una longitud de onda de 324,7 nm para el cobre, 283,3 nm para el plomo, 213,9 nm para el cinc y 232,0 nm para el níquel. El porcentaje de remoción se calculó según la siguiente ecuación:

$$v = k [M][B]^2 M + 2B \rightarrow B_2M \quad \% \text{ Remoción} = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100 \%$$

donde  $C_i$  es la concentración inicial del metal divalente ( $M^{2+}$ ) y  $C_f$  es la concentración de  $M^{2+}$  luego de los ensayos de sorción.

Todas las experiencias se realizaron como mínimo por triplicado. Los resultados se expresaron como la media  $\pm$  el error estándar de la media.

## Resultados y discusión

### Caracterización del material:

Como parte de las metodologías a emplear para la caracterización del material arcilloso, hasta el presente se han realizado estudios de espectroscopía infrarroja. En la Figura 1 se muestra el espectro FT-IR del mineral utilizado como adsorbente y en la Tabla 1 se resumen las bandas de absorción más significativas del espectro.

En base al patrón de vibraciones de estiramiento de los enlaces O-H ( $3696, 3653, 3622 \text{ cm}^{-1}$ ) se podría sugerir que el material arcilloso está formado mayoritariamente por caolinita.<sup>7,8,9</sup> Esta última es fácilmente diferenciada de otros minerales de arcilla mediante espectroscopía IR debido a su patrón único en la región espectral de los estiramientos O-H.<sup>9</sup>

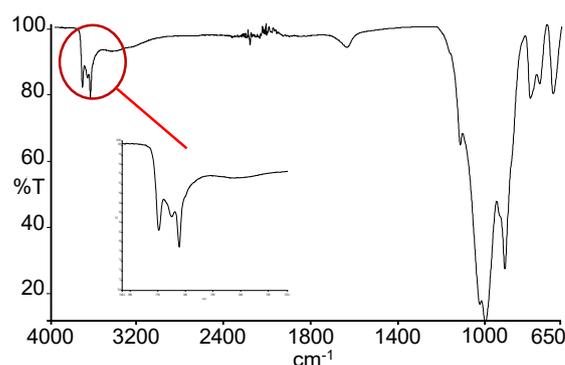


Figura 1. Espectro IR del material arcilloso utilizado como adsorbente

Tabla 1. Bandas de absorción más significativas del espectro IR

$\bar{\nu} \text{ (cm}^{-1}\text{)}$	vibración
3696, 3653, 3622	estiramientos O-H
1115, 1030, 999	estiramientos Si-O
940, 911	flexión O-H

### Ensayos de sorción:

Inicialmente, con el objeto de evaluar el tiempo necesario para alcanzar el equilibrio de sorción entre la arcilla y los distintos metales divalentes, se ensayaron tiempos de contacto comprendidos entre 10 y 480 minutos. Para estas experiencias se trabajó con una concentración inicial del metal de 50 ppm, una relación sólido/líquido de 5 g/L y el pH del medio sin modificar ( $\text{pH} \approx 5$ ).

En la Figura 2 se representan los porcentajes de remoción obtenidos en función del tiempo para  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$  y  $\text{Zn}^{2+}$ . Como puede notarse, para los distintos metales estudiados el equilibrio de sorción se alcanzó rápidamente. En general, no se apreciaron cambios significativos en los niveles de remoción en el rango de tiempo evaluado.

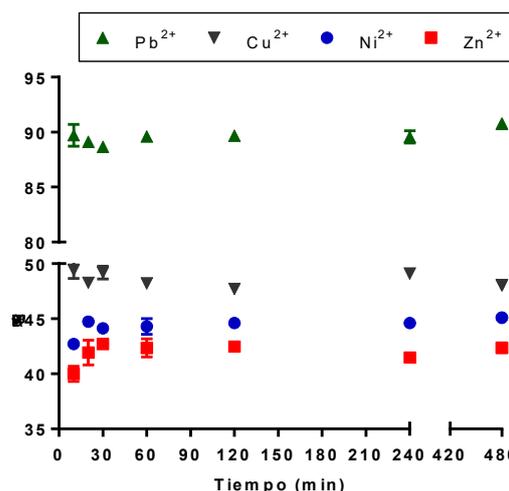


Figura 2. Efecto del tiempo en el porcentaje de remoción de  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$

Posteriormente, se procedió a analizar el efecto del pH del medio en la eficiencia del proceso de sorción, para lo cual se evaluó un rango comprendido entre 1 y 8. Para estos ensayos se trabajó con una relación sólido/líquido de 5 g/L, una concentración inicial del metal de 50 ppm y el tiempo de contacto fue establecido en 2 horas de manera de asegurar el equilibrio.

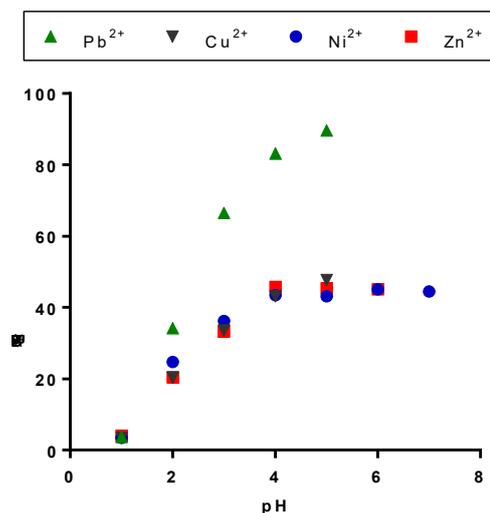
En la Figura 3 se muestran los porcentajes de remoción obtenidos en función del pH del medio para los cuatro metales analizados. Para  $\text{Pb}^{2+}$  y  $\text{Cu}^{2+}$  se representan los niveles de adsorción hasta pH 5 y para  $\text{Zn}^{2+}$  y  $\text{Ni}^{2+}$  hasta pH 6 y 7 respectivamente. En cada caso, a pH superiores a

estos comenzó a observarse la aparición de precipitado en la solución inicial de metal, probablemente debido a la formación del correspondiente hidróxido.<sup>10,11</sup> Este último fenómeno dificulta la evaluación de la eficiencia del proceso de adsorción a estos pH, ya que la disminución de los niveles del metal divalente en solución no podría atribuirse solamente a la interacción del metal con la arcilla, sino también a la formación del precipitado.

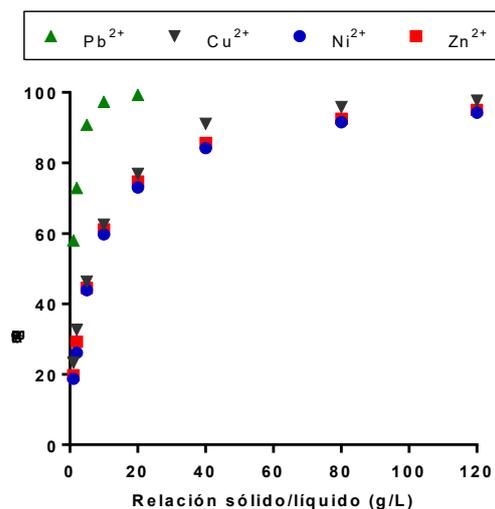
Para los distintos metales se registró un incremento en los porcentajes de remoción en la medida que se aumentó el pH del medio. Esto puede justificarse en base a que a pH ácidos la superficie de la arcilla se encuentra protonada y los iones metálicos deben competir con los protones por los sitios de adsorción de la arcilla. En la medida que el pH del medio aumenta, los sitios activos se desprotonan gradualmente y los cationes divalentes pueden unirse a los sitios de unión libres de la arcilla. Este comportamiento es común para la adsorción de cationes metálicos sobre superficies sólidas en medios con diferente acidez-basicidad.<sup>10</sup>

En general, los mejores porcentajes de remoción se obtuvieron para pH cercanos a 4-5, alcanzándose valores de  $89,6 \pm 0,9$  % para plomo,  $47,7 \pm 0,2$  % para cobre,  $45,7 \pm 0,4$  % para cinc y  $43,5 \pm 0,7$  % para níquel. La mayor capacidad de retención de plomo a estos pH podría deberse, entre otros factores, a que este metal se adsorbería tanto en su forma de  $Pb^{2+}$  como a través de la especie monovalente  $Pb(OH)^+$ , mientras que los metales cobre, cinc y níquel serían adsorbidos solamente en su forma divalente.<sup>12</sup>

Otro de los parámetros analizados en relación al proceso de sorción metal-arcilla fue la relación adsorbente/solución, la cual fue evaluada en un rango entre 1 y 120 g/L. Para estos ensayos se trabajó a pH 5, con concentración inicial del metal igual a 50 ppm y un tiempo de contacto de 2 horas. En la Figura 4 se representan los niveles de remoción obtenidos en función de las distintas relaciones adsorbente/solución. Como puede notarse, en la medida que se incrementó la cantidad de adsorbente se lograron mayores remociones de los contaminantes. Este tipo de comportamiento es frecuente cuando se aumenta el número de sitios de adsorción o el área superficial activa del material.<sup>10</sup> En el caso del plomo, los porcentajes de remoción más altos se alcanzaron al utilizar relaciones sólido/líquido entre 10 y 20 g/L, mientras que para lograr niveles de adsorción similares para los restantes metales fue necesario aumentar la masa de arcilla a proporciones entre 80 y 120 g/L. Estos resultados ponen nuevamente de manifiesto la mayor afinidad de la arcilla por el plomo.

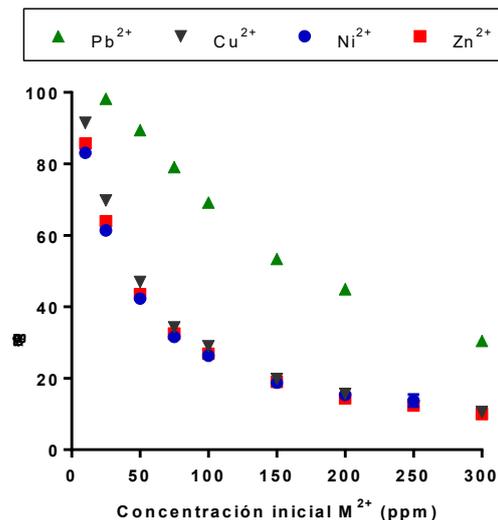


**Figura 3.** Efecto del pH en el porcentaje de remoción de  $Pb^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$



**Figura 4.** Efecto de la cantidad de adsorbente en la remoción de  $Pb^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$

Por otro lado, también se estudió cómo afecta la concentración inicial de los metales en la capacidad de remoción de los mismos. Para ello, se ensayaron valores de concentraciones de  $M^{2+}$  comprendidos entre 10 y 300 ppm. En todas estas experiencias se utilizó una relación sólido/líquido de 5 g/L, el pH del medio próximo a 5 y un tiempo de contacto de 2 horas. En la Figura 5 se presentan los porcentajes de remoción obtenidos para distintas concentraciones iniciales de  $Pb^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$  y  $Ni^{2+}$ . En todos los casos, en la medida que se aumentó la concentración de  $M^{2+}$  se registró una disminución en la capacidad de remoción. Este comportamiento puede ser resultado de una probable saturación del adsorbente.



**Figura 5.** Efecto de la concentración inicial de  $Pb^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$  en el porcentaje de remoción

Finalmente, teniendo en cuenta que los equilibrios de adsorción pueden ser descritos mediante modelos teóricos cuyos parámetros brindan información acerca de las características de la superficie y la afinidad del adsorbente, se procedió a evaluar qué tipo de modelo describe mejor la interacción metal-arcilla. En este contexto, las isotermas de Freundlich y de Langmuir han sido ampliamente utilizadas para racionalizar estos fenómenos.<sup>13</sup> De esta manera, los datos experimentales fueron ajustados con ambos modelos y los resultados obtenidos se resumen en la Tabla 2. En un caso, los parámetros  $K_F$  y  $n$  representan la constante de afinidad de Freundlich y el coeficiente de heterogeneidad respectivamente, mientras que en el otro ajuste,  $q_{max}$  simboliza la capacidad máxima de retención del adsorbente y  $b$  es la contante de Langmuir, la cual refleja la afinidad entre el adsorbato y el adsorbente.

**Tabla 2.** Parámetros correspondientes a los modelos de Freundlich y Langmuir

Metal	Modelo de Freundlich			Modelo de Langmuir		
	$K_F$ (mg/g)	$n$	$R^2$	$q_{max}$ (mg/g)	$b$ (L/mg)	$R^2$
$Pb^{2+}$	6,01	4,39	0,977	14,33	1,02	0,879
$Cu^{2+}$	1,96	4,43	0,949	5,19	0,60	0,946
$Zn^{2+}$	1,69	4,04	0,962	5,12	0,34	0,942
$Ni^{2+}$	1,52	3,69	0,965	4,96	0,29	0,954

Tal como puede observarse, para los distintos casos analizados se encontró que los datos experimentales presentaron una mejor correlación (mayor valor del coeficiente  $R^2$ ) con el modelo de Freundlich. Estos resultados estarían indicando que los sitios de unión de  $Pb^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$  y  $Zn^{2+}$  en la arcilla son heterogéneos y presentan diferentes afinidades hacia los adsorbatos.

### Conclusiones

En este trabajo se ha estudiado la capacidad de remoción de metales divalentes en solución utilizando como adsorbente una arcilla de la provincia de Entre Ríos. La caracterización del material arcilloso por espectroscopía infrarroja sugirió que el mismo está constituido mayoritariamente por caolinita. En base a los resultados obtenidos en los estudios de sorción pudo establecerse que la capacidad de remoción varió según el orden  $Pb^{2+} \gg Cu^{2+} \approx Zn^{2+} \approx Ni^{2+}$ . Asimismo, se encontró que el equilibrio de sorción para los sistemas evaluados se alcanza

rápidamente y que el pH del medio es un factor clave que regula la eficiencia del proceso. Además, pudo observarse que el aumento en la relación adsorbente/solución mejoró la remoción de los contaminantes, mientras que el incremento en la concentración inicial del metal provocó una disminución en los porcentajes de adsorción. Por otra parte, el ajuste de los datos experimentales con distintos modelos teóricos reveló que la isoterma de Freundlich es la que mejor describe el equilibrio de sorción de los metales divalentes  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  y  $\text{Ni}^{2+}$  sobre estos minerales de arcilla.

Finalmente, los promisorios resultados obtenidos en este trabajo han puesto de manifiesto la potencial aplicación de las arcillas de la región como adsorbentes de metales contaminantes y su consecuente contribución a la búsqueda de soluciones a problemas tales como la restauración de pasivos ambientales y el tratamiento de aguas contaminadas.

### Referencias

1. Barakat M.A. New trends in removing heavy metals from industrial wastewater. *Arabian J. Chem.* **2011**, *4*, 361-377.
2. Tchounwou P.B., Yedjou C.G., Patlolla A.K., Sutton, D.J. Heavy metal toxicity and the environment. *EXS.* **2012**, *101*, 133-164.
3. Fu F., Wang Q. Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review. *J. Environ. Manage.* **2011**, *92*, 407-418.
4. Bhattacharyya K.G., Gupta S.S. Adsorption of a few heavy metals on natural and modified kaolinite and montmorillonite: A review. *Adv. Colloid Interface Sci.* **2008**, *140*, 114-131.
5. Udin, M.K. A review on the adsorption of heavy metals by clay minerals, with special focus on the past decade. *Chem. Eng. J.* **2017**, *308*, 438-462.
6. Kirschbaum A., Murray J., Arnosio M., Tonda R., Cacciabue L. Pasivos ambientales mineros en el noroeste de Argentina: aspectos mineralógicos, geoquímicos y consecuencias ambientales. *Rev. Mex. Cienc. Geol.* **2012**, *29*, 248-264.
7. Djomgoue P., Njopwouo, D. FT-IR Spectroscopy applied for surface clays characterization. *J. Surf. Eng. Mater. Adv. Technol.* **2013**, *3*, 275-282.
8. Segura González E.A., Olmos D., González-Gaitano G., Orgaz B., González-Benito J. Effect of kaolin nanofiller and processing conditions on the structure, morphology, and biofilm development of polylactic acid. *J. Appl. Polym. Sci.* **2015**, *132*, 42676.
9. Müller C.M., Pejcic B., Esteban L., Delle Piane C., Raven M., Mizaikoff B. Infrared attenuated total reflectance spectroscopy: an innovative strategy for analyzing mineral components in energy relevant systems. *Sci. Rep.* **2014**, *4*, 6764.
10. Gupta S.S., Bhattacharyya K.G. Adsorption of Ni(II) on clays. *J. Colloid Interface Sci.* **2006**, *295*, 21-32.
11. Adebowale K.O., Unuabonah I.E., Olu-Owolabi B.I. The effect of some operating variables on the adsorption of lead and cadmium ions on kaolinite clay. *J. Hazard. Mater.* **2006**, *134*, 130-139.
12. Ayari F., Srasra E., Trabelsi-Ayadi M. Removal of lead, zinc and nickel using sodium bentonite activated clay. *Asian. J. Chem.* **2007**, *19*, 3325-3339.
13. Jiang M., Jin X., Lu X., Chen Z. Adsorption of Pb(II), Cd(II), Ni(II) and Cu(II) onto natural kaolinite clay. *Desalination.* **2010**, *252*, 33-39.

## **ESTUDIO PRELIMINAR DE DESORCIÓN DE METALES DIVALENTES EN ARCILLAS DE LA PROVINCIA DE ENTRE RÍOS**

Autores: Emiliano Centurión, Ana J. Maskavizan, Melisa S. Romano.

Tutores: Valeria Corne y María C. García.

Departamento de Materias Básicas. Facultad Regional Concepción del Uruguay. Universidad Tecnológica Nacional. Concepción del Uruguay, Entre Ríos. cornev@frcu.utn.edu.ar.

### **Resumen**

Entre las distintas metodologías utilizadas para la remoción de metales pesados en aguas contaminadas, la adsorción mediante el uso de arcillas ha sido una de las más empleadas dada la efectividad del proceso y la disponibilidad y bajo costo de las materias primas. Asimismo, la posibilidad de regeneración de los adsorbentes mediante procesos de desorción constituyen ventajas adicionales de este método. En este contexto, en trabajos previos se ha estudiado el aprovechamiento de materiales arcillosos como adsorbentes de metales divalentes ( $M^{2+}$ ) en solución, lográndose resultados promisorios. Continuando con esta línea de trabajo y, con el fin de evaluar la potencial regeneración de estos materiales, en esta instancia se planificó estudiar el comportamiento de desorción de  $Pb^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$  y  $Cu^{2+}$  retenidos en las arcillas adsorbentes.

El material arcilloso utilizado en los ensayos fue extraído de una cantera ubicada en la provincia de Entre Ríos. Para los distintos sistemas  $M^{2+}$ -arcilla evaluados se encontró que los porcentajes de desorción dependieron del metal analizado y del pH del medio, registrándose los mayores niveles cuando se trabajó a pH próximos a 1. Finalmente, estos resultados constituyen la primera etapa de un estudio orientado a evaluar el comportamiento de desorción de sistemas  $M^{2+}$ -arcilla y la potencial regeneración y reutilización del material utilizado como adsorbente.

### **Introducción**

Entre las diversas causas responsables de la degradación de los recursos hídricos se encuentra la contaminación por metales pesados. La liberación de estos elementos a los medios acuáticos se produce a partir de fuentes tales como residuos provenientes de actividades agrícolas, desagües industriales, entre otros. La mayoría de los metales pesados son agentes cancerígenos y representan una amenaza grave para los seres vivos dada su naturaleza no biodegradable, persistente y acumulativa (Uddin, 2017). Por ello, resulta de vital importancia mantener un estricto control de los niveles de estos elementos metálicos en el ambiente, con el fin de preservar la integridad de los ecosistemas.

La adsorción es actualmente reconocida como un método económico y uno de los más efectivos para el tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados. Este tipo de proceso ofrece además ventajas adicionales como ser versatilidad y simplicidad en cuanto a diseño y operación y la posibilidad de regeneración y reutilización de los adsorbentes mediante adecuados procesos de desorción (Bhattacharyya y Gupta, 2008).

Distintos materiales han sido utilizados como adsorbentes, encontrándose a las arcillas como uno de los más efectivos para la remoción de iones metálicos en solución. La alta superficie específica, la elevada capacidad de intercambio catiónico y la carga negativa neta que presentan estos minerales son algunos de los factores que confieren a las arcillas sus excelentes propiedades como adsorbentes (Bhattacharyya y Gupta, 2008; Uddin, 2017).

La provincia de Entre Ríos dispone de grandes volúmenes de minerales arcillosos que permanecen abandonados como resultado de operaciones mineras inactivas en la región, lo cual ha convertido a estos yacimientos en lo que se conoce como pasivos ambientales mineros (Kirschbaum y col., 2012). Dentro de este contexto, resulta de vital importancia la búsqueda de soluciones orientadas a la restauración de estos sitios afectados. Como consecuencia de ello, en trabajos previos se ha estudiado el aprovechamiento de estos residuos arcillosos como materiales adsorbentes de metales divalentes en solución, lográndose promisorios resultados (Corne y col., 2017).

Continuando con esta línea de investigación, y teniendo en cuenta que una de las características a evaluar en un material adsorbente es su capacidad de reutilización (Akpomie y col., 2015), en este proyecto se propuso estudiar la regeneración de las arcillas como etapa previa a su posterior empleo en nuevos ciclos de adsorción. Para ello, en esta instancia del trabajo se planificó llevar a cabo un análisis de aquellos parámetros que afectan el comportamiento de desorción de los iones metálicos divalentes  $Pb^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$  y  $Cu^{2+}$  retenidos en las arcillas empleadas como adsorbentes.

### Materiales y métodos

La arcilla utilizada en este estudio fue extraída de una cantera ubicada en el noreste de la provincia de Entre Ríos. La caracterización del mineral mediante espectroscopía infrarroja sugirió que el mismo está formado mayoritariamente por caolinita (Corne y col., 2017).

Para las experiencias de sorción una determinada masa de arcilla (0,5 a 3,0 g) fue puesta en contacto con 25 mL de una solución 50 ppm del metal divalente ( $Pb^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ) y la suspensión resultante fue agitada durante 2 horas de manera de garantizar el equilibrio del proceso (Corne y col., 2017). Para cada metal, la masa del adsorbente fue establecida de modo de alcanzar los máximos porcentajes de remoción. Las soluciones de plomo, cobre, níquel y cinc de 50 ppm fueron preparadas a partir  $Pb(NO_3)_2$ ,  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ ,  $NiCl_2 \cdot 6H_2O$  y  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$  respectivamente. En todos los casos se trabajó con un pH del medio próximo a 5, valor de pH para el cual se han registrado los mejores niveles de remoción (Corne y col., 2017).

Luego de las experiencias de sorción, las muestras fueron centrifugadas y filtradas. Por un lado, se procedió a la determinación del metal remanente en la solución recolectada. La cuantificación fue realizada por espectroscopía de absorción atómica utilizando una llama de aire-acetileno a una longitud de onda de 283,3 nm para el plomo, 324,7 nm para el cobre, 213,9 nm para el cinc y 232,0 nm para el níquel. La cantidad de metal adsorbido y el porcentaje de remoción fueron calculados según las ecuaciones 1 y 2 respectivamente:

$$q_e = \frac{(C_i - C_e) \times V}{m} \quad (1)$$

$$\% \text{ Adsorción} = \frac{C_i - C_e}{C_i} \times 100 \% \quad (2)$$

donde  $q_e$  (mg/g) es la cantidad del ion metálico  $M^{2+}$  adsorbido por unidad de masa de arcilla,  $C_i$  y  $C_e$  (mg/L) representan las concentraciones de  $M^{2+}$  inicial y de equilibrio luego de la sorción,  $V$  (L) es el volumen de la solución y  $m$  (g) simboliza la masa del adsorbente.

Por otro lado, el material arcilloso con el metal divalente retenido fue sometido a enjuagues con agua destilada, secado y triturado para luego ser empleado en los estudios de desorción. Para estos ensayos una dada masa del sólido cargado con el metal (0,25 a 0,50 g) se pusieron en contacto con 25 mL de agua a distintos pH (1, 2, 3 y 5), el cual fue ajustado empleando HCl 1 M. Las suspensiones resultantes se dejaron agitando el tiempo correspondiente, luego fueron centrifugadas y filtradas. La determinación del metal desorbido en solución se analizó por espectroscopía de absorción atómica de llama a las longitudes de onda informadas previamente para cada metal.

La capacidad de desorción se calculó según la siguiente expresión:

$$\% \text{ Desorción} = \frac{C_d \times V_d}{q_e \times m} \times 100 \% \quad (3)$$

donde  $C_d$  (mg/L) es la concentración del ion metálico en la solución desorbida,  $V_d$  (L) es el volumen de la solución utilizada en el ensayo de desorción,  $m$  (g) es la masa del adsorbente

empleado y  $q_e$  (mg/g) representa la capacidad de adsorción de la arcilla para el ion metálico considerado.

En todos los casos, los ensayos fueron realizados como mínimo por triplicado. Los resultados se expresaron como la media  $\pm$  el error estándar de la media.

### Resultados y discusión

En estudios previos se determinó que la capacidad de retención de iones divalentes en la arcilla de Entre Ríos varió según el orden  $Pb^{2+} \gg Cu^{2+} \approx Zn^{2+} \approx Ni^{2+}$  (Corne y col., 2017). Teniendo en cuenta la mayor adsorción de plomo en relación a los restantes metales, inicialmente se propuso evaluar el comportamiento de desorción del sistema  $Pb^{2+}$ -arcilla. Asimismo, dado que el pH del medio es considerado un factor clave que determina la eficiencia de este tipo de procesos, se planificó analizar cómo afecta este parámetro en la capacidad de desorción de este ion metálico. Para ello, se evaluó un rango de pH comprendido entre 1 y 5. En la Figura 1 se muestran los niveles de desorción de plomo obtenidos para los distintos pH ensayados. Para todas estas experiencias se empleó arcilla cargada con  $Pb^{2+}$  con  $q_e = 2,44$  mg/g, una relación sólido/líquido de 10 g/L y un tiempo de contacto de 2 horas.

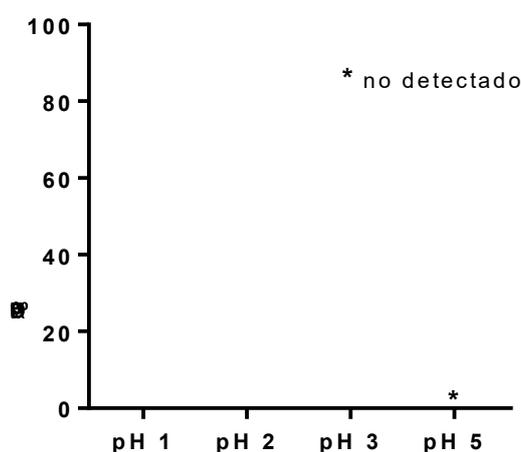


Figura 1. Efecto del pH en la desorción de  $Pb^{2+}$

Como puede notarse, los porcentajes de desorción de  $Pb^{2+}$  evidenciaron una marcada dependencia con el pH del medio. Si bien, cuando se trabajó con valores de pH próximos a 5 (pH del medio sin modificar) la cantidad de metal desorbido se encontró por debajo del límite de detección del método de cuantificación, en la medida que se disminuyó el pH los niveles de desorción aumentaron significativamente, alcanzándose valores hasta  $94,9 \pm 1,0$  % cuando se trabajó a pH 1.

Luego de haber analizado el comportamiento de desorción en el sistema  $Pb^{2+}$ -arcilla, posteriormente se procedió a estudiar este proceso utilizando el adsorbente cargado con los metales divalentes  $Cu^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$  y  $Ni^{2+}$ . Como se ha mencionado previamente, la afinidad del material arcilloso hacia estos tres cationes fue semejante.

Para los distintos metales se analizó el efecto del pH en la capacidad de desorción, para lo cual se evaluó un rango comprendido entre 1 y 5. Para estos ensayos se utilizó la arcilla cargada con el correspondiente metal divalente ( $q_e = 0,39$  mg/g para cinc,  $q_e = 0,38$  mg/g para cobre y  $q_e = 0,37$  mg/g para níquel), se trabajó con una relación sólido/ líquido de 10 g/L y el tiempo de contacto fue establecido en 2 horas. En la Figura 2 se representan los porcentajes de desorción obtenidos en función pH para los distintos cationes estudiados.

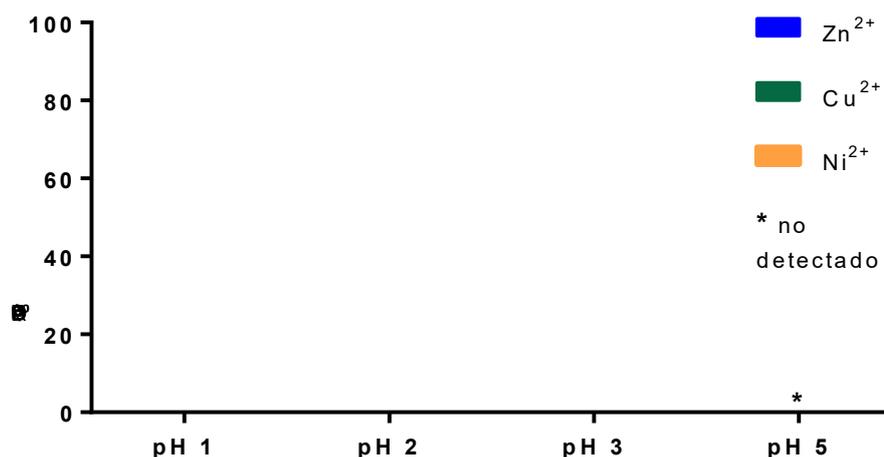


Figura 2. Efecto del pH en la desorción de Zn<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup>

Tal como se había observado previamente para el Pb<sup>2+</sup>, la desorción de los iones divalentes Cu<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup> y Ni<sup>2+</sup> sufrió un significativo aumento en la medida que se disminuyó el pH del medio. En cada caso, los mayores niveles de metal desorbido fueron alcanzados a pH 1, registrándose valores de 99,0 ± 0,3 % para cinc, 78,7 ± 0,3 % para cobre y 71,2 ± 0,1 % para níquel.

Por otra parte, si bien la capacidad de adsorción de estos metales en la arcilla resultó ser semejante (Corne y col., 2017), no se presentó el mismo comportamiento en la desorción de estos iones. De esta manera, pudo observarse que para cada pH evaluado la cantidad de cinc desorbida resultó ser superior a los niveles de cobre y níquel recuperados en solución.

Los estudios de desorción para Cu<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup> y Ni<sup>2+</sup> a diferentes pH también fueron realizados empleando mayores masas de adsorbente cargado (relación sólido/ líquido = 20 g/L). En tal sentido, es de mencionar que los porcentajes de metal desorbido se encontraron dentro del mismo orden que los expuestos precedentemente.

Finalmente, los resultados obtenidos hasta el presente pusieron de manifiesto que la capacidad de desorción de los iones divalentes retenidos en la arcilla varió según el catión metálico considerado y además resultó notoriamente afectada por el pH del medio. Es de mencionar que este comportamiento dependiente del pH también ha sido observado al utilizar otros adsorbentes semejantes al empleado en este estudio (Akpomie y col., 2015; Smicklas, 2006).

## Conclusiones

En este trabajo se ha estudiado el comportamiento de desorción de los iones divalentes Pb<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup> y Ni<sup>2+</sup> retenidos en un material arcilloso considerado un residuo de la explotación de canteras en la provincia de Entre Ríos. En base a las distintas experiencias efectuadas se encontró que la desorción en estos sistemas dependió del tipo de metal analizado y del pH del medio, registrándose en todos los casos los mejores resultados cuando se trabajó a pH próximos a 1.

Estos estudios constituyen la primera etapa en la optimización de los distintos parámetros involucrados en la desorción de iones divalentes en arcillas de la región y han puesto de manifiesto la potencial regeneración del material como instancia previa a su posterior aprovechamiento en nuevos ciclos de adsorción

## Referencias

Akpomie K. G., Dawodu F. A., Adebowale K. O. Mechanism on the sorption of heavy metals from binary-solution by a low cost montmorillonite and its desorption potential. *Alexandria Engineering Journal*. 54 (2015) 757-767.

Bhattacharyya K.G., Gupta S.S. Adsorption of a few heavy metals on natural and modified kaolinite and montmorillonite: A review. *Adv. Colloid Interface Sci.* 140 (2008) 114-131.

Corne V., Centurión E., Romano M. S., Eggs N. E., Azario R. R., García M. C. Adsorción de plomo, cinc y níquel en arcillas de la provincia de Entre Ríos: efecto del pH en la capacidad de remoción. En *Ambiente y desarrollo sostenible desde una perspectiva multidisciplinaria* (2017) 374-379.

Kirschbaum A., Murray J., Arnosio M., Tonda R., Cacciabue L. Pasivos ambientales mineros en el noroeste de Argentina: aspectos mineralógicos, geoquímicos y consecuencias ambientales. *Rev. Mex. Cienc. Geol.* 29 (2012) 248-264.

Smiciklas I., Dimovic S., Plecas I., Mitric M. Removal of  $\text{Co}^{2+}$  from aqueous solutions by hydroxyapatite. *Water Res.* 40 (2006) 2267-2274.

Uddin M.K. A review on the adsorption of heavy metals by clay minerals, with special focus on the past decade. *Chem. Eng. J.* 308 (2017) 438-462.



# ESTUDIO DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN T.E.M. A TRAVÉS DE SIMULADORES DE CIRCUITOS ELECTRÓNICOS

**Autor:** Micael O. Grosso (grossomicael@gmail.com)

**Tutor:** Ing. Esp. Marcelo O. Cejas (mcejas@frvm.utn.edu.ar)

Departamento de Ingeniería Electrónica

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Villa María.

Avda. Universitaria 450, Villa María, Córdoba, Argentina.

**Palabras Claves:** Línea de transmisión, Simulación.

## Resumen

El presente trabajo radica en demostrar fenómenos presentes en las líneas de transmisión transversales electromagnéticas (TEM, por sus siglas en inglés) mediante simuladores de circuitos electrónicos como método didáctico complementario en la cátedra de Medios de Enlaces dictada en la Universidad Tecnología Nacional – Facultad Regional Villa María, UTN-FRVM.

Los fenómenos analizados y corroborados son: coeficiente de reflexión, impedancia de entrada de una línea de transmisión, relación de onda estacionaria (ROE), círculo de ROE constante, visualizar la variación del máximo y mínimo de tensión y de corriente, adaptación de una línea de transmisión con trafo  $\lambda/4$ .

El conjunto de simulaciones permite a los docentes demostrar los fenómenos mencionados sin la necesidad de recurrir al laboratorio. Además, los estudiantes poseen una herramienta informática que les permiten realizar distintos tipos de análisis.

## Introducción

En los últimos tiempos, la sociedad ha experimentado un gran avance en el uso de las comunicaciones. Esto acarrió dos consecuencias directas. La primera, los sistemas de comunicaciones se vuelven cada vez más complejos. La segunda, es la necesidad de capacitar RRHH, técnicos e ingenieros, para cubrir necesidades que surgen (mantenimiento correctivo y preventivo, etc.).

Haciendo necesario que las instituciones educativas lleven indefectiblemente a repensar las enseñanzas de esta rama de las ciencias en los ámbitos académicos. Es inevitable que los establecimientos se avoquen de manera inmediata a la formación de RRHH con capacidades diferentes, idóneas para diseñar, verificar y manipular estos sistemas en constante evolución y complejidad; es decir, resumiendo, se buscan nuevos métodos de enseñanzas que sean más eficiente a los actuales.

Los CADS especiales de simulación permiten diseñar, analizar, corroborar un sistema de comunicación. Por otro lado, éstos pueden ser usados para agilizar el aprendizaje de estos sistemas, al permitir analizar y corroborar distintos conceptos.

## Parámetros de cuadripolo

Los parámetros de cuadripolo que se utilizaran en las simulaciones son el parámetro  $S_{11}$  y el  $Z_{11}$ ; el primero, indica el coeficiente de reflexión, mientras que el segundo, la impedancia de entrada normalizada de la línea de transmisión.

## Modelos de línea de transmisión TEM

Los CADS de simulación constan de dos modelos de línea de transmisión. Ellos son:

- **T/LOSSLESS:** Este modelo de línea carece pérdidas. Este es el modelo que se utilizará en las simulaciones.
- **T/LOSS:** Este modelo tiene en cuenta las pérdidas existentes en una línea de transmisión.
- 

## Condiciones de simulación

El conjunto de simulaciones que se exponen en el presente trabajo tienen las siguientes condiciones (al menos que se indique lo contrario):

- La impedancia del generador de señal es igual a la impedancia característica de la línea de transmisión, 50  $\Omega$ .
- La carga es un resistor de 100  $\Omega$ .
- La frecuencia del generador de señal es de 1 MHz; el barrido de frecuencia inicia en 500 kHz y finaliza en 1,5 MHz. El paso en frecuencia es de 100 kHz.
- La longitud de la línea es de 0,35  $\lambda$ .

## Coefficiente de reflexión

En la Fig. N°1 se ilustra el esquema del circuito en el simulador.

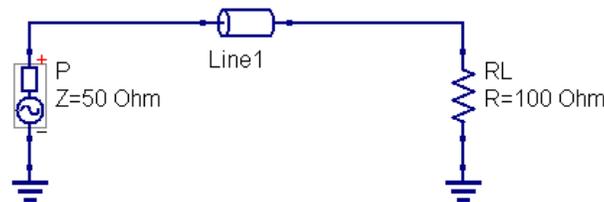


Fig.N°1: Esquema del circuito.

El valor del parámetro  $S_{11}$  que arrojo el simulador es 0,333.

El valor teórico del coeficiente de reflexión es

$$\Gamma = \frac{Z_L - Z_o}{Z_L + Z_o} = \frac{1}{3} \quad (1)$$

La simulación expulsó el valor teórico esperado.

## Impedancia de entrada

La obtención de la impedancia de entrada normalizada en una línea de transmisión se efectúa al medir el parámetro  $Z_{11}$ . El valor del parámetro  $Z_{11}$  obtenido en el simulador es 0,675+j0,481.

Para obtener la impedancia de entrada desnormalizada se realiza una simulación a frecuencia única ubicando la punta de tensión y de corriente en el puerto de entrada de la línea. Por último, el cociente entre ambas mediciones determina el valor de la impedancia de entrada. El valor de la impedancia que se obtuvo a través del simulador es 33,74+j24,06  $\Omega$ .

La impedancia de entrada teórica para este caso es

$$Z_{ent}(-0.35\lambda) = Z_0 \left[ \frac{1 + \Gamma e^{-2j\beta l}}{1 - \Gamma e^{-2j\beta l}} \right] = 50 \Omega \times \left[ \frac{1 + \frac{1}{3} e^{(-2j \times 2\pi \times 0.35)}}{1 - \frac{1}{3} e^{(-2j \times 2\pi \times 0.35)}} \right] = (33.743 + j24.069) \Omega \quad (2)$$

La impedancia de entrada normalizada es

$$\frac{Z'_{ent}}{Z_o} = \frac{(33.743 + j24.069) \Omega}{50 \Omega} = 0.674 + j0.481 \quad (3)$$

Se corrobora que en ambos ensayos constatan con los valores teóricos.

### Círculo de ROE constante

Para obtener el círculo de ROE constante se realiza un barrido de frecuencia y se mide el parámetro  $S_{11}$ . El barrido de frecuencia debe ser equivalente a  $0,5 \lambda$ . Es decir, para este caso, si 1 MHz equivale a  $0,5 \lambda$ , el barrido comienza en 500 kHz y finaliza en 1,5 MHz. En la Fig. N°2 se muestra el círculo de ROE constante obtenido en el simulador.

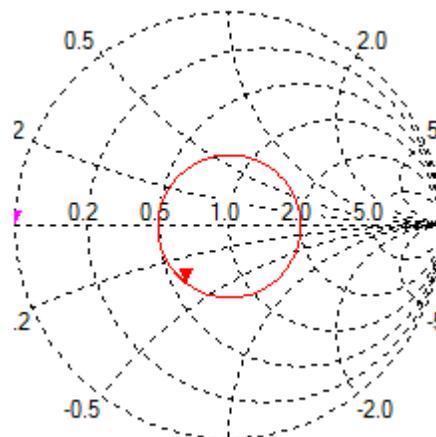


Fig.N°2: Círculo de ROE constante.

Se remarca, por lo general los CADs no incluyen un bloque de impedancia o admitancia. El único parámetro posible de variar es la frecuencia. Es decir, solo es posible obtener el círculo de ROE constante para cargas resistivas puras.

### Visualizar la variación del máximo y mínimo de tensión y de corriente.

La observación de la variación del máximo y mínimo de tensión y de corriente se obtiene a través de la simulación transitoria. En la Fig. N°3 se ilustra el esquemático para realizar las observaciones pertinentes.

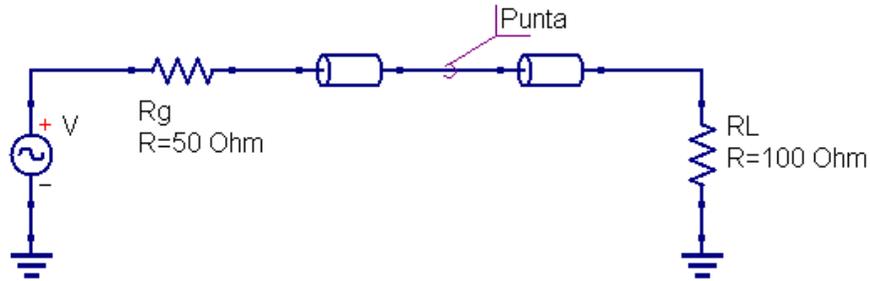


Fig.Nº3: Esquema del circuito para observar la variación de tensión y de corriente.

En el gráfico de la Fig. N°4 se visualiza la variación del máximo de tensión y mínimo de corriente.

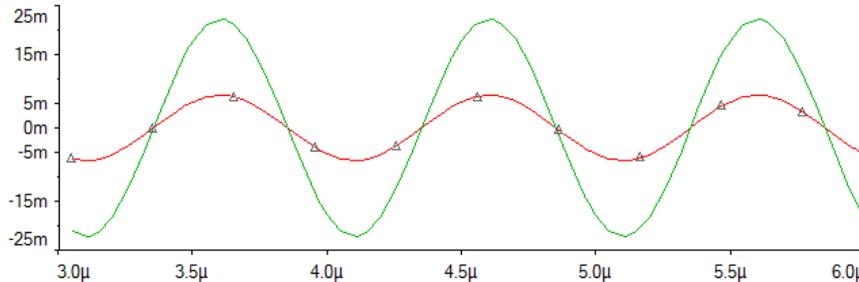


Fig.Nº4: Variación del máximo de tensión y mínimo de corriente; La curva de color verde corresponde a la variación del máximo de tensión; la curva de color rojo corresponde a la variación del mínimo de corriente.

El valor pico del máximo de tensión es 222,0195 mV y el valor pico del mínimo de corriente es 6,6606 mA.

En el gráfico de la Fig. N°5 se ilustra la variación del máximo de corriente y mínimo de tensión.

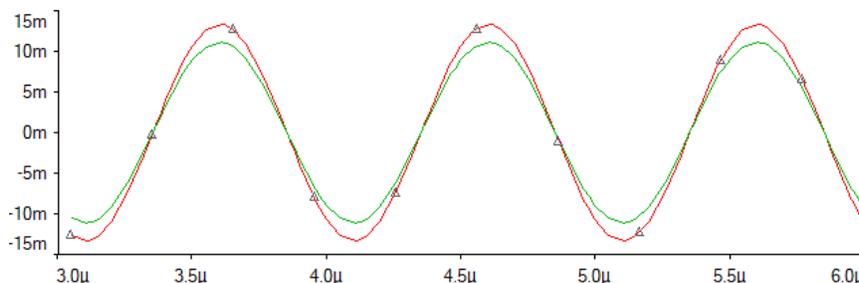


Fig.Nº5: Variación del máximo de corriente y mínimo de tensión; La curva de color rojo corresponde a la variación del máximo de corriente; la curva de color verde corresponde a la variación del mínimo de tensión.

El valor pico del máximo de corriente es 13,3212 mA y el valor pico del mínimo de tensión es 111,0097 mV.

En ambos gráficos, la curva de la variación de tensión se disminuyó en un factor de 10 para que la curva de la variación de corriente sea apreciable.

### Relación de onda estacionaria

A través de las mediciones realizadas en el punto anterior se obtiene el valor de la relación de onda estacionaria.

$$ROE = \frac{|V_{m\acute{a}x}|}{|V_{m\acute{i}n}|} = \frac{222,0195 \text{ mV}}{111,0097 \text{ mV}} = 2(4)$$

$$ROE = \frac{|I_{m\acute{a}x}|}{|I_{m\acute{i}n}|} = \frac{13,3212 \text{ mV}}{6,6606 \text{ mV}} = 2(5)$$

El valor te3rico de ROE es

$$ROE = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} = \frac{1+1/3}{1-1/3} = 2(6)$$

Aunque los CADs de simulaci3n no permiten obtener el valor de ROE de manera directa, por medio de este artilugio es posible determinarlo, concordando con el valor te3rico.

### Adaptaci3n de una lnea de transmisi3n con trafa $\lambda/4$

La impedancia del trafa es

$$Z_M = \sqrt{Z_o Z_L} = \sqrt{50 \Omega \times 100 \Omega} = 70,71 \Omega(7)$$

En la Fig. N36 se ilustra el esquema del circuito adaptador.

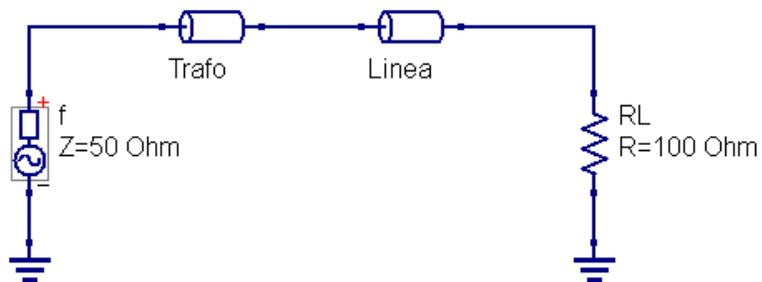


Fig.N36: Esquema del circuito adaptador.

En la Fig. N37 se ilustra el resultado obtenido en el simulador.

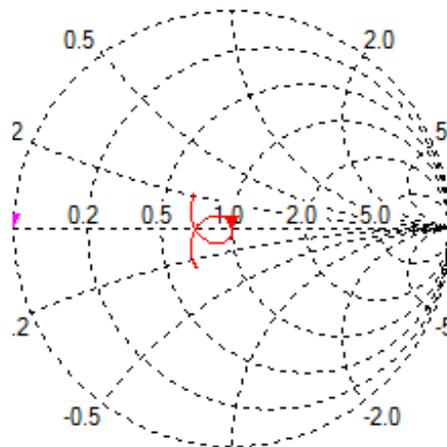


Fig.N37: Resultado de la simulaci3n.

Se observa que en 1MHz no existe reflexiones hacia el generador. Validando la adaptación de la línea.

## **Conclusión**

El conjunto de simulaciones expuesto en el presente trabajo permite a los estudiantes que cursan en la cátedra de medios de enlaces comprender de una manera eficiente los fenómenos electromagnéticos que suceden en las líneas de transmisión TEM. Además, los docentes se benefician a no tener que recurrir al laboratorio a priori para demostrar experimentalmente los fenómenos expuestos.

Concluyendo, el conjunto de simulaciones ha sido implementando en los años académicos 2014, 2015, 2016 y 2017. Recibiendo una buena aceptación por parte del alumnado como de los docentes a cargo de la cátedra.

## **Bibliografía**

- [1] Walter C. Johnson. Líneas de Transmisión Y Circuitos, 1980.
- [2] Fawwaz T. Ulaby. Fundamentos de aplicaciones en electromagnetismo, 2007.
- [3] Javier Bará Temes. Circuitos de microondas con líneas de transmisión, 2012.
- [4] Washington A. Medina, Fundamentos y Principios de líneas de Transmisión y Guías de Ondas, 2012.
- [5] Richard Collier. Transmission Lines: Equivalent Circuits, Electromagnetic Theory, and Photons, 2013.

# ESTUDIO DEL CONTENIDO ARMÓNICO EN LINEAS DE ALUMBRADO PÚBLICO CON COMPONENTES ELÉCTRICOS ALIMENTÁNDOLO ENTRE FASES Y USANDO AUTOTRANSFORMADORES

Autores: Alonso Velo; Ezequiel Marzano; Marcos Azcune; Ing. Federico Conte; Ing. Mario Blume GEEE (Grupo Estudio de Eficiencia Energética), Facultad Regional San Nicolás de la Universidad Tecnológica Nacional, B2900LWH San Nicolás de Los Arroyos, Buenos Aires, Argentina.  
avelo@frsn.utn.edu.ar ezequielmarzano@gmail.com marcosazcune6@gmail.com  
fconte@frsn.utn.edu.ar mblume@frsn.utn.edu.ar

## Resumen

En la actualidad es de uso común y corriente el emplear equipos electrónicos para iluminación vial o alumbrado público. Estos equipos van desde los balastos electrónicos para lámparas de vapor de sodio hasta los modernos artefactos LED. Los mismos traen notorios beneficios como por ejemplo una mejora en el rendimiento de las lámparas o una mayor eficiencia energética. Pero también presentan el inconveniente de la enorme capacidad que tienen para generar corrientes armónicas que perjudican la calidad de energía de la que se dispone en su entorno. Este detrimento de la calidad de energía redundante en que los usuarios domiciliarios, comercios, talleres, etc., tengan un alto contenido armónico en la energía eléctrica que reciben de la red, lo que se traduce en la imposibilidad de emplear en forma correcta y segura equipos como computadoras, receptores de radios, motores, etc., o el disparo intempestivo de protecciones diferenciales.

El presente trabajo intenta comparar el contenido armónico de un conjunto de artefactos LED conectados en forma convencional, es decir entre una fase y neutro, versus el mismo conjunto conectado mediante transformadores con el objetivo de reducir las corrientes armónicas que generan dichos artefactos del sistema de potencia que los alimenta, disminuyendo o no de esta manera sus efectos nocivos en la calidad de energía. Con la configuración planteada se consuma que la distorsión armónica varía empleando auto transformadores sin atenuar el problema, no obstante plantea un nuevo camino a seguir al respecto.

## Palabras clave:

Calidad de energía, distorsión armónica, alumbrado público LED; modelo carga no lineal.

## Introducción

La norma UNE-EN-60150:2011 define la tensión armónica como “una tensión senoidal cuya frecuencia es múltiplo entero de la frecuencia fundamental de la tensión de alimentación en el sistema” [1]. El matemático Fourier, definió este fenómeno afirmando que “cualquier señal periódica, por compleja que sea, se puede descomponer en una suma de señales senoidales cuya frecuencia es múltiplo de la frecuencia fundamental o de referencia” [2].

En general, los armónicos son generados por cargas no lineales, lo cual significa que su impedancia no es constante y está dada en función de la tensión. Estas cargas no lineales a pesar de ser alimentadas con una tensión sinusoidal absorben una intensidad no sinusoidal. Para simplificar y resumir se puede pensar que las cargas no lineales se comportan como fuentes de intensidad que inyectan armónicos en la red.

Las cargas no lineales más comunes son las que se encuentran en los receptores alimentados por electrónica de potencia tales como: variadores de velocidad, rectificadores, convertidores, reactancias saturables, equipos de soldadura, hornos de arco, etc.

Es evidente que la iluminación LED por ser una carga no lineal, es una fuente de armónicos considerable y su uso generalizado en iluminación pública podría crear pérdidas por armónicos

adicionales, las cuales también podrían resultar significativas en las líneas de baja tensión que los alimenten. Esto hace pensar que la calidad de energía, en términos de distorsión armónica, se ve afectada.

Existe la teoría donde la implementación de autotransformadores para la alimentación de los artefactos LED podría reducir los armónicos que son enviados a la red [3]. Este trabajo intenta esclarecer esos efectos mediante mediciones que permitan comparar la distorsión armónica en un caso y otro.

Los armónicos son causantes de numerosos problemas, como por ejemplo en los sistemas de protección, sobrecalentamiento en equipos y redes eléctricas, efectos de resonancia, etc. [4] De esto se deduce que la calidad de energía resultante, cuando este tipo de cargas son conectadas a la red, se ve afectada de forma negativa, claramente por el incremento de la distorsión armónica [5].

Frente a esto se ve necesario reducir el contenido armónico que se genera. La alternativa que este trabajo pretende estudiar plantea la implementación de autotransformadores para la alimentación de los artefactos LED con el fin de reducir dicho contenido armónico como se menciona más arriba.

### Mediciones y análisis

El objetivo de las mediciones es la comparación de la distorsión armónica cuando se alimenta un artefacto o grupo de artefactos directamente con la tensión de red versus cuando los mismos se alimentan por medio de autotransformadores conectados a la misma fuente de tensión.

Para tal fin se confeccionó un tablero de pruebas donde se conectaban en forma independiente los artefactos de iluminación. El tablero de pruebas también permite que la alimentación de tensión se haga directamente de la red o por medio de un transformador, simplemente cambiando las conexiones.



Fig 1: Tablero de pruebas elaborado para las mediciones (fuente propia).

Las bobinas de cables que se observan en el tablero tienen el fin de minimizar errores en la medición, aprovechando el efecto de multiplicación de la corriente en función de la cantidad de vueltas, para que las pinzas amperométricas del analizador de redes midieran correctamente las corrientes.

Las sucesivas mediciones realizadas implicaron la medición de armónicos en las siguientes alternativas:

- 1) Alimentación directa con tensión de red: Un artefacto LED solo; Dos artefactos LED; Tres artefactos LED.

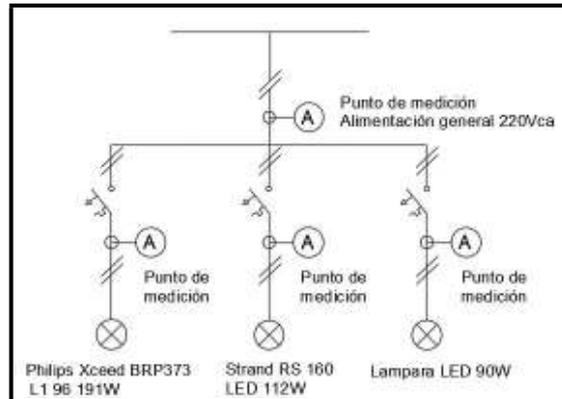


Fig. 2: Conexión de artefactos con alimentación de tensión directa de la red, y la indicación de los puntos de medición de corriente (fuente propia).

- 2) Alimentación con Autotransformador: Un artefacto LED solo; Dos artefactos LED; Tres artefactos LED.

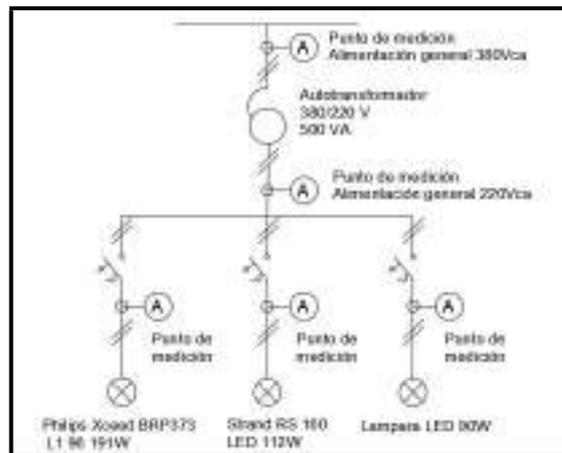


Fig. 3: Conexión de artefactos con alimentación de tensión por medio de autotransformador, y la indicación de los puntos de medición de corriente (fuente propia).

El autotransformador empleado tiene una relación de transformación de 380/220 lo que permitiría poder emplearse en las redes de distribución de nuestro país. Su potencia aparente es de 500VA. Para realizar las mediciones de nivel de armónicos se utilizó un analizador de redes, marca Sqaure-D modelo PowerLogic PCM4000. El software de interfase empleado para la obtención de los datos fue Powerlogic System Manager SMS 121.



Fig. 4: Tablero de pruebas y analizador de redes Sqaure-D PCM4000 (fuente propia).

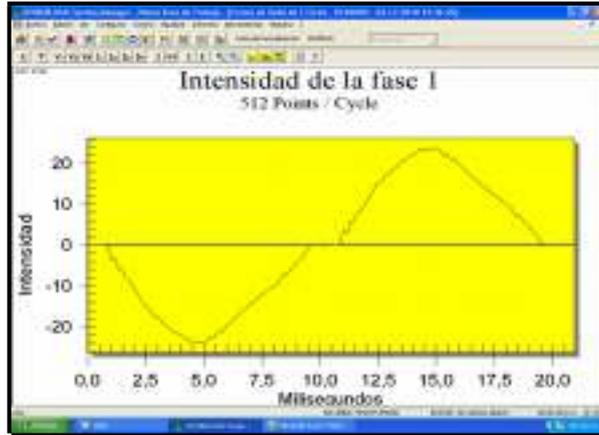


Fig. 5: Pantalla del software POWERLOGIC System Manager SMS 121 con el resultado de la forma de onda obtenida en una de las mediciones (fuente propia).

Los artefactos LED empleados en las mediciones fueron: Philips Xceed BRP373 L1 96 191W; Strand RS 160 LED 112W; Lámpara genérica 90W  
 Las mediciones de corriente se hicieron sobre cada artefacto, en el alimentador general de 220Vca y, para el caso de alimentación por autotransformador, en el alimentador de 380Vca.

## Resultados

El resultado obtenido de las mediciones arrojó que la distorsión armónica se incrementa cuando se emplean los autotransformadores para la alimentación de los artefactos de iluminación en comparación a cuando no se usan y la alimentación es directa de la red.

En el gráfico 1 se puede observar como los armónicos de 3er orden se incrementan comparando la medición del mismo cuando se alimenta en 220V directo de la red versus cuando se alimenta todo el sistema mediante 380V usando el autotransformador. Este fenómeno también se puede ver para el armónico de 7mo orden; quizás este último no tenga tanta importancia como los de 3er orden, pero es conveniente resaltar su efecto.

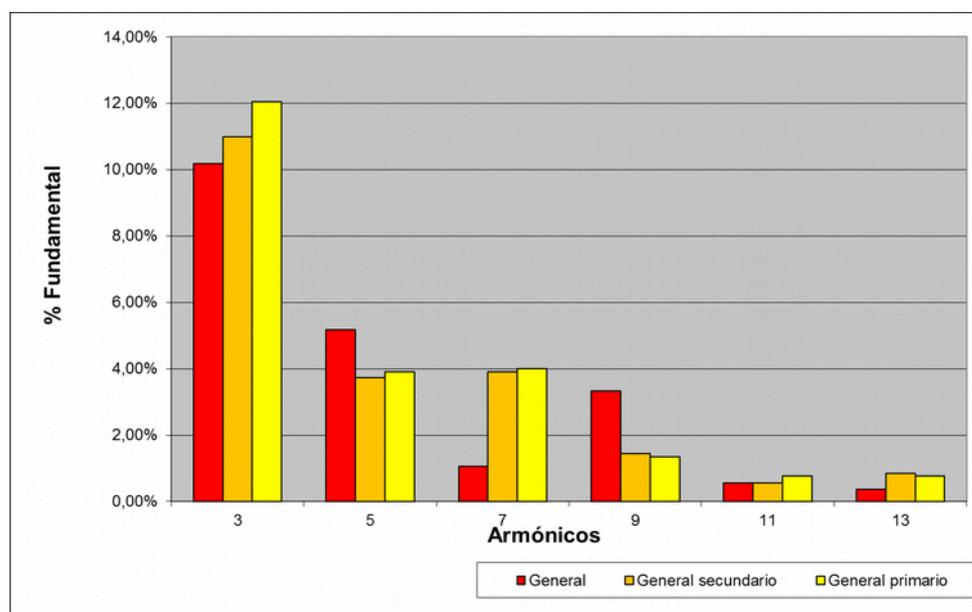


Gráfico 1. Armónicos obtenidos de la medición de 3 artefactos LED: general: alimentación directa de 220V; General Secundario: alimentación general de 220V mediante autotransformador; General primario: Alimentación general de 380V o primario del autotransformador (fuente propia).

La distorsión armónica total (THD por sus siglas en inglés) para cada caso fue de:

- 1) Alimentación directa de 220V: 12,73
- 2) Alimentación general de 220V mediante autotransformador: 12,74
- 3) Alimentación general de 380V o primario del autotransformador: 13,8

## Conclusiones

El empleo de autotransformadores individuales para alimentación de artefactos led de iluminación vial que presenten una evidente no linealidad, no resuelve el efecto perjudicial de las corrientes armónicas enviadas a la red, sino todo lo contrario, lo acrecienta, incrementando la distorsión armónica cuya razón radica sobre todo en el esquema de conexión empleado.

La conexión que se empleó para las mediciones fue de usar 380Vca de 2 fases de la red trifásica como alimentación a los autotransformadores; la salida de los mismos es de 220Vca. De esta manera, y aunque el secundario del transformador que alimenta la red de baja tensión (380Vca + Neutro) esté conectado en estrella con su neutro a tierra, permite que los terceros armónicos (los de mayor importancia) viajen por las líneas de las fases hasta que se cierren en el neutro mencionado. Pero el anularse en el neutro no implica que los mismos hayan sido eliminados de la red debido a lo que se mencionó antes.

Sumado a lo anterior, se tiene que evaluar la calidad de los autotransformadores que se empleen. En general, para bajas potencias, los transformadores y autotransformadores que se consiguen comercialmente suelen tener una calidad acorde a la carga que alimentarán. Entonces, si se requiriera mejorar la calidad de los mismos, podríamos estar ante una relación costo beneficio imposible de justificar.

Esta conclusión invita a pensar que una alternativa puede ser emplear un grupo de transformadores dedicados exclusivamente a la alimentación del sistema de alumbrado público. La toma de tensión de los mismos deberá ser de la red de distribución de 380Vca + N y el esquema de conexión a evaluar deberá implicar que la relación de transformación sea 1 a 1 (es decir, 380V a 380V), cuyo bobinado primario esté conectado en triángulo y el secundario en estrella con neutro a tierra. Esta tensión secundaria será la dedicada a la alimentación de la red de alumbrado público.

## Referencias:

- [1] UNE-EN 50160:2011, Características de la tensión suministrada por las redes generales de distribución.
- [2] "Los armónicos y la calidad de la energía eléctrica", RTR energía <http://rtrenergia.es/>.
- [3] "Incremento de la Eficiencia Energética en las Líneas Eléctricas Destinadas a Iluminación con Lámparas LED por Reducción del Contenido de Armónicos en la Corriente", tesis de maestría en Energía para el Desarrollo Sostenible, Ing. Natalio Jorge Milardovich, Universidad Nacional de Rosario Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Escuela de Posgrado y Educación Continua, Noviembre de 2015.
- [4] Las cargas no Lineales, su Repercusión en las instalaciones Eléctricas y sus soluciones, M.C. Mario Salvador Esparza González, M.C. Jesús Alejandro Mata Guerrero, M.C. Luis Antonio Castañeda Ramos, Departamento de Ing. Eléctrica y Electrónica, Instituto Tecnológico de Aguascalientes, <http://www.redalyc.org/pdf/944/94403211.pdf>, y Revista Conciencia Tecnológica, núm. 32, julio-diciembre, 2006. ISSN: 1405-5597.



# APLICACIÓN DEL PROCESAMIENTO DE IMÁGENES EN LA CARACTERIZACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE ÁREAS AGRÍCOLAS

Facundo Busano\*, Marco Miretti, Emanuel Bernardi, Hugo Pipino, Gastón Peretti

*Grupo de Investigación y Desarrollo Electrónico (GIDE)  
Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco (UTN-FRSFCO)  
Avenida de la Universidad 501 (2400) San Francisco. Argentina.*

---

## Resumen

En el presente trabajo se aborda el desarrollo e implementación de un sistema de acondicionamiento y posterior procesamiento de imágenes para la estimación de la cantidad y calidad de vegetación, así como la cuantificación de superficies inundadas. Para ello, se empleó el cómputo del índice de vegetación de diferencia normalizada y el índice de agua de diferencia normalizada, utilizando como elemento sensor una cámara web genérica, modificada para captar las porciones necesarias del espectro electromagnético.

Los experimentos realizados, en condiciones ambientales controladas, demuestran la factibilidad de implementación de dicho sistema en la estimación de la proporción de superficies inundadas y en la evaluación de la cantidad de vegetación.

*Palabras clave:* vegetación, infrarrojo, filtros, NDVI, NDWI.

---

## 1. Introducción

En los últimos años, la demanda de soluciones de bajo costo para la clasificación de zonas agrícolas se ha incrementado fuertemente en nuestra región. Entre otros ejemplos de estas aplicaciones se destacan la mensura de zonas inundadas, la cuantificación de maleza presente en los campos en período de barbecho, y el conocimiento del estado de salud de la vegetación cultivada.

En base a esta problemática, se planteó un sistema de procesamiento de imágenes de bajo costo capaz de estimar la cantidad y calidad de vegetación, así como el dimensionamiento de las superficies inundadas. Esto es, se propone trabajar con el cómputo del índice de vegetación de diferencia normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index*, NDVI) que, respecto a índices más complejos, tiene como ventajas la sencillez de cálculo y la interpretación directa de los parámetros biofísicos de la vegetación. La firma espectral de una cubierta vegetal saludable se caracteriza por el alto contraste entre las bandas rojo (645-700 nm) e infrarrojo cercano (800-850 nm), debido a que la primera es mayormente absorbida y la segunda prácticamente reflejada en su totalidad por las hojas con alto contenido de clorofila. Esta propiedad nos permite realizar una valoración cualitativa de la vegetación.

Por otra parte, la firma espectral del agua también posee un elevado contraste entre las bandas utilizadas para el cálculo del NDVI, aunque en este caso el rojo es reflejado y el infrarrojo cercano absorbido. Particularmente, en el caso del agua, resulta interesante el cómputo del índice de agua de diferencia normalizada (*Normalized Difference Water Index*,

---

\*Autor en correspondencia.

*Correo electrónico:* facundobusano@gmail.com (Facundo Busano)

NDWI) que a partir del análisis de las bandas verde, azul e infrarrojo cercano nos posibilita la interpretación de superficies inundadas.

Por último, para la adquisición de las componentes del espectro electromagnético necesarias en el cálculo de ambos índices, se modificó y extendió la capacidad de captura de una cámara digital genérica.

En la actualidad, existen trabajos de similar ámbito de aplicación aunque solo empleando el espectro visible [1], en tanto que otros autores plantean soluciones semejantes pero en diferentes aplicaciones y utilizando únicamente NDVI [2, 3], y también existen aquellos que buscan aplicar el NDVI y NDWI pero empleando imágenes satelitales [4].

Es de destacar, que este desarrollo es parte de dos proyectos de mayor alcance. Uno de los cuales consiste en la estimación de los tipos de cultivos y la calidad de los mismos, complementándose con un sistema de aplicación selectiva de herbicidas sobre malezas en períodos de barbecho. Paralelamente, otro de los proyectos implicados, aborda la estimación de la proporción de superficies inundadas en zonas de cultivo mediante una cámara montada sobre un vehículo aéreo no tripulado.

## 2. Índices de diferencia normalizada

La clorofila, pigmento que da color a las hojas y tallos, posee una gran absorción del espectro de luz visible, exceptuando el rango del color verde que es en parte reflejado. Por otro lado, las longitudes de onda correspondientes al infrarrojo cercano son reflejadas prácticamente en su totalidad [5].

La absorción de energía de las bandas azul y rojo, del espectro visible, permite que la vegetación genere sus propios nutrientes. Esto es, la absorción de energía en dichas bandas y una reflexión del infrarrojo cercano indica una vegetación saludable. En base a esta observación es posible cuantificar la salud de la vegetación utilizando el NDVI:

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{Rojo}}{\text{NIR} + \text{Rojo}} \quad (1)$$

Donde NIR y Rojo son las porciones del espectro reflejado en infrarrojo cercano y rojo, respectivamente. Los valores de NDVI cercanos a 1 representan la presencia de vegetación saludable, en cambio cuando estos son próximos a 0 estamos frente a vegetación en malas condiciones o muerta, y hacia -1 se trata de tierra o incluso cuerpos de agua.

Siguiendo un similar procedimiento se calcula otro importante índice de diferencia normalizada, el NDWI [6, 7], aplicable en la detección de superficies inundadas. El agua tiene la propiedad de reflejar muy sutilmente las longitudes de onda del espectro visible y absorber casi en su totalidad al infrarrojo cercano [8].

Este contraste es de gran utilidad para calcular el NDWI:

$$\text{NDWI} = \frac{\text{Verde} - \text{NIR}}{\text{Verde} + \text{NIR}} \quad (2)$$

Siendo NIR y Verde las porciones del espectro reflejado en infrarrojo cercano y verde, respectivamente. En contraste con el NDVI, los valores de NDWI cercanos a 1 representan cuerpos acuosos, disminuyendo hasta 0 según la profundidad de la misma, y valores próximos a -1 indican la presencia de vegetación.

## 3. Caracterización de la cámara

Para que sea posible el cómputo de los índices mencionados en § 2, es necesario que el dispositivo de captura reciba frecuencias NIR. Es por ello, que se retiró el filtro de infrarrojos presente en el objetivo de la cámara, que se muestra en la Fig. Fig. 1.

Además del filtro NIR, en el sensor CMOS de la cámara se encuentra el filtro Bayer, dispuesto como se observa en la Fig. 2 y compuesto por múltiples filtros R, G y B que permiten el paso de las bandas rojo, verde y azul, respectivamente. Por último, el elemento sensor se divide en tres canales, los cuales fueron caracterizados, obteniendo así, las curvas de su comportamiento frente a una fuente de luz respecto de su longitud de onda.

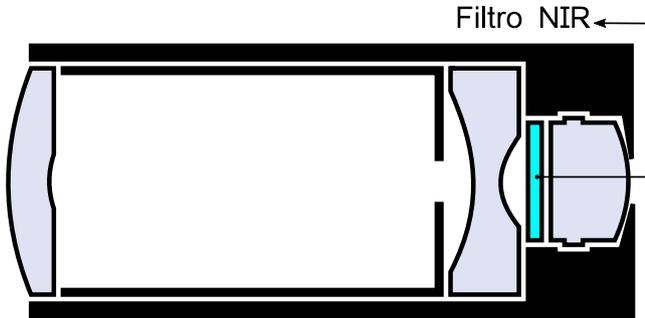


Figura 1: Objetivo de la cámara con filtro IR.

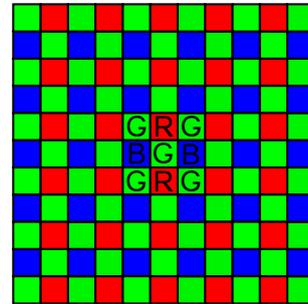


Figura 2: Filtro Bayer.

La caracterización se realizó a partir de la adaptación de un espectrofotómetro de la firma PASCO [9], reemplazando el sensor de intensidad luminosa por la cámara a caracterizar. De esta forma, en base al promedio de las intensidades recibidas por cada canal y la referencia en función de la longitud de onda brindada por el espectrofotómetro, se logró la respuesta que se visualiza en la Fig. 3.

Es de destacar, tal como se observa en la Fig. 3, que hacia las longitudes de onda superiores del espectro se encuentra presente el infrarojo cercano, de similar intensidad en los tres canales.

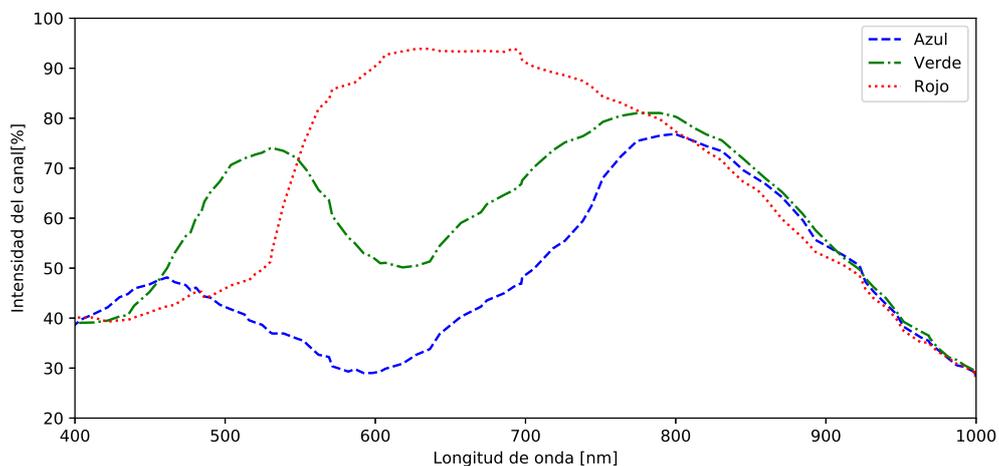


Figura 3: Caracterización de la cámara.

#### 4. Evaluación y selección de filtros

Cómo se presentó en § 2, para calcular los índices NDVI y NDWI se debe disponer de los canales NIR, Rojo y Verde por separado. Sin embargo, este método se encuentra fuera de nuestro alcance ya que implica la construcción de un nuevo filtro Bayer, compuesto por filtros específicos para los tres canales. En cambio, a partir de la observación de la respuesta de

la Fig. 3 vemos que cada canal está compuesto por:

$$R = \text{Rojo} + \text{NIR}; \quad G = \text{Verde} + \text{NIR}; \quad B = \text{Azul} + \text{NIR} \quad (3)$$

Por lo tanto, al colocar un filtro rojo, previo a que la imagen alcance el filtro de Bayer, se atenúan las bandas del verde y el azul transformando (3) en (4). Por otro lado, al interponer un filtro verde se transforma (3) en (5). Esto es,

$$R = \text{Rojo} + \text{NIR}; \quad G = \text{NIR}; \quad B = \text{NIR} \quad (4)$$

$$R = \text{NIR}; \quad G = \text{Verde} + \text{NIR}; \quad B = \text{NIR} \quad (5)$$

Una característica necesaria para que se cumpla (4) y (5) es que los filtros empleados permitan el paso del infrarrojo cercano. Es por ello, que se caracterizó en laboratorio una cierta cantidad de filtros que, tal como se muestra en la Fig. 4, confirman la transmitancia necesaria de las bandas infrarrojas.

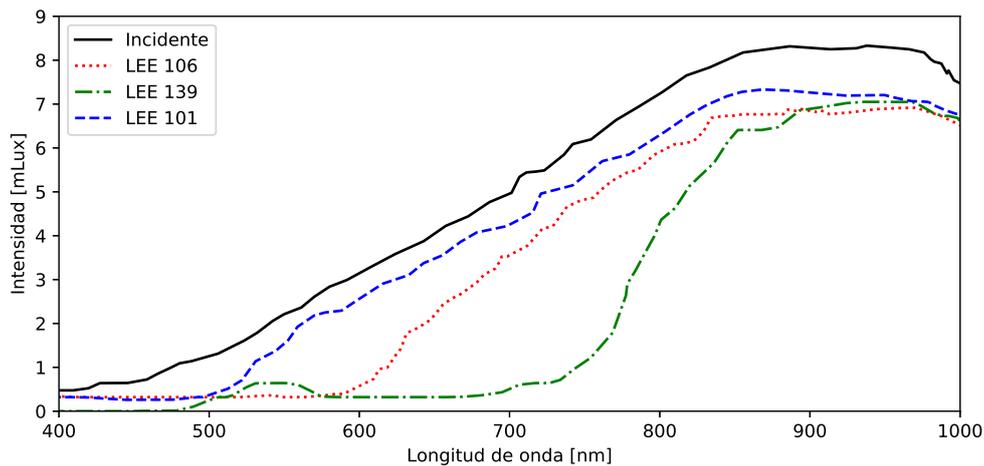


Figura 4: Caracterización de los filtros.

Por lo tanto, en base a esta propuesta, se obtienen los índices de diferencia normalizada:

$$\text{NDVI} = \frac{R - 2B}{R} \quad (6)$$

$$\text{NDWI} = \frac{2B - G}{G} \quad (7)$$

Siendo (6) y (7), mediante (4) y (5), equivalentes a (1) y (2), respectivamente. Por lo tanto, como se observa en (6) y (7), deja de ser necesario eliminar el canal verde en el cálculo del NDVI y de modo similar podemos conservar las longitudes de onda del canal rojo al computar el NDWI.

Como consecuencia de estas observaciones, mediante la utilización de un filtro amarillo se simplifica la selección de canales, ya que atenúamos las longitudes de onda no deseadas del canal azul.

## 5. Modificaciones de la cámara

Luego del análisis de la respuesta de más de 10 filtros, se evaluó el desempeño del sistema con los filtros LEE 106 (rojo primario) y LEE 139 (verde primario) para el cómputo del NDVI y del NDWI, respectivamente. Finalmente, se ensayo la cámara con el filtro LEE 101 (amarillo) y debido a su excelente desempeño se decidió emplearlo para calcular ambos índices, utilizando una sola cámara.

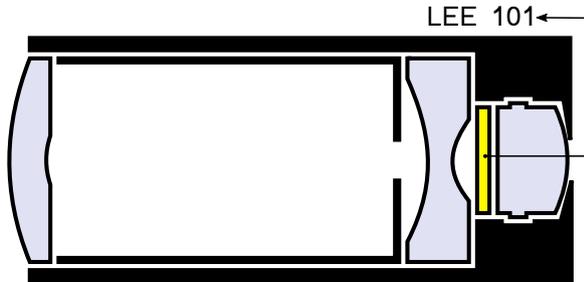


Figura 5: Objetivo de la cámara con filtro LEE 101.



Figura 6: Cámara utilizada para el desarrollo.

La modificación realizada en el objetivo de la cámara se visualiza en la Fig. 5, y en la Fig. 6 se muestra el sensor CMOS de la cámara utilizada.

## 6. Resultados

Luego de implementar (6) y (7) en un algoritmo escrito en lenguaje *Python*, y empleando como entrada de información la cámara web modificada (de acuerdo a las propuestas hechas en § 5), se obtuvieron los resultados que se observan en la Fig. 7 para el NDVI y en la Fig. 8 para el NDWI.



(a) Color real.

(b) Máscara de valores.

(c) Máscara de falso color.

Figura 7: Resultado de NDVI.

Como se observa en la Fig. 7, se distingue correctamente entre el contenido de vegetación y el contenido de tierra.

Por otro lado, en la Fig. 7b y en la Fig. 7c se visualiza una leve saturación en la zona de vegetación, esto se debe presumiblemente a que la cámara utilizada carece de control de ganancia y las capturas se realizaron a la intemperie, con alta intensidad de infrarrojo cercano.

Por último, como se muestra en la Fig. 8, la implementación del NDWI es en general correcto, con fuerte contraste entre el agua y el terreno. No obstante se observa una ligera distorsión en los cambios abruptos de valor.

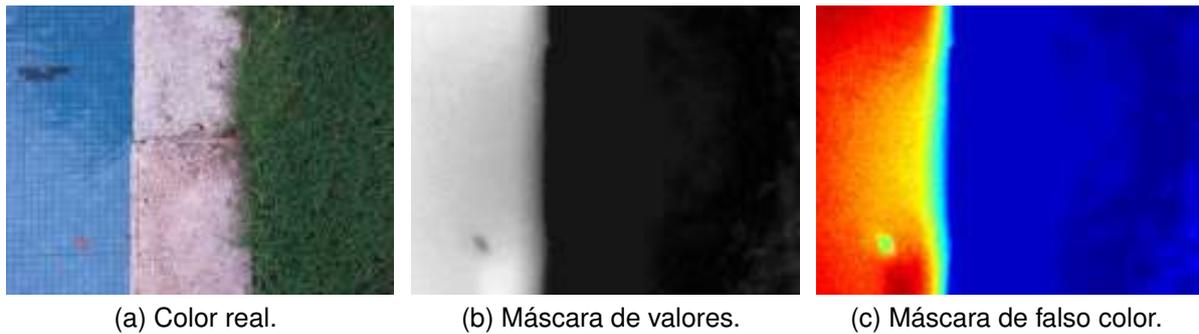


Figura 8: Resultado de NDWI.

## 7. Conclusión

Si bien la implementación propuesta presenta ciertos inconvenientes, como los mencionados en § 6, los mismos no revisten importancia en los ámbitos de aplicación del proyecto. Esto es, la detección de malezas es afectada por la saturación del NDVI, del mismo modo una pequeña distorsión en los bordes de las áreas inundadas no compromete seriamente la mensura de superficies agrícolas anegadas.

Sin embargo, si se desea realizar un análisis cualitativo de la vegetación o discernir entre vegetación saludable y enferma, se deberá incrementar la calidad de las mediciones involucradas en el computo del NDVI.

Una de las propuestas de mejora de alto impacto y moderado coste, es la utilización de una cámara con mayor definición y parámetros controlables (ganancia y ajuste de luz de fondo). Otra posibilidad, aunque más compleja, involucra la utilización de dos cámaras monocromáticas calibradas a longitudes de onda específicas [10], para luego a través de la fragmentación del espectro recibido lograr una comparación directa de intensidades.

## Referencias

- [1] M. Miretti, E. Bernardi, H. Pipino, G. Peretti, Visión artificial aplicada al control de malezas en tiempo real, VIII Congreso de Microelectrónica Aplicada (2017).
- [2] V. Dworak, J. Selbeck, K.-H. Dammer, M. Hoffmann, A. A. Zarezadeh, C. Bobda, Strategy for the development of a smart ndvi camera system for outdoor plant detection and agricultural embedded systems, *Sensors* 13 (2013) 1523–1538.
- [3] A. D. Richardson, J. P. Jenkins, B. H. Braswell, D. Y. Hollinger, S. V. Ollinger, M.-L. Smith, Use of digital webcam images to track spring green-up in a deciduous broadleaf forest, *Oecologia* 152 (2007) 323–334.
- [4] S. K. Jain, A. K. Saraf, A. Goswami, T. Ahmad, Flood inundation mapping using noaa avhrr data, *Water Resources Management* 20 (2006) 949–959.
- [5] D. M. Gates, et al., *Biophysical ecology*, Springer, New York, 1980.
- [6] B.-C. Gao, Ndwi-a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space, *Remote sensing of environment* 58 (1996) 257–266.
- [7] S. K. McFeeters, The use of the normalized difference water index (ndwi) in the delineation of open water features, *International journal of remote sensing* 17 (1996) 1425–1432.
- [8] A. Siegmund, G. Menz, Fernes nah gebracht - Satelliten- und Luftbildeinsatz zur Analyse von Umweltveränderungen im Geographieunterricht, *Geographie und Schule*, 2005.
- [9] Manual, Educational spectrophotometer accessory kit and systems os-8537, PASCOS Scientific (1999).
- [10] Y. Kaizu, K. Imou, A dual-spectral camera system for paddy rice seedling row detection, *Computers and Electronics in Agriculture* 63 (2008) 49–56.

# ESTIMACIÓN HÍBRIDA DE POSICIÓN ANGULAR EN DISPOSITIVOS DE CAPTURA DE IMÁGENES AÉREAS

Marco Miretti\*, Facundo Busano, Emanuel Bernardi, Hugo Pipino, Gastón Peretti

*Grupo de Investigación y Desarrollo Electrónico (GIDE)  
Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco (UTN-FRSFCO)  
Avenida de la Universidad 501 (2400) San Francisco. Argentina.*

---

## Resumen

El presente trabajo aborda el análisis, implementación y comparación de resultados de dos técnicas frecuentemente empleadas en la fusión de sensores. Éstas son: filtro de Kalman y filtro complementario. Además, se trata la adecuación de la información brindada por los sensores involucrados.

Dichas técnicas se utilizan para lograr una estimación óptima de los estados del sistema. Para luego, en base a posición angular estimada, desarrollar un sistema de estabilización de un dispositivo de captura de imágenes aéreas que nos permita la evaluación cuantitativa de superficies sembradas, inundadas o sin explotar.

*Palabras clave:* control, filtro de Kalman, fusión de sensores, filtro complementario.

---

## 1. Introducción

En las últimas décadas, el avance de la tecnología sobre los procesos y técnicas agro-industriales ha fortalecido el crecimiento de esta actividad y contribuido al desarrollo de la explotación óptima de los recursos disponibles. Un requisito básico e indispensable para dichas mejoras es el conocimiento preciso de las características y cualidades del entorno en el que se desarrollan las mismas.

Históricamente, la evaluación de superficies sembradas, inundadas o sin explotar, la estimación de rendimientos, necesidades hídricas o tipos de cultivos se llevó a cabo mediante imágenes satelitales. Este tipo de tecnologías involucran un alto costo para la ejecución de sus misiones y por consiguiente su explotación es de acceso limitado. En cambio, la reciente evolución de los vehículos aéreos no tripulados (*Unmanned Aerial Vehicle, UAV*) permite sobrevolar regiones de interés invirtiendo menor cantidad de recursos y, de este modo, capturar imágenes para el posterior análisis de las características deseadas.

Para la correcta obtención de imágenes, es necesaria la utilización de sistemas de captura que permiten el seguimiento preciso del objetivo, la reducción de vibraciones y la estabilización del elemento de captura, o cámara. Los desarrollos en UAV, tales como el sistema de captura de imágenes, exigen la implementación de dispositivos de control y elementos de medición pequeños, ligeros y de bajo consumo de energía. Específicamente, la estimación precisa y sencilla de los estados del sistema resulta fundamental a la hora de implementar técnicas de control modernas. Es por ello, que en el presente trabajo nos enfocamos en la estimación de los parámetros necesarios para el control del sistema de estabilización,

---

\*Autor en correspondencia.

*Correo electrónico:* marco.miretti@gmail.com (Marco Miretti)

empleando sensores inerciales micro-electro-mecánicos (*MicroElectroMechanical Systems*, MEMS). Los MEMS de bajo costo, son ideales para la construcción de sistemas de medición móviles, debido a su tamaño, peso y consumo de energía.

La medición de la posición angular en base a sensores inerciales MEMS se lleva a cabo de diferentes maneras. La primera surge de integrar, a reducidos períodos de muestreo, la velocidad angular instantánea medida por el giróscopo. Esta medición está sujeta a errores acumulados a lo largo del tiempo, por lo que, la implementación de este método requiere del uso de giróscopos con salidas excepcionalmente precisas y estables. Desafortunadamente, los MEMS de bajo costo no cumplen con este requisito. Por otra parte, la segunda aproximación supone una baja aceleración dinámica lineal, y de este modo, utiliza acelerómetros para estimar la posición angular en base a proyecciones de las componentes gravitacionales. Por lo tanto, el estado de los acelerómetros en un instante particular en el tiempo predice la orientación del sistema.

Como consecuencia de la presencia de las perturbaciones, el ruido inherente y la deriva que afecta las mediciones, es estrictamente necesaria la implementación de técnicas capaces de acondicionar e integrar ambas aproximaciones, y así lograr la correcta estimación de los parámetros involucrados. Entre las herramientas más comunes se encuentran el filtro de Kalman y el filtro complementario.

La formulación original del filtro de Kalman, fue desarrollada por Rudolf Emil Kálmán a principios de los años sesenta [1, 2, 3]. Está conformado por un conjunto de ecuaciones matemáticas que implementan un estimador del tipo predictor-corrector óptimo, en el sentido que minimiza la covarianza del error de estimación, siempre que se cumplan ciertas condiciones. Desde su introducción, el filtro de Kalman ha sido sujeto de extensas investigaciones y aplicaciones, particularmente en el área de sistemas de navegación autónomos o asistidos. Por otro lado, el filtro complementario constituye una sencilla técnica de fusión de sensores [3, 4, 5], debido a que no posee una fuerte fundamentación matemática.

Por lo tanto, nuestro trabajo propone el análisis, clasificación e implementación de técnicas de fusión de sensores (filtro de Kalman y filtro complementario) que nos permiten la óptima estimación de los estados involucrados, para luego, en base a estos resultados contribuir a un proyecto de mayor alcance, como lo es la evaluación cuantitativa de superficies sembradas, inundadas o sin explotar.

## 2. Filtro de Kalman

El algoritmo del filtro de Kalman asume un sistema lineal e invariante en el tiempo discreto, afectado por perturbaciones de distribución gaussiana y representado por un modelo en espacio de estados:

$$\begin{aligned}x_k &= Ax_{k-1} + Bu_{k-1} + \omega_{k-1} \\z_k &= Hx_k + \gamma_k\end{aligned}\tag{1}$$

donde  $x \in \mathbb{R}^{nx}$  es el vector de estados,  $u \in \mathbb{R}^{nu}$  el vector de entradas y  $z \in \mathbb{R}^{nm}$  el vector de mediciones. Además,  $\omega_k \sim N(0, Q)$  es el ruido de proceso y  $\gamma_k \sim N(0, R)$  el ruido de medición, ambos gaussianos y asumidos no correlacionados. Por último,  $A$ ,  $B$  y  $H$  son matrices conocidas de dimensiones adecuadas.

El filtro de Kalman es un algoritmo recursivo, que a partir del conocimiento de la covarianza esperada de las variables de estado corrige una estimación a priori de los estados del sistema y la covarianza misma. La estimación obtenida por el filtro de Kalman es estadísticamente óptima. Además, tal como se observa en la Fig. 1, el algoritmo se divide en dos etapas principales, éstas son: predicción y corrección.

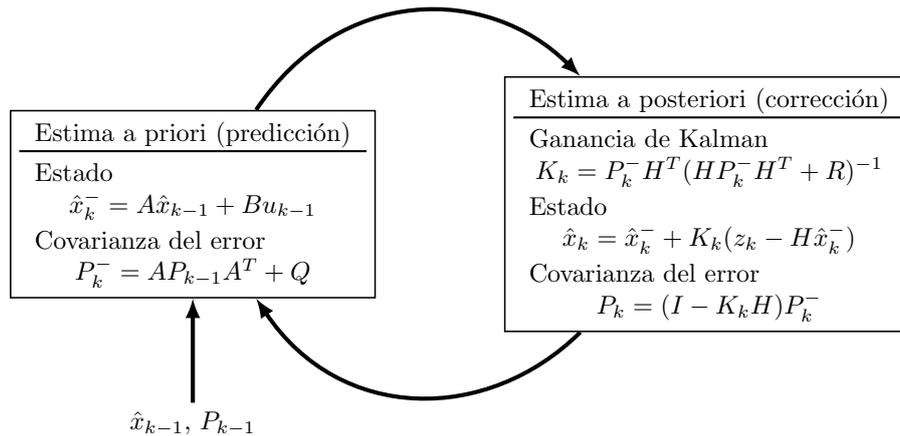


Figura 1: Algoritmo del filtro de Kalman.

De este modo, el filtro de Kalman se aboca a la estimación de los estados  $x_k$  en base al conocimiento de la dinámica del sistema (1), las características de la perturbación y la disponibilidad de las mediciones ruidosas  $z_k$ .

Las matrices  $Q$  y  $R$  se corresponden con la covarianza del ruido de proceso y el ruido de medición, respectivamente,  $P_k$  es la matriz de la covarianza del error de estimación y  $K_k$  es la matriz de ganancia de Kalman. Es importante notar que si el ruido de proceso es significativamente mayor al ruido de medición, la ganancia de Kalman crece, lo que trae aparejado que el algoritmo confíe más en las mediciones que en la estimación. Por el contrario, si el ruido de proceso es considerablemente menor que el ruido de medición, la ganancia de Kalman se vuelve pequeña conduciendo al filtro a confiar más en la estimación por sobre la medición.

### 3. Filtro complementario

La estructura básica del filtro complementario se muestra en la Fig. 2, donde  $\theta_{acel}$  y  $\dot{\theta}_{giro}$  son las mediciones ruidosas de la posición y velocidad angular, respectivamente. Además,  $\theta$  se corresponde con la estimación de la posición angular producida por el filtro.

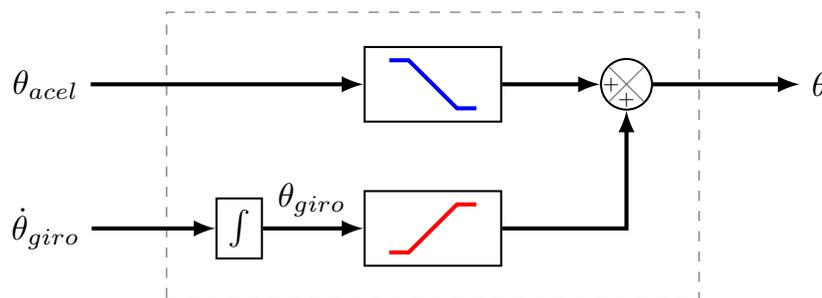


Figura 2: Diagrama de bloques del filtro complementario.

Para el análisis del funcionamiento del filtro complementario se asume que  $\theta_{acel}$  posee principalmente ruido de alta frecuencia, el cual se atenúa a través de un filtro pasa bajos. Por otro lado, la integración de la señal  $\dot{\theta}_{giro}$ , para obtener  $\theta_{giro}$ , atenúa el ruido gaussiano de alta frecuencia en la medición de la velocidad angular, y luego a partir de un filtro pasa altos, complementario del filtro pasa bajos de la rama superior, se atenúan las componentes de baja frecuencia, ó derivas, que afectan la medición. La estimación del ángulo  $\theta$  se compone de los resultados de ambas operaciones.

A continuación, se presenta la implementación digital del filtro complementario como una ecuación recursiva. Esto es,

$$\theta_k = \underbrace{\alpha(\theta_{k-1} + \dot{\theta}_{giro}\Delta t)}_{\text{filtro pasa altos}} + \underbrace{(1 - \alpha)\theta_{accel}}_{\text{filtro pasa bajos}} \quad (2)$$

donde  $\theta$  se corresponde con el ángulo estimado,  $\dot{\theta}_{giro}$  la velocidad angular medida por el giróscopo,  $\theta_{accel}$  el ángulo proyectado por el acelerómetro y  $\alpha$  la constante del filtro pasa altos (complementario a la constante del filtro pasa bajos).

La constante de ponderación  $\alpha$  se elige a partir de la constante de tiempo deseada en el filtro  $\tau$  y del período de muestreo del sistema  $\Delta t$ . Esto es,

$$\alpha = \frac{\tau}{\tau + \Delta t} \quad (3)$$

## 4. Aplicación

Tal como introdujimos en § 1, para la estimación de los parámetros involucrados en el control del sistema de estabilización (ángulos de balanceo y cabeceo) se utilizó un conjunto de sensores MEMS que componen una unidad de medición inercial (*Inercial Measurement Unit*, IMU). Para ello, en base a su bajo costo y alta disponibilidad, optamos por la IMU de seis grados de libertad MPU6050 [6] compuesta de un giróscopo y un acelerómetro, ambos de tres ejes. Desafortunadamente, la medición de la posición angular empleando una IMU no es factible en forma directa y es preciso acondicionar su salida para obtener una correcta estimación de los parámetros de interés. Por lo tanto vamos a analizar el comportamiento de cada uno de sus componentes

### 4.1. Giróscopo

Un giróscopo es un elemento capaz de medir la tasa de cambio de la posición angular en un intervalo de tiempo, dicho de otro modo la velocidad angular  $\dot{\theta}_k$ . Por lo tanto, es posible obtener la posición angular en cada instante de tiempo  $\theta_k$  a partir de la integración de la velocidad angular a reducidos períodos de muestreo. Esto es,

$$\theta_k = \sum_{i=0}^k \dot{\theta}_i \Delta t \quad (4)$$

de forma recursiva,  $\theta_k = \theta_{k-1} + \dot{\theta}_k \Delta t$ .

Es importante notar, que debido a la acumulación de errores en el tiempo, dicha implementación es susceptible a derivas. Como consecuencia, a menor período de muestreo menor será la deriva.

### 4.2. Acelerómetro

Un acelerómetro, es un dispositivo capaz de medir la fuerza empleada para acelerar una masa de prueba, previamente calibrada. De este modo, dicha información puede usarse para obtener la posición angular del sensor en relación a la superficie de la tierra, suponiendo una baja aceleración dinámica lineal.

Por lo tanto, la posición angular se obtiene en base a las proyecciones de las componentes gravitacionales [7, 8]. Esto es,

$$\zeta = \arctan \left( \frac{x_a}{\sqrt{y_a^2 + z_a^2}} \right), \quad \beta = \arctan \left( \frac{y_a}{\sqrt{x_a^2 + z_a^2}} \right) \quad (5)$$

donde  $x_a$ ,  $y_a$  y  $z_a$  son las mediciones del acelerómetro. Además, las proyecciones  $\zeta$  y  $\beta$  son el ángulo de cabeceo y balanceo, respectivamente, ambos en radianes. Los cuales constituyen la medición angular entregada por el acelerómetro  $\theta_{acel} = \{\zeta, \beta\}$ . Gráficamente, vemos en la Fig. 3 la variación angular experimentada en el acelerómetro. Donde en Fig. 3a se observa el balanceo y en la Fig. 3b se muestra el cabeceo.

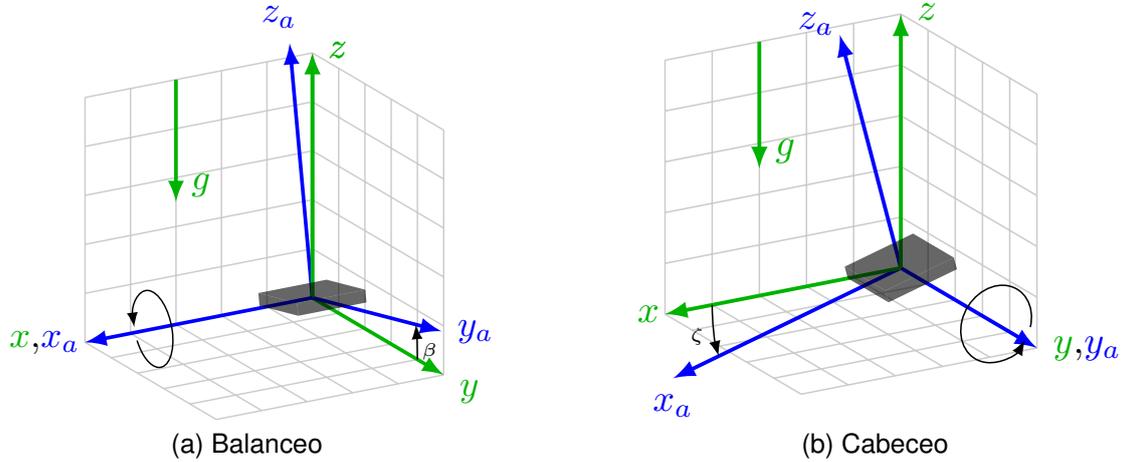


Figura 3: Variación angular.

#### 4.3. Modelo de medición inercial

Para evaluar la validez del filtro de Kalman, se implementó un sistema de medición inercial en base al modelo de tiempo discreto (1) cuyos estados y matrices son:

$$x = \begin{bmatrix} \zeta \\ \beta \\ \dot{\zeta} \\ \dot{\beta} \end{bmatrix}, \quad A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \Delta t & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \Delta t \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} \Delta t & 0 \\ 0 & \Delta t \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

donde  $\Delta t = 0,05$  s y las matrices de covarianza, obtenidas en base al análisis estadístico de mediciones estacionarias y a la observación del comportamiento del filtro, son:

$$Q = 1 \times 10^{-6} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad R = 1 \times 10^{-5} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

## 5. Resultados

A partir de las matrices (6) y (7) que conforman el modelo (1) se ensayaron las técnicas de fusión de sensores en el sistema de medición inercial frente a distintas perturbaciones durante 30 s, sus resultados se muestran en la Fig. 4.

Así, luego de aproximadamente 2 s de iniciar la corrida se imprimió sobre la IMU un cabeceo, en ambos sentidos, de duración 11 s, que se observa con claridad en la Fig. 4b. Inmediatamente se realizó un balanceo, también en ambos sentidos, hasta los 22 s, como se muestra en la Fig. 4a. Por último, se realizó una leve vibración y a los 25 s se la dejó reposar.

Los resultados del ensayo, frente a una baja aceleración dinámica, muestran como la deriva afecta al giróscopo mientras que las mediciones del acelerómetro prácticamente coinciden con las estimaciones. Además, se observa que en presencia de una mayor aceleración sobre la IMU, las estimaciones se aproximan a las mediciones del giróscopo, y en consecuencia, se aprecia una elevada sensibilidad del acelerómetro frente a las vibraciones.

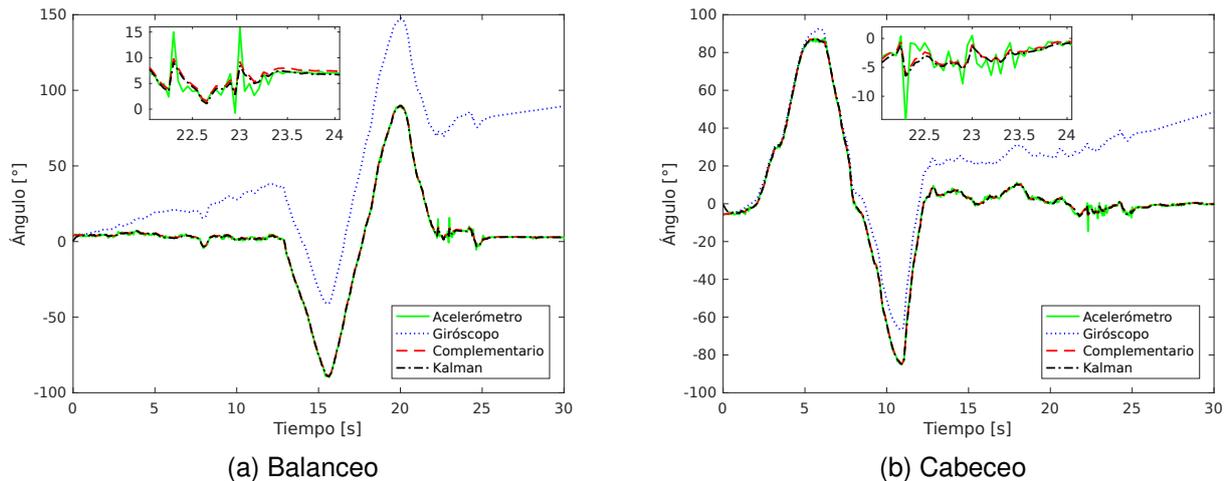


Figura 4: Resultados.

## 6. Conclusión

En base al análisis, implementación y evaluación de las técnicas de fusión de sensores presentadas, vemos que sus desempeños son por demás satisfactorios. Esto es, tanto el filtro de Kalman como el filtro complementario son capaces de lograr una estimación correcta de la posición angular a partir de la fusión de los sensores disponibles.

Por otro lado, la complejidad inherente a la comprensión e implementación del algoritmo del filtro de Kalman, frente a la simplicidad del filtro complementario hace que, en aplicaciones donde los recursos de procesamiento disponibles sean reducidos, resulte recomendable la utilización de este último.

Como consecuencia, pese a todas las bondades matemáticas y estadísticas que posee el filtro de Kalman, resulta considerablemente más razonable y viable la utilización del filtro complementario en el dispositivo de estabilización y captura de imágenes aéreas que nos permita la evaluación cuantitativa de superficies sembradas, inundadas o sin explotar.

## Referencias

- [1] R. E. Kalman, A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems, *Journal of Fluids Engineering* 82 (1960) 35–45.
- [2] R. Faragher, Understanding the basis of the kalman filter via a simple and intuitive derivation [lecture notes], *IEEE Signal Processing Magazine* 29 (2012) 128–132.
- [3] R. G. Brown, P. Y. C. Hwang, *Introduction to Random Signals and Applied Kalman Filtering With MATLAB Exercises*, John Wiley & Sons, Inc, 4 edition, 2012.
- [4] E. Malinen, *Fusion of data from quadcopter's inertial measurement unit using complementary filter*, 2015.
- [5] S. Colton, *The balance filter: a simple solution for integrating accelerometer and gyroscope measurements for a balancing platform*, white paper, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA (2007).
- [6] InvenSense, *MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification - Revision 3.4*, Technical Report, 2013.
- [7] J. Diebel, *Representing attitude: Euler angles, unit quaternions, and rotation vectors* (2006).
- [8] STMicroelectronics, *AN4509 - Tilt measurement using a low-g 3-axis accelerometer*, Technical Report, 2014.

## **IMPLEMENTACIÓN DE MOVILIDAD SOSTENIBLE EN VEHÍCULOS DE LA MUNICIPALIDAD DE SANTA FE**

Sebastian Romero, Facundo Bernal, Mauro Visentini y Walter Gimenez  
Cátedra de Generación, Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica.  
Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Santa Fe  
Email: [wgimenez@frsf.utn.edu.ar](mailto:wgimenez@frsf.utn.edu.ar)

### **Resumen**

En los últimos años, ha habido una fuerte concientización en la sociedad sobre el calentamiento global debido al efecto invernadero y uno de los responsables de estas emisiones de CO<sub>2</sub> es el transporte. La Municipalidad de la Ciudad de Santa Fe (MCSF) se encuentra estudiando distintas alternativas posibles de implementar a corto plazo para incorporar vehículos eléctricos a su propia flota de movilidades o en los servicios concesionados.

Se caracterizan las prestaciones y necesidades actuales de la MCSF, se identifican y estudian posibles soluciones de vehículos eléctricos. La red de abastecimiento de la empresa de energía se analizó para cuantificar su posibilidad de abastecer la futura demanda. Cómo se genera la electricidad, en base a que energía: combustibles fósiles o renovables; que nivel de emisión de CO<sub>2</sub> se tiene actualmente y cuanto se tendrá unificando las fuentes en una única fuente.

Así, la MCSF tiene varias opciones para implementar con distintos grados de eficiencia, costos de inversión, mantenimiento y también limitaciones en cuanto a normativas, abastecimiento y económicas. Esta comunicación resume el estudio realizado para la MCSF para la sustitución de las movilidades livianas (motocicletas y furgones) por otras de similares características manteniendo constante su cantidad, disponibilidad, kilómetros diarios recorridos y otras características menores como la gestión de uso.

Palabras Clave: Motocicletas eléctricas, optimización, energías renovables.

### **1. Introducción**

La Ciudad de Santa Fe (31°38'00" S; 60°42'00" O) es la octava ciudad más poblada de la Argentina con una población aproximada de más de 406000 habitantes sobre un área de 187 km<sup>2</sup> en un área metropolitana de casi 850000 habitantes sumadas ciudades en un radio de 50 km (Paraná, Esperanza, Recreo, Santo Tomé, Sauce Viejo, Rincón, etc.); tiene una altura promedio de 25 msnm y posee la menor densidad de población de la principales ciudades argentinas, 2171 hab/km<sup>2</sup>.

Situada a mitad de camino entre Buenos Aires y Asunción, en la margen derecha del río Paraná, fue de referencia durante años su puerto fluvial y a partir de éste, la urbanización del área siempre en sentido hacia el norte, por estar limitada por los ríos Salado al oeste y el valle del Paraná al éste; por consecuencia, el principal sentido de circulación de la población es hacia el sur a la mañana por cuestiones laborales y educacionales y hacia el norte por la tarde noche al regresar a sus domicilios generalmente.

### **2. Consumo energético de la Ciudad de Santa Fe**

La recolección de datos energéticos corresponde al año 2015 y fueron aportadas por la Empresa Provincial de la Energía, Litoral Gas, Secretaría de Energía de la Nación y Comisión Nacional Reguladora del Transporte en toneladas equivalentes de petróleo (TEP). A partir de los datos anteriores y afectándolos de las conversiones específicas correspondientes, fue posible conocer la composición del consumo de la ciudad.

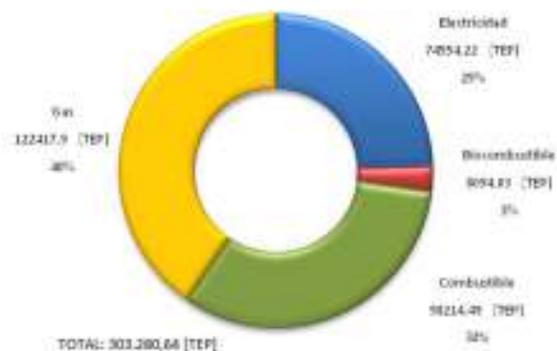


Fig 1: Composición energética del consumo de la Ciudad de Santa Fe (2015).

El principal producto energético consumido es el gas (Natural y envasado) principalmente por su bajo costo y debido a una gran expansión de la red durante los últimos años. Por otra parte, el elevado costo del barril de petróleo que se traslada a los combustibles líquidos, mejora la ecuación de los cada vez más, usuarios de gas natural comprimido (GNC) en el transporte [1].

También es posible discriminar según el tipo de sector. En la figura siguiente se representa el consumo del público en general (24 autos por c/100 hab. y 17 motos c/100 hab.), del transporte público de pasajeros (240 unidades en total y una tasa de utilización del 13,8% promedio), el transporte de carga y el agro (vale mencionar que, generalmente los camiones no se abastecen dentro de la ciudad) y por último, un sector de reventa de combustible que alcanza el 6% del total.

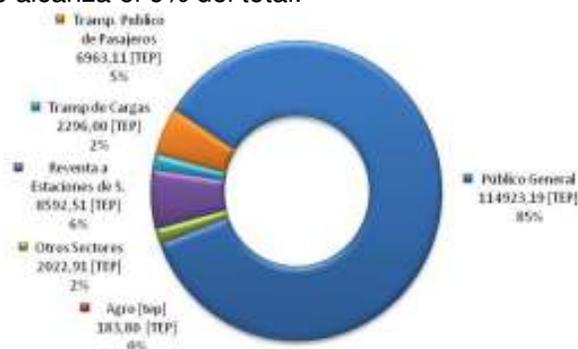


Fig 2: Composición por sector del consumo de la Ciudad de Santa Fe (2015)

Realizando las equivalencias correspondientes es posible ver la emisión de CO<sub>2</sub> de la Ciudad en función de la fuente energética utilizada; donde se distribuye el volumen total de más de un millón de toneladas de CO<sub>2</sub> en más de 400.000 habitantes dando un promedio de 2,53 toneladas de CO<sub>2</sub> por santafecino al año respecto de los más de 4 de promedio nacional. Por otro lado, si se reconoce que un 65% de la generación de electricidad proviene de fuentes fósiles (CNEA 2017) y solo un 2% de fuentes renovables, es posible cuantificar el grado de insostenibilidad energética del modelo de producción de energía argentino [2,3,4].

### 3. Flota vehicular de la MCSF

El Municipio cuenta con diferentes tipos de movibilidades convencionales en su flota: motos, autos, furgones, camiones, tractores, máquinas viales, etc.; distribuidas en distintos sectores y edificios. Por cuestiones económicas y políticas, se decidió comenzar estudiando el reemplazo de motocicletas de la Brigada Motorizada de Tránsito responsables del control vehicular las 24 horas los 7 días a la semana.

La flota de motos consta de 15 unidades en condiciones más 6 en reparación que cubren sus tareas en tres turnos de lunes a viernes: matutino de 7:00 a 15:00 hr donde salen normalmente 7 unidades; intermedio de 12:30 a 18:30 hr con cuatro motos y nocturno de 17:00 a 22:45 hr. A su vez, existen dos turnos diferenciales: el uno (con 5 unidades) del viernes de 21:00 a 9:00 hr del sábado más el sábado de

21:00 a 9:00 del domingo y el diferencial dos (cuatro unidades) formado por el sábado y domingo de 9:00 a 21:00 hr ambos días. En cuanto a marcas, poseen gran diversidad y la cilindrada generalmente es hasta los 200 cm<sup>3</sup> predominando las 125 cm<sup>3</sup>.

#### 4. Hipótesis de reemplazo

Para el estudio, se tomó como premisa fundamental que, como mínimo, las nuevas unidades deben ser capaces de satisfacer las necesidades actuales de toda la flota, por lo tanto se analizó el comportamiento de ésta para determinar las condiciones mínimas a cumplir por las nuevas unidades. Así, se calcularon los kilómetros recorridos promedios (40 km aprox.) por unidad, el consumo medio de combustible para tener el rendimiento por unidad de 27,5 km/l; finalmente para un consumo total de 610 l al mes a un precio de 1,30 u\$s el litro de combustible súper se alcanza un costo total de combustible de la Brigada Motorizada de unos 800 u\$s/mes.

El ítem más importante en cuanto al funcionamiento de las motocicletas es lo referente al costo de mantenimiento principalmente por el maltrato que sufren éstos vehículos al ser de utilización azarosa entre los empleados municipales por una parte y, por la otra, la falta de un programa de seguimiento o de mantenimiento predictivo de las unidades lo que reduce su mantención a la reparación correctiva de los ítems indicados por los conductores en caso de realizarlos. Finalmente, dentro del estudio, también se incluyó la amortización de la unidad con un índice del 100% para 10000 hr de funcionamiento en cinco años y despreciando el valor residual del 30% aprox.

Realizando el mismo procedimiento de cálculo de gastos de combustible, amortización y mantenimiento para los cinco furgones, que son utilizados de forma similar, es posible confeccionar la tabla resumen siguiente con todos los datos resultantes.

	Motos	Furgones
Cantidad de Unidades	46	5
Consumo Promedio [Km/Litro]	27,54	12,16
Recorrido por Turno por Unidad [Km]	40	40
Consumo de Combustible [Litros/Mes]	610,4	328,95
Consumo de Combustible [TEP/Mes]	0,412	0,222
Costo por Combustible [US\$/Mes]	743,1	400,46
Costo por Mantenimiento [US\$/Mes]	1131,43	640,99
Costo Total [US\$/Mes]	1874,53	1041,45
Costo Total por Unidad [US\$/Mes*Unidad]	40,75	208,29
Total de Emisiones por Mes [Ton CO2/Mes]	1,141	0,62
Total de Emisiones por Unidad [Ton CO2/Mes*Unid]	0,025	0,123

Fig 3: Resumen de costos según tipo de movilidad.

#### 5. Modelos disponibles y recarga

No es el objetivo de esta comunicación versar sobre las distintas posibilidades ya que sería interminable la comparación: desde motocicletas eléctricas deportivas que alcanzan 250 km/h y los u\$s 15000 hasta ciudadanas que circulan a 50 km/h y cuestan u\$s 1000. Tomando un rango medio, la razón indicaría una motocicleta eléctrica que satisfaga las necesidades prescriptas anteriormente y a modo comparativo simplemente se escoge una de 25 kW que alcanza los 120 km/h, capaz de transportar a dos personas con una autonomía razonable de 70 km para un tiempo de recarga en 220 V de dos horas y media; con un precio indicativo de u\$s 8500.

Para los furgones, la selección recayó en uno de ensamble nacional de 3,5 m<sup>3</sup> de volumen de carga ó 650 kg y capaz de transportar hasta 5 personas durante 130 km a un costo por unidad de u\$s 28000 sin reducción arancelaria. Respecto de la recarga, posee un sistema de recarga semirápida (380 V y 32 A) demora entre 6 y 7 horas en alcanzar una carga completa.

Un punto muy importante aquí, es la gestión de la recarga de energía de todas las unidades: siempre al menor costo posible, combinando los espacios para su óptima utilización y reduciendo al mínimo la

cantidad de puntos de carga. Para esto se determinó que la recarga del parque de motocicletas se realice en horario valle de la tarifa eléctrica (23 a 5 horas), en grupos de a 8 como máximo o mínimo de 5 dependiendo del día de la semana y se van intercambiando para asegurar una demanda lo más pareja y distribuida posible; alcanzando una potencia máxima simultánea de 35 kW y una demanda de energía de 870 kWh.

De la misma forma, la potencia necesaria para recargar los cinco furgones asciende a 50 kW y una demanda de energía de 205 kWh semanales que se suman a los de las motocicletas alcanzando una potencia de 85 kW y una demanda total mensual de 4,3 MWh/mes.

## 6. Abastecimiento de la demanda

Los valores de potencia y energía necesarios para abastecer las motos y furgones categorizan a la demanda como Gran Usuario Menor (GUME); esto permite la contratación directamente con un generador en el Mercado Eléctrico Mayorista reconocido por el ENRE o bien a través de su distribuidor local de energía. Para esto, seguidamente se muestran los resultados de costos según el tipo de tecnología de generación disponible.

### 6.1. Generación

Los costos asociados a la generación se calcularon de acuerdo a la Resolución SEE 19-E/2017 donde se efectúan los procedimientos y adecuaciones para la remuneración de los Agentes Generadores del MEM. La remuneración, tanto para centrales térmicas con turbinas de gas (TG) como las de vapor (TV) y ciclo combinado (CC) confluyeron en un mismo resultado distinguiéndose un precio más elevado cuando se utiliza gas oil (GO) en vez de gas natural (GN) (541 u\$s/mes respecto de 554 u\$s/mes). De la misma forma se han analizado distintas alternativas de generación cuyos resultados se muestran seguidamente.

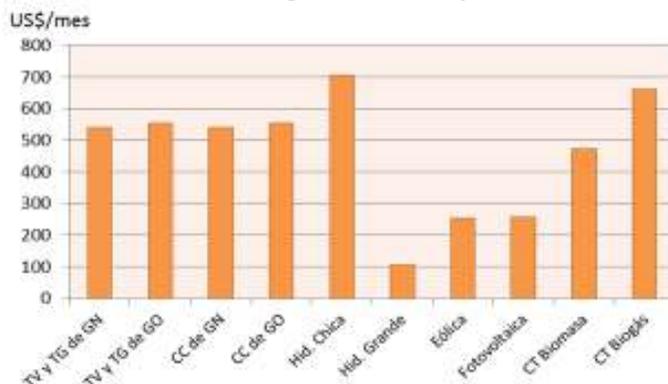


Fig 4: Costos de generación según su tipo.

### 6.2. Transmisión y distribución.

Al costo anterior de generación recientemente calculado para cada central, es necesario sumarle el costo de transmisión y distribución hasta el punto de consumo. Para determinar estos costos, fue necesario definir primero la ubicación de las centrales y esto se realizó en función de los proyectos adjudicados en el plan Renovar 1 (Eólicas 12 centrales, solar 4, biogás 6, biomasa 2 y pequeños aprovechamientos hidráulicos 5).

Muy reducidamente explicado, luego se calculó el ingreso de los transportistas que está compuesto por un cargo variable que es producto de las pérdidas que se producen en el sistema, un cargo complementario que depende del cargo fijo por capacidad de transporte más otro cargo fijo con conexión y transformación.

Para finalizar, a través de la Tarifa 6 de la Empresa Provincial de la Energía, que representa el cuadro tarifario de peaje por servicio de distribución para Grandes Usuarios, se calculó lo que debería abonarse a

la EPESF por el uso de sus líneas para transportar el bloque de energía desde el punto de conexión en 132 kV con Transener, hasta el corralón de la Municipalidad, con un suministro en baja tensión arrojando el siguiente cuadro explicativo.

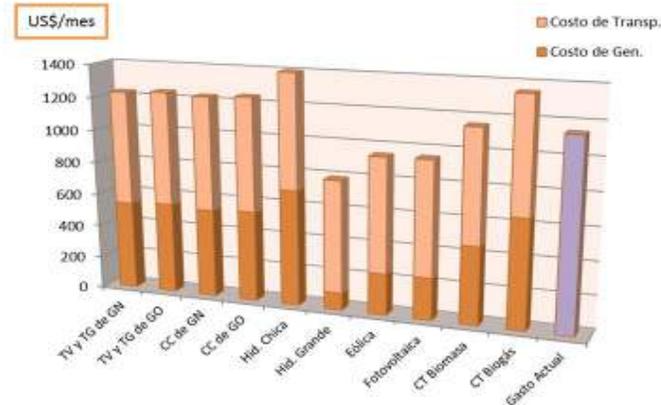


Fig 5: Costos de generación más transmisión más distribución según su tipo.

El régimen tarifario de la EPESF para la demanda de las motocicletas más furgones (85 kW), da distintas posibilidades de conexión con sus costos respectivos:

- Conexión en cualquier punto de la red en baja tensión (Tarifa 2 BT)(\$ 877)
- Conexión en media tensión hasta 13,2 kV (Tarifa 2M13) o hasta 33 kV (Tarifa 2M33)(\$ 868)
- Conexión en bornes de salida del transformador AT/MT (Tarifa 2AMT)(\$ 842)

### 6.3. Generación propia

Como parte del estudio, se analizó la posibilidad de incorporar generación propia para cubrir al menos parte de la demanda y, en éste sentido, se identificó al techo del garaje de la Municipalidad como conveniente para la instalación de paneles solares ya que posee una superficie totalmente despejada, levemente inclinada de más de 2000 m<sup>2</sup>. De esta forma, con los datos extraídos de la NASA, se dio comienzo al análisis de la propuesta de generación propia.

La condición necesaria a satisfacer para el generador es que la energía producida sea como mínimo, en las peores condiciones, la necesaria para abastecer la demanda máxima promedio. En otras palabras, la energía producida por todos los paneles en el mes de menor irradiación solar (2,54 kWh/m<sup>2</sup>/día en junio) y de menor cantidad de horas de sol (10,2 hs en junio) sea como mínimo 35200 W equivalentes a 16 motos en recarga de forma simultánea.

Calculando, la generación posible para otras condiciones, se obtiene la energía excedente que el sistema es capaz de entregar a la red o almacenar o bien utilizar, por ejemplo, para iluminar oficinas.

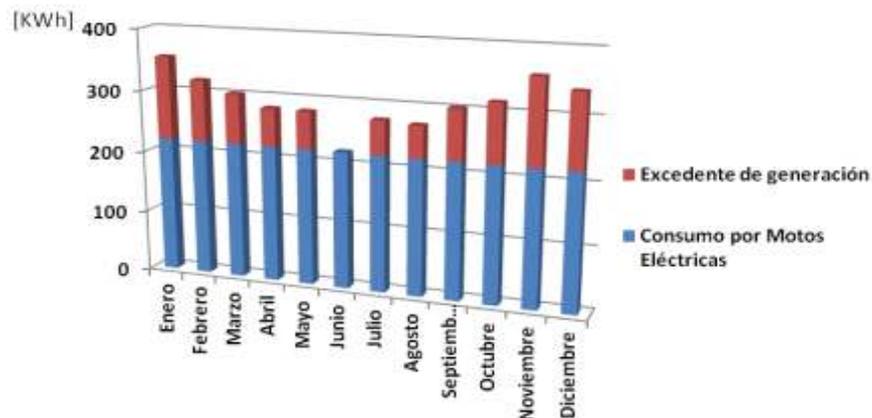


Fig 6: Consumo y excedente de generación.

Ya entrando en la parte económica, luego de diseñar todo el sistema captación, conversión y de almacenamiento que no se muestran en esta comunicación, es posible resumir en la tabla siguiente los costos estimados de la futura instalación, sin la adquisición de los vehículos eléctricos, para ahorrar los u\$s 1874 al mes que cuestan las motocicletas solamente. De la misma forma, se realizó para los furgones.

Rubro	Precio Unitario [US\$]	Cantidad	Costo [US\$]
Paneles	350	856	299600
Baterías	255	48	12240
Reguladores	230	31	7130
Inversores	2700	12	32400
Estructuras	120	214	25680
Gastos Adicionales	-	1	94262,5
<b>Costo Total [US\$]</b>			<b>471.312,5</b>

Fig 7: Consumo y excedente de generación.

## 7. Conclusiones

Desafortunadamente, aún no existe una modificación de la Ley Nacional de Tránsito que permita la inscripción de movildades eléctricas e imposibilita su registro y aseguramiento. De todas formas, está en el Congreso Nacional el Proyecto de Ley de Vehículos Eléctricos y Alternativos. Existe una infinidad de alternativas posibles a la hora de buscar un reemplazo de los motores a combustión interna tanto en motocicletas como furgones. Elegir uno u otro significa directamente dejar de lado años de desarrollo en vehículos alternativos.

Por otra parte, el simple reemplazo del vehículo significa trasladar la generación de gases de un lugar ciudadano propio a otro lugar, tal vez, muy próximo a otras comunidades; es decir, también es imperativo incorporar fuentes renovables de energía y modificar la matriz de generación para que se reduzcan efectivamente las emisiones de gases aunque, si bien es cierto, el control y el rendimiento que se tiene en un gran generador es mucho mayor que infinitos focos de generación de gases en cada vehículo circulando.

Del análisis económico, es posible observar la dificultad de la implementación efectiva del reemplazo de vehículos convencionales por eléctricos si no se avanza fuertemente en la promoción de este tipo de tecnología a través de medidas gubernamentales de exención impositiva, impuesto al valor agregado y demás por citar sólo dos. Luego el mercado, escogerá la tecnología, marca y modelo que más satisfaga al usuario final pero siempre deberá ser la autoridad gubernamental quien dé el primer paso.

## Referencias

- [1] Pablo Bertinat y Juan Salerno, 2006, Un Modelo Energético en Apuros – Alternativas para la Sustentabilidad Energética en Argentina, Programa Argentina Sustentable y Taller Ecologista, Rosario, Santa Fe, Argentina
- [2] Daniela González y Sebastián Romero: Estudio Preliminar del Balance Energético de la Ciudad de Santa Fe”, Jornada de Jóvenes Investigadores Tecnológicos JIT 2015 UTN Facultad Regional Venado Tuerto, 3 de Noviembre de 2015.
- [3] Banco Interamericano de Desarrollo: Base de datos de energía: <http://www.iadb.org/es/temas/energia/base-de-datos-de-energia/>.
- [4] [http://www.energia.gob.ar/contenidos/archivos/Reorganizacion/informacion\\_del\\_mercado/publicaciones/mercado\\_electrico/factor\\_de\\_emision\\_2007.pdf](http://www.energia.gob.ar/contenidos/archivos/Reorganizacion/informacion_del_mercado/publicaciones/mercado_electrico/factor_de_emision_2007.pdf): Cálculo del Factor de Emisiones de CO2 de la Red Argentina de Energía Eléctrica

## **ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE DISPOSITIVOS TRASEROS DE PROTECCIÓN (PARAGOLPES) DE SEMIRREMOLQUES, FABRICADOS EN ALEACION DE ALUMINIO**

Facundo P. Inzeo<sup>1</sup>, Bruno E. García<sup>1</sup>, Cristian P. Domínguez (tutor)<sup>1</sup>, Neoren G. Franco (tutor)<sup>1</sup>, Patricio G. Arrien<sup>2</sup>, Walter F. Giordano (director)<sup>1-2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Mecánica, Facultad Regional San Nicolás, Universidad Tecnológica Nacional. Dirección: Colón 332, San Nicolás de los Arroyos, Buenos Aires, Argentina

<sup>2</sup> Tanques Fangio S.A. Ruta 32, Km. 2,2; Pergamino, Buenos Aires, Argentina.

### **Resumen**

El presente trabajo se centra en el estudio del comportamiento estructural de los dispositivos traseros de protección (paragolpes) de los tanques semirremolques pertenecientes a la categoría O4, diseñados por la empresa Tanques Fangio S.A. de la ciudad de Pergamino, con la cual, la UTN Facultad Regional San Nicolás presenta un convenio de cooperación mutua.

Este estudio es logrado mediante la utilización de las herramientas de software CAD/CAE y la aplicación de los requerimientos y métodos de ensayo de elementos de protección de vehículos, establecidos en la norma IRAM/AITA 10260:2015.

El objetivo del estudio radica fundamentalmente en la verificación de los requerimientos establecidos por la normativa citada y en propuestas de eventuales modificaciones.

Inicialmente se procedió a la interpretación de la normativa vigente, su aplicación en el diseño y la modelización 3D del mismo; luego se realizó la discretización (mallado) y aplicación de las condiciones de borde en los modelos; posteriormente mediante el análisis de elementos finitos (FEM), se obtuvieron los valores máximos de tensiones y deformaciones en los distintos modelos estáticos estudiados, registrándose los resultados y conclusiones más relevantes.

### **Conclusión**

Con el trabajo presentado se han podido establecer parámetros de diseño adecuados asociados al modelo propuesto de dispositivo de protección trasera de vehículos por la empresa Fangio S.A; concretamente, se determinó que existían deficiencias en los valores del espesor del paragolpes y los radios de curvatura en zonas de concentración de tensiones. Posteriormente, basándose en el análisis previo, se modificaron y mejoraron estos parámetros, verificándose así un diseño satisfactorio de acuerdo a la norma citada.

### **Palabras Claves:**

IRAM/AITA 10260, Aleación 6061, Semirremolques, CAD-CAE, FEM

## Introducción

El diseño de vehículos de transporte, compleja actividad de carácter interdisciplinaria que exige formación y perfeccionamiento continuo para garantizar la competitividad de los modelos propuestos, presenta un subsistema sumamente crítico que atañe una gran responsabilidad del profesional a cargo: el conjunto de elementos y dispositivos de protección y seguridad del vehículo, categoría dentro de la cual se ubica el tópico del presente trabajo, el cual corresponde al dispositivo trasero de protección o, de un modo más informal, paragolpes del vehículo.

Uno de los desafíos de la empresa Fangio S.A. constituye la maximización de la relación funcionalidad/costo en sus componentes. Al respecto, el diseño y/o verificación de paragolpes para tanques semirremolques, si bien representa una tarea de menor envergadura que la asociada al diseño y/o verificación de otras partes o componentes más complejos, se incluye en el desafío planteado; al respecto, la finalidad radica en minimizar los costos asociados al material y su mecanizado/tratamiento logrando la funcionalidad necesitada (esto es, la reducción de daños ante colisiones al absorber, con su deformación plástica, parte de la energía cinética del vehículo y, con la restauración de su deformación elástica, tender a separar los vehículos implicados).

Partiendo de una base segura para el diseño del mismo, las empresas argentinas recurren a la norma IRAM/AITA 10260:2015, la cual define, en sus seis secciones, los requisitos y métodos de ensayo para dispositivos de protección trasera de vehículos de las categorías N2, N3, O3 Y O4 (de acuerdo a la Ley Nacional de Tránsito y Seguridad Vial N° 24.449). Se contó, además, como bibliografía general, con otras publicaciones asociadas. [1][2][3][4]

La estructura del presente desarrollo involucra una sección inicial en la cual se detalla lo establecido por la normativa citada, para comprender las decisiones del diseño y fundamentar cuestiones pertinentes. De esta forma, se detallará a continuación, lo relativo al diseño del paragolpes en el software CAD elegido (SolidWorks 2016) [5], añadiendo una sección propia a las consideraciones sobre el mallado. Posteriormente, se comenzará con el análisis de dicho diseño; este involucra las siguientes partes:

1. Definición de condiciones geométricas más desfavorables según análisis estático lineal
2. Análisis estático no lineal del diseño asociado a la condición más desfavorable

Seguidamente a esto, basándonos en los resultados obtenidos, se darán propuestas de modificaciones al diseño para dar cumplimiento con la normativa, de acuerdo a conocimientos teóricos de resistencia de materiales [6]. Finalmente, se darán las conclusiones generales del trabajo, agradecimientos y referencias pertinentes.

## Requisitos y procedimientos normativos

Tal como se aseveró, lo referido a los requisitos del paragolpes y el procedimiento de ensayo del mismo se detalla en la norma explicitada; se nombrarán, a continuación, aquellas consideraciones específicamente relevantes. Las decisiones subsecuentes del modelo, con el enfoque general de analizarlo a la condición más crítica posible, se detallarán en la siguiente sección. La norma define tres clases de requisitos: generales, dimensionales y de resistencia.

En cuanto a sus medidas, citando a la norma, se establece una altura  $H$  del paragolpes mayor que 120 mm para las categorías N3, O3 y O4, con un ancho mayor o igual a 60 mm; los extremos laterales del dispositivo deben estar redondeados con un radio mayor o igual a 2,5 mm (figura 1). Su largo debe ser menor o igual al ancho de la carrocería o de la superestructura (en caso de ser menor, hasta 100 mm desde cada extremo).

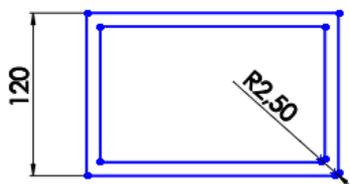


Fig. 1: Requerimientos geométricos de la sección transversal del paragolpes

Relativo a su resistencia, la norma establece que el paragolpes debe estar constituido por un material de resistencia a la tracción igual o mayor que 370 MPa y soportar las cargas que se establecen en la siguiente tabla:

Tabla 1: Fuerzas aplicadas y secuencia en función de la masa del vehículo

Masa total del vehículo (Kg)	Fuerzas aplicadas en P3 (N)	Fuerzas aplicadas en P2 (N)	Fuerzas aplicadas en P1 (N)	Secuencia de aplicación de las fuerzas
5000 – 7500	50000	75000	50000	P1, P3 y P2
7500 – 10000	60000	90000	60000	P1, P3 y P2
10000 – 24000	80000	120000	80000	P1, P3 y P2
>24000	100000	150000	100000	P1, P3 y P2

La deformación permanente máxima debe ser menor o igual a 200 mm en cualquiera de los puntos de aplicación de la carga. No debe verificarse, asimismo, la rotura del dispositivo.

Enfocándose en el método de ensayo, la normativa establece que las cargas deben aplicarse con cilindros con articulación, en forma paralela al eje medio longitudinal del vehículo, a través de una superficie de contacto menor o igual a 250 mm de alto por 200 mm de ancho, con un radio de curvatura de  $5\pm 1$  mm; el centro de cada superficie debe ubicarse en los puntos P1, P2 y P3 indicados en la figura 3, sobre la línea central en altura y según los siguientes requisitos:

- Los puntos P1 se deben ubicar a una distancia de  $300\pm 25$  mm de los extremos laterales de la carrocería
- Los puntos P2 se deben ubicar a una distancia, entre sí, de 700 mm a 1000 mm y simétricos respecto a un plano longitudinal de simetría del vehículo; coinciden, sobre una vertical, con el eje medio de los parantes del paragolpes
- El punto P3 debe ubicarse al centro de la línea central en altura

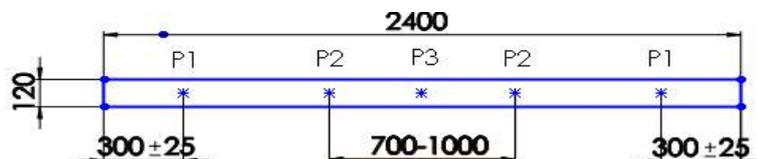


Fig. 2: Ubicación de los centros de las áreas de aplicación de las cargas

### Diseño geométrico del modelo

Nombrados los requisitos normativos relevantes, se procedió a definir y a modelizar las distintas partes de la estructura del dispositivo de protección, y a ensamblarlas según las restricciones adecuadas a la práctica. Básicamente, la estructura consta del paragolpes propiamente dicho (barra hueca de sección rectangular), dos parantes o bases de paragolpes y dos bases de apoyo o escuadras



Fig. 3: Paragolpes (izquierda), parante (medio) y escuadra (derecha)

Relativo a sus medidas, se considera un ancho de la carrocería, y del paragolpes, de 2,4 m (basándonos en los modelos de la empresa Fangio S.A.) y, con respecto a la sección transversal, se considera una altura de 120 mm y un ancho de 210 mm y radios de redondeo externos de 10 mm e internos de 5 mm. Se propone, inicialmente, un espesor de 12 mm sobre los lados laterales.

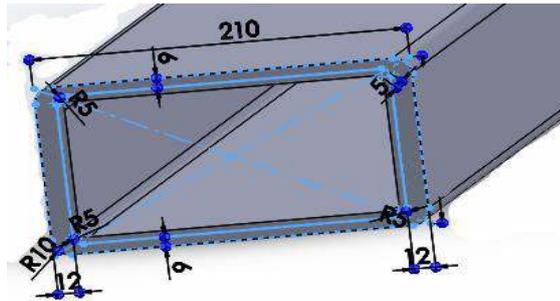


Fig. 4: Dimensiones propuestas de la sección transversal del paragolpes

Al respecto del material, se propone, en primera instancia, la utilización de aluminio 7075-T6 (Zical), con una resistencia a la tracción de entre 510 a 538 MPa; debe destacarse que, dado el requerimiento de la empresa asociada al trabajo de disponer de un material más accesible, se propondrá posteriormente la utilización de aluminio 6061 (con resistencia a la tracción en torno a 240 MPa). En lo que respecta a las cargas de aplicación, se consideran las asociadas al mayor peso del vehículo.

En lo relativo a los puntos de aplicación, se proponen las siguientes variables, a los efectos de encontrar, en la primera sección del análisis, una vez evaluadas todas las alternativas, la condición geométrica más desfavorable:

1. Distancia entre ejes centrales de parantes (V1): 700 mm o 1000 mm (figura 5)
2. Distancia entre P3 y extremo lateral del paragolpes (V2): 225 mm o 275 mm (figura 5)

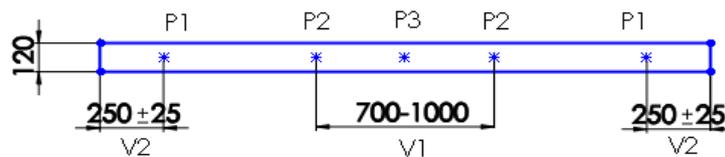


Fig. 5: Variables de diseño para la determinación de condición más desfavorable

Con respecto al punto 2 anterior, si bien la norma establece  $300 \pm 25$  mm desde el extremo de la carrocería, dado que los modelos de la empresa Fangio S.A. involucran una distancia de 50 mm entre dicho extremo y el lateral de los paragolpes, los valores ahora deben ser de  $250 \pm 25$  mm. De esta forma, de acuerdo a lo planteado, quedan definidas cuatro condiciones entre las que, en la primera parte del análisis, se determinará la más crítica, para luego proseguir con el mismo.

En referencia al área de aplicación de la carga, no se establece un valor mínimo de la misma, ni su forma; esto trae inconvenientes al objetivo de fijar la condición más desfavorable. Como primera instancia, se considera arbitrariamente un área rectangular de  $50 \times 50$  mm; sin embargo, con el objetivo de coincidir con ensayos prácticos futuros, se propone luego de las modificaciones que se plantearán en secciones posteriores, un área de  $100 \times 100$  mm.

De esta forma, con los datos señalados anteriormente, se procedió a modelar y a ensamblar el modelo 3D; se establecieron las condiciones de fijación (empotramiento en la parte superior) y la unión de las partes (unión rígida). Con respecto al mallado (discretización), se considera en la primera parte del análisis (ver estructura del trabajo en página 2), un mallado de carácter grueso, basado en curvatura, con elementos de lado mayor de 5mm y lado menor de 0,25 mm, sin control de malla.

Debe tenerse en cuenta que, debido a la necesidad de considerar la condición más desfavorable y afrontando las limitaciones del software CAD utilizado, las cargas se aplican separadamente, sin mantener la deformación plástica provocada por la carga previa. Se considera, al respecto, la hipótesis de superposición de efectos, considerando que, aunque alejada de la realidad, nos permite inferir deformaciones más grandes que las reales (estableciendo, así, un análisis conservador).

Los resultados de la primera parte del análisis, asociados a la evaluación de las cuatro posibles configuraciones geométricas, para determinar la más desfavorable, centrándonos en las variables tensión de Von Mises máxima y desplazamiento máximo, son los siguientes:

Tabla 2: Parámetros fundamentales de comparación de los cuatro diseños planteados

Caso	V1	V2	T. Von Mises máx	Con carga aplicada	Despl. máximo	Zona despl. máx.
1	1000 mm	275 mm	1339 Mpa	P2	18,34 mm	Extremo lateral inferior
2	1000 mm	225 mm	1339 Mpa	P2	19,64 mm	Extremo lateral inferior
3	700 mm	275 mm	1335 Mpa	P2	22,54 mm	Extremo lateral inferior
4	700 mm	225 mm	1335 Mpa	P2	24,03 mm	Extremo lateral inferior

Se observa que la condición más desfavorable corresponde al cuarto caso. En consecuencia, y en función a este caso, se basa el análisis siguiente, asociado a la determinación del cumplimiento de la normativa. Debe destacarse que la tensión máxima se desarrolla debido a un efecto de concentración de tensiones en las zonas marcadas (se observan en la figura 6, asociada a un posterior análisis no lineal), mientras que, en la zona de aplicación de la carga, se verifica una tensión máxima con un valor promedio de 550 MPa aproximadamente, muy por encima del valor de resistencia a la tracción establecido por norma. Se verificará esto en un análisis no lineal.

En efecto, se efectuó un análisis en el período plástico sobre el diseño basado en la condición más desfavorable (cuarto caso), obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 3: Valores de los parámetros fundamentales del análisis no lineal

Tipo de análisis	No lineal
Tensión de Von Mises máxima	1320 MPa
Carga aplicada asociada a tensión máxima	P1
Desplazamiento máximo de punto de aplicación	20,52 mm (P3)

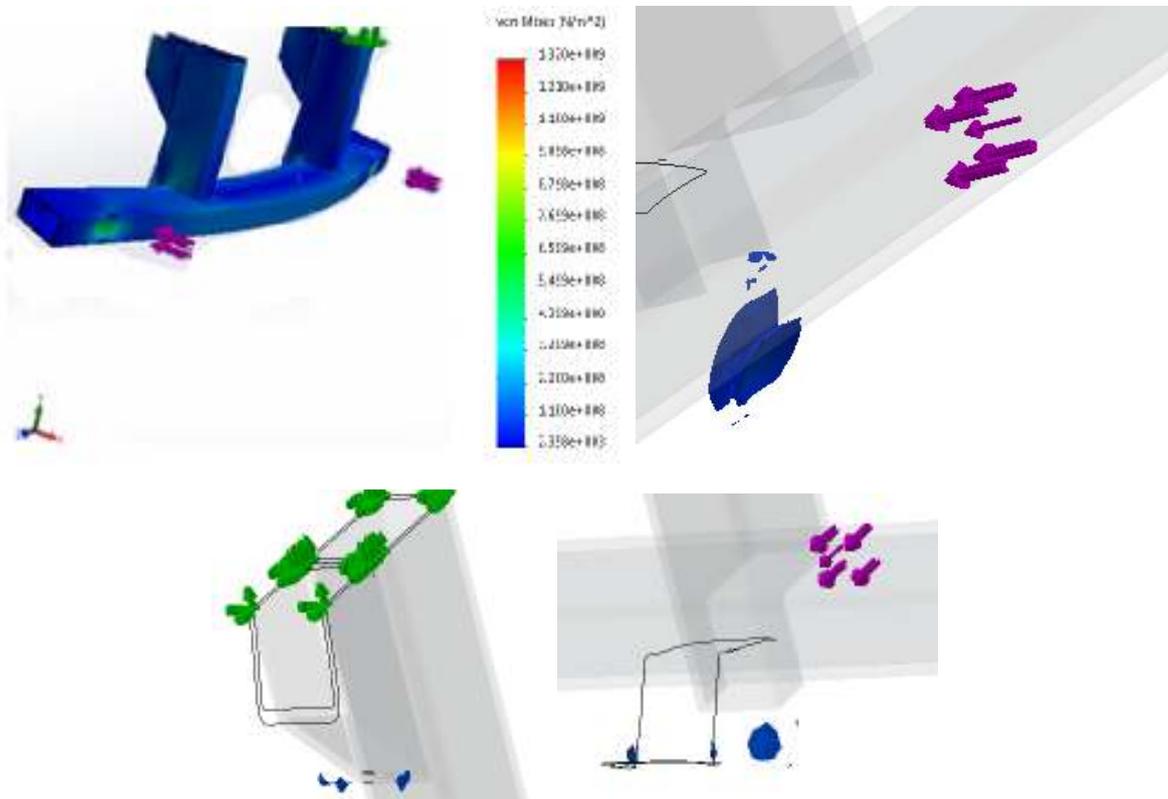


Fig. 6: Visualización del análisis no lineal correspondiente a las cargas P1 (superior izquierda) y zonas críticas 1 (superior derecha), 2 (inferior izquierda) y 3 (inferior derecha)

Se observa que los valores de tensión de Von Mises no son adecuados de acuerdo a lo establecido en la norma. La tensión de Von Mises máxima supera ampliamente el valor de 370 MPa establecido como mínimo, lo cual indica que se superaría ampliamente la tensión de rotura en el ensayo (casi 3,5 veces). Además, en la zona de aplicación de la carga, se verifican valores de 710 MPa. Por otra parte, se cumple con lo relativo al desplazamiento máximo permisible. En la figura 6, incluida previamente, puede observarse las zonas que verificarán rotura, categorizadas a continuación según su orden de importancia:

1. Zona 1: región de aplicación de las cargas; presenta valores en el orden de los 550 MPa para P1 y P3, y de 700 MPa para P2.
2. Zona 2: región de unión de parante y escuadra; presenta concentración de tensiones, con los máximos valores registrados (1320 MPa).
3. Zona 3: región de unión de paragolpes y parante; presenta concentración de tensiones, con valores máximos en el orden de 500 MPa.

Resulta evidente la rotura del dispositivo en las 3 zonas explicitadas. Ahora, a partir de diferentes y numerosos análisis comparativos en los cuales se variaron el espesor y los radios de curvatura, además de utilizarse el área de 100x100 mm propuesta previamente, se obtuvieron los siguientes resultados:

1. Espesor del paragolpes: se verifica una importante disminución de la tensión general en la zona de aplicación de la carga, llegando a valores seguros por debajo de 190 MPa para espesores de 16 mm. Se propone, entonces, dicho espesor.
2. Concentración de tensiones en zonas 2 y 3: se verifica una notable disminución en las tensiones desarrolladas, con valores por debajo de 370 MPa al incluirse radios de curvatura de 8 mm en ambas zonas. Posibilidad de utilización de Aluminio 6061.

## **Conclusiones**

El presente trabajo ha podido establecer valores satisfactorios de parámetros de diseño asociados al modelo propuesto de dispositivo de protección trasera de vehículos por la empresa Fangio S.A. Concretamente, con el objetivo de cumplir con lo establecido en la norma IRAM/AITA 10260:2015, mediante un análisis inicial de dichos parámetros se determinó que existían deficiencias en los valores correspondientes al espesor del paragolpes y a los radios de curvatura en zonas de concentración de tensiones. Basándose en dicho análisis, se realizaron modificaciones de diseño, verificándose una estructura satisfactoria de acuerdo a la norma citada.

## **Agradecimientos**

Se agradece la colaboración de la empresa Tanques Fangio S.A. de Pergamino (Buenos Aires), por los datos técnicos y modelos aportados; al Ing. Gerardo Franck del Aula FICH-CIMNE de Universidad Nacional Litoral de Santa Fe, por facilitar el uso de SolidWorks Simulation, quien cuenta con una licencia para su uso, y a la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad Tecnológica Nacional, por el soporte financiero al proyecto Código: TVUTNSN0004419 - Análisis de Fallas en Semirremolques Cisternas Construidos en Aleaciones de Aluminio.

## **Referencias**

- [1] Norma IRAM/AITA 10260:2015
- [2] Especificaciones DOT: 49 CFR – EEUU: Apartado 178.345, Apartado 178.346, Apartado 178.347, Apartado 178.348
- [3] BPVC Section XII – Rules for Construction and Continued Service of Transport Tanks
- [4] MERCOSUR/GMC/RES. N° 23/2002 - Reglamento Técnico Mercosur Sobre Paragolpe Trasero de los Vehículos de Carga
- [5] Manual SolidWorks Simulation Designer, Professional, 2009.
- [6] Bedford A.-Fowler, W., Mecánica para ingeniería. Estática, Pearson Education, 2008.

# RESINAS POLIÉSTER INSATURADAS MODIFICADAS CON ACEITE DE RICINO MALEINIZADO CON PROPIEDADES FINALES MEJORADAS

Pujol A. <sup>(1)</sup>, Giordano Y. <sup>(1)</sup>, Bernard M. <sup>(1)</sup>, Nicolau V. <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> GPol, Departamento de Ingeniería Química, UTN Regional San Francisco, Av. de la Universidad 501, (2400) San Francisco, Córdoba, Argentina.

## Resumen

En este trabajo se obtuvieron superficies sólidas industriales por reemplazo parcial de un 5% de resina poliéster insaturada (derivada del petróleo) por aceite de ricino (recurso renovable y económico) maleinizado sintetizado en laboratorio. La caracterización mecánica de los materiales involucró ensayos de flexión y de dureza. Además, se llevaron a cabo estudios de degradación bacteriana con una cepa de *Pseudomonas aeruginosa*, por un periodo de 230 días.

Las superficies sólidas modificadas exhibieron dureza similar a las superficies sólidas convencionales mientras que el módulo de elasticidad (7782 MPa) y la tensión de rotura (39 MPa) en flexión resultaron menores. El principal mecanismo de degradación fue la hidrólisis química, siendo superior para las resinas modificadas con MACO; mientras que la hidrólisis enzimática resultó incipiente. Los ensayos industriales se llevaron a cabo en la Empresa Soluciones S.R.L., San Francisco, Córdoba.

## 1. Introducción

Las resinas poliéster insaturadas y las del tipo vinil éster, se emplean en la fabricación de materiales compuestos reforzados para ser aplicados en diversos productos tales como piletas de natación, bañeras, y techos traslúcidos de automóviles, así como también en la producción de compuestos moldeados en hojas, normalmente conocidos como "superficie sólida". Todas las aplicaciones involucran una primera etapa de síntesis de la resina donde se obtiene un oligómero fusible y de fácil manejo que se comercializa disuelto en estireno, y una segunda etapa de procesamiento o curado donde el estireno reacciona vía radicales libres obteniéndose un material termoestable. Las resinas del tipo vinil éster son más flexibles pero más costosas que las poliéster insaturadas.

El principal uso de la superficie sólida es en la producción de mármol, ónix y granito sintéticos en reemplazo de los correspondientes productos naturales. Una de las principales ventajas de estos materiales sintéticos frente a los productos naturales es la formación de uniones imperceptibles y la ausencia de poros, que los hacen adecuados para aplicaciones donde se requiere asepsia ya que son resistentes al ataque de bacterias y hongos. Sin embargo, su resistencia química y microbiológica se transforma en su principal desventaja al final de su vida útil.

En los últimos años, existe un creciente interés de las industrias en optimizar los procesos existentes desde el punto de vista de su productividad, calidad y rentabilidad; y también en el diseño de nuevos productos y procesos que contribuyan a reducir el impacto ambiental, asegurando su desempeño mecánico y reduciendo costos.

Para mejorar la flexibilidad de las resinas poliéster insaturadas se pueden adicionar plastificantes que reaccionen químicamente con la misma (plastificante interno) disminuyendo la temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ) del copolímero, o agregar moléculas muy pequeñas que tengan una acción física sobre el polímero disminuyendo la fuerzas de atracción dipolo-dipolo entre las cadenas (plastificante externo).

En este sentido, los aceites vegetales funcionalizados pueden ser empleados como plastificantes internos (Gurgel et al., 2011). Además, en los últimos años hubo un fuerte crecimiento en el empleo de aceites funcionalizados para la producción de nuevos materiales poliméricos, capaces de ser biodegradados al final de su vida útil. A pesar de la cantidad de trabajos relacionados con el empleo de aceites vegetales en la producción de poliuretanos y resinas alquídicas entre otras, existe escasa información sobre su empleo en resinas poliéster insaturadas y la obtención de superficies sólidas.

El aceite de ricino exhibe una inusual composición química por la presencia de grupos hidroxilos reactivos que le confieren características de poliéster-poliol (Mutlu y Meier, 2010). Una vía de modificación química de los triglicéridos presentes en el aceite de ricino es la maleinización, que facilita el entrecruzamiento con el estireno (Ghorui et al., 2011; Mistri et al., 2011, Bernard et. al., 2017). En relación a la degradación, Bernard et al. (2017) evaluaron la degradación por hidrólisis química y fúngica de superficies sólidas modificadas con un 5% de aceite de ricino maleinizado (MACO). Se observó un efecto sinérgico de la degradación por hidrólisis química y enzimática de las correspondientes cepas de *Aspergillus niger* y *Alternaria sp* para las superficies sólidas convencionales y modificadas con MACO. El principal mecanismo de degradación para la superficie sólida convencional resultó ser la degradación por hidrólisis química mientras que para la superficie sólida modificada con MACO la hidrólisis enzimática. El ingreso de agua a la matriz polimérica hidroliza las uniones ésteres provocando la ruptura incipiente de la red ( $\text{—OH} + \text{—COOH}$ ) y el incremento de la masa del material. La degradación por hidrólisis enzimática resultó mayor para *Alternaria sp* en comparación con *Aspergillus niger*. Al final de la degradación se observó una disminución de la masa de los materiales como resultado de la liberación al medio de productos de degradación.

La pérdida de peso del material polimérico durante la degradación enzimática es un indicador de la extensión de la degradación. Sin embargo, la pérdida de peso puede no corresponder siempre a la estimación real del grado de degradación (Azevedo et al., 2004).

Azevedo et al. (2003) y Leonor et al. (2002) han observado que, en la etapa inicial de degradación enzimática, los materiales poliméricos tienden a volverse más rígidos como resultado de la liberación de plastificantes al medio (Banerjee et al., 2014).

En este trabajo se obtuvieron superficies sólidas industriales modificadas con un 5% de MACO. Para la caracterización mecánica de los materiales se midieron la dureza, y la resistencia y módulo de elasticidad en flexión en tres puntos. Además, se estudió la degradación de los materiales por hidrólisis bacteriana de una cepa de *Pseudomonas aeruginosa* por un período de 230 días. Las muestras al final de la degradación fueron caracterizadas por técnicas gravimétricas y ensayos mecánicos.

## 2. Metodología

### 2.1 Síntesis de MACO, obtención y caracterización de las superficies sólidas

Los materiales empleados fueron: Resina poliéster isoftálica (Poliresinas, Argentina); peróxido de metiletilcetona Perly-ox50 (Poliresinas, Argentina) como iniciador; acelerador OC (Poliresinas, Argentina) como acelerante, dolomita  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  (INSUMIN S.A.C.I.F.I.N., Argentina); alúmina trihidratada  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  (Marshall, Hungría); AR (Cicarelli); y anhídrido maleico -AM- (Merck).

El aceite de ricino (AR) se secó a 60 °C bajo vacío durante 3,5 h. La reacción de maleinización del AR se llevó a cabo a 100 °C en atmósfera de nitrógeno con relación molar inicial de AR/AM = 1,67 hasta alcanzar un índice de acidez de 116.

Las superficies sólidas convencionales (SC) y las modificadas por reemplazo de un 5% de resina poliéster insaturada por MACO (SM) se obtuvieron en la empresa Soluciones S.R.L. (San Francisco, Córdoba, Argentina). Las recetas empleadas se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Recetas de las superficies sólidas (Kg).

	Resina Poliéster	Iniciador	Acelerante	MACO	Dolomita	Alúmina	Aditivos*
SC	105	1,5	0,5	—	96	96	11
SM	100	1,5	0,5	5	96	96	11

\* Plastificantes, pigmentos, entre otros.

Las placas fueron curadas a temperatura ambiente durante 24 h y post-curadas durante 3 h a 90 °C. Luego se pulieron, mecanizaron y se midieron propiedades como flexión y dureza.

Para los ensayos de flexión en 3 puntos se emplearon probetas de 12 cm x 1 cm x 1 cm de espesor. Los ensayos se realizaron en una máquina de ensayos SHIMADZU modelo AGS-20kNXD con celda de carga de 20 kN. Las mediciones se realizaron a temperatura ambiente, con una velocidad transversa de 10 mm/min. La distancia entre apoyos se fijó en 80 mm. A partir de las curvas tensión-deformación se obtuvieron los módulos de elasticidad (ME), tensión de rotura (TR) y fuerza de rotura (FR)

Para los ensayos de dureza se empleó un durómetro manual tipo Shore D, Resolución 0,5 Sh, marca Rholl modelo S/ld, calibrado según ASTM 2240/05.

## 2.2 Ensayos de degradación

Para los estudios de biodegradación se empleó una cepa de *Pseudomonas aeruginosa*, (ATCC 27853) provista por el CEPROCOR (Ministerio de Industria, Comercio, Minería y Desarrollo Científico de la Provincia de Córdoba, Argentina), conservada a -80 °C con adición de un 15 % de glicerol. Los cultivos se obtuvieron por reactivación de la cepa conservada mediante siembras sucesivas en caldo nutritivo (CN). Entre cada siembra, los cultivos se incubaron a 37,5 °C durante 24 horas. Para la preparación del inóculo se añadió 1,5 ml del último repique en dos tubos con 15 ml de CN.

La composición del medio basal empleado para los ensayos fue la siguiente: KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> (2000 mg/L), K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> (7000 mg/L), NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> (1000 mg/L), Glucosa (3000 mg/L), MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O (100 mg/L), ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O (1 mg/L), CuSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O (0.1 mg/L), FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O (10 mg/L), MnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O (2 mg/L) (Spontón et al., 2013).

Las probetas se lavaron con agua destilada y se secaron en estufa de vacío a 60 °C hasta peso constante. Luego se esterilizaron en autoclave a 121 °C durante 15 minutos.

Para cada material se prepararon 2 frascos con 600 ml de medio basal esterilizados en autoclave a 121 °C durante 15 minutos. Luego, en cada uno de los frascos se colocaron 12 muestras y se sembró con 125 µl de inóculo (1×10<sup>9</sup> UFC/ml) [Fig. 1].



Fig. 1. Hidrólisis enzimática (*Pseudomonas aeruginosa*): 230 días

La degradación de los materiales por hidrólisis bacteriana se monitoreó periódicamente. Se tomaron muestras a 30, 60, 185 y 230 días. Para el seguimiento de la degradación se midió la pérdida de peso de los materiales por gravimetría. Previo a la medición del peso, las muestras fueron lavadas con solución etanol:agua (1:1) y secadas en estufa de vacío a 60°C y estufa convencional a 105 °C hasta peso contante. Además, se midieron las propiedades mecánicas (descritas anteriormente) de las muestras finales de degradación.

### 3. Resultados y discusión

Los resultados de flexión y dureza para SC y SM se muestran en la segunda y tercera columnas de la Tabla 2.

Tabla 2. Propiedades mecánicas antes y después de la degradación con una cepa de *Pseudomonas aeruginosa*

	Antes de la degradación		Después de la degradación (230 días)	
	SC	SM	SC	SM
ME (MPa)	8116,32	7782,08	7992,90	6940,03
TR (MPa)	58,41	39,00	62,22	43,23
FR (N)	506,79	334,83	557,81	390,70
Dureza (Shore D)	89,5 ± 0,5	89,5 ± 0,5	89,5 ± 0,5	89,5 ± 0,5

SM exhibió menor módulo elástico y menor tensión de rotura en flexión en comparación a SC. Estos resultados sugieren un efecto plastificante del MACO. Por otra parte, los resultados de dureza resultaron iguales para ambos materiales.

En relación a los resultados de degradación, en la Fig. 2 se muestra la curva de pérdida de peso porcentual por hidrólisis enzimática. Se observa que durante los primeros días de degradación, los materiales pierden peso como resultado de la eliminación de plastificantes externos y otros aditivos adicionados en la formulación (Tabla 1). Luego de los 30 días, los materiales empiezan a incrementar su peso, en concordancia con lo observado en Bernard et al. (2017). La hidrólisis química resultó superior para SM en comparación a SC observándose una tendencia cada vez menor al final del período de degradación que sugiere el comienzo de la hidrólisis enzimática.

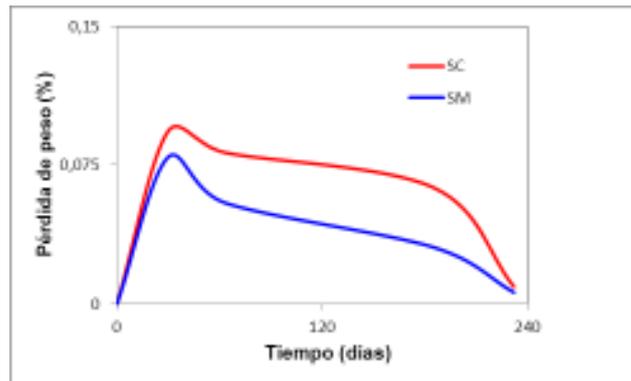


Fig. 2. Pérdida de peso por hidrólisis enzimática con una cepa de *Pseudomonas aeruginosa*

En las 2 últimas columnas de la Tabla 2 se muestran los resultados de flexión y dureza al final del período de degradación. Luego de 230 días de degradación la flexibilidad de SM continuó siendo menor a la correspondiente a SC. Por otra parte, se observó un aumento de la TR y FR y una leve disminución del ME de los materiales degradados en comparación con las muestras originales. De acuerdo a lo reportado por Banerjee et al. (2014) el aumento de las propiedades mecánicas viene dado por la pérdida de plastificantes, en concordancia con la pérdida de peso observada durante los primeros 30 días de degradación. Por otro lado la leve disminución del ME sugiere el comienzo de hidrólisis enzimática que por ser incipiente no impacta aún en los resultados de pérdida de peso y dureza.

#### 4. Conclusiones

Se mejoró la flexibilidad de SC por reemplazo de un 5% de resina poliéster insaturada por MACO sin modificación de su dureza. La degradación enzimática mostró ser incipiente a los 230 días siendo la hidrólisis química el principal mecanismo de degradación. La incorporación de agua por hidrólisis química resultó mayor para SM en comparación a SC.

En futuros trabajos se continuará con los estudios de biodegradación adoptando mayores períodos de tiempo. Además, se analizará el grado de degradación de los materiales por espectroscopía de infrarrojo (FT-IR) y microscopía electrónica de barrido (SEM). Para estudiar la degradación térmica, se empleará TGA.

#### Agradecimientos

Al Sr. Matías Molinaro por su colaboración en los ensayos mecánicos, a UTN (PID IPAISF0004433TC y PID IPTUNRE0004309), Soluciones S.R.L., WIND SA., y SeCyT por el financiamiento.

#### Referencias

Azevedo, Helena S., Gama, F. M., Reis, R. L. In vitro assessment of the enzymatic degradation of several starch based biomaterials. *Biomacromolecules*, 4, 1703–1712, (2003).

Azevedo, Helena S., Reis, Rui L. Understanding the enzymatic degradation of biodegradable polymers and strategies to control their degradation rate. *Biodegradable Systems in Tissue Engineering and Regenerative Medicine*, 177-201, (2004).

Banerjee, A., Chatterjee, K., Madras, G. Enzymatic degradation of polymers: a brief review. *Materials Science and Technology*. 30, 567-573. (2014).

Bernard, M., Nicolau, Verónica V., Estenoz, Diana A. Superficies sólidas a partir de resinas poliéster insaturadas modificadas con aceite de ricino maleinizado: biodegradación por el ataque de hongos filamentosos. *Tecnología y Ciencia*. 30, 263-273. (2017).

Ghorui, S., Bandyopadhyay, N., Ray, D., Sengupta, S., Kar, T. Use of maleated castor oil as biomodifier in unsaturated polyester resin/fly ash Composites. *Industrial Crops and Products*. 34, 893-899. (2011).

Gurgel Adeodato Vieira, M., Altenhofen da Silva, M., Oliveira dos Santos, L., Masumi Beppu, M. Natural-based plasticizers and biopolymer films: a review. *European Polymer Journal*. 47, 254-263. (2011).

Leonor, I. B., Sousa, R. A., Cunha, A. M., Reis, R. L., Zhong, Z. P., Greenspan, D. Novel starch thermoplastic/Bioglass composites: mechanical properties, degradation behavior and in-vitro bioactivity. *J. Mater. Sci. Mater. Med.* 13, 939–945. (2002)

Mistri, E., Routh, S., Ray, D., Sahoo, S., Misra, M. Green composites from maleated castor oil and jute fibres *Industrial. Crops and Products*. 34, 900-906. (2011).

Mutlu, H., Meier, R. Castor oil as a renewable resource for the chemical industry. *Eur. J. Lipid. Sci. Technol.* 112, 10-30. (2010).

Spontón, M., Casis, N., Raud, B., Mazo, P., Rios, L., Simonetta, A., Estenoz, D., *International Biodeterioration & Biodegradation*. 85, 85-94. (2013).

# REDISEÑO CONCEPTUAL DEL INODORO CONVENCIONAL MEDIANTE TRIZ CON EL OBJETIVO DE REDUCIR EL CONSUMO DE AGUA POTABLE

Autor: Claudio Martínez <sup>(1)</sup>

Tutores: Lic. Carlos Eduardo Requena <sup>(2)</sup>, Ing. Juan Carlos Nishiyama <sup>(2)</sup>

(1) Graduado de la carrera de Ingeniería Mecánica de la UTN FRGP. claudio-10-martinez@hotmail.com

(2) Docente. Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional General Pacheco. H. Irigoyen 288 – Gral. Pacheco, Buenos Aires, Argentina.

## Resumen

Este trabajo surgió con un sentido de protección del medio ambiente, en especial el de la preservación de los recursos hídricos como el del agua potable. Para ello, hay muchas acciones potenciales que se pueden desarrollar y aplicar. En el presente trabajo, se eligió enfocar el problema desde la perspectiva del gran consumo de agua cuando se hace uso del inodoro de diseño convencional. Se trabajó en optimizar este artefacto. De las posibles formas de abordar este desafío, se utilizó la metodología rusa llamada TRIZ [1]. Su implementación, por medio de su herramienta de modelización del problema y la definición de la Contradicción Técnica, nos permitió aplicar posteriormente el modelo de solución de TRIZ llamado Matriz de Contradicciones, con lo cual se pudo alcanzar un espacio de soluciones conceptuales. Esto permitió la selección de la solución conceptual que más se adaptaba al presente problema. Ello dio base para un rediseño conceptual del inodoro clásico, con el objetivo de reducir el consumo de agua. La naturaleza estructurada de esta metodología, utilizada en muchas empresas multinacionales y dictada en carreras de ingeniería de importantes universidades del mundo, nos permitió despojarnos de la inercia psicológica, la cual nos hace caer siempre en ideas conservadoras no permitiéndonos alcanzar fácilmente ideas creativas e innovadoras.

Palabras clave: TRIZ – Contradicciones Técnicas - Inercia Psicológica – Estructura – Diseño Conceptual

## Introducción

TRIZ es un método sistemático para incrementar la creatividad y la innovación industrial, basado en el estudio de los modelos de evolución de patentes y en otros tipos de soluciones a problemas. Proporciona ideas adicionales a los ingenieros y otros profesionales que resuelven problemas técnicos de forma intuitiva y a los que resuelven problemas de forma estructurada, les proporcionará estructuras adicionales. Todas las organizaciones pueden innovar y hacerlo sistemáticamente, sin depender de situaciones fortuitas, azarosas. Es única en su concepción ya que surge de un enfoque diferente, que consiste en utilizar, en algún modo, el máximo de conocimientos disponibles sobre un problema concreto y llegar a su solución por la adecuación de soluciones aplicadas previamente a problemas similares. TRIZ es la primera metodología basada en el conocimiento. A partir de ella se han construido otras, como por ejemplo de ellas son SIT [2], ASIT [3] y USIT [4]. El creador del método TRIZ fue Genrich Altshuller, un ingeniero ruso que desarrolló la teoría a través del análisis de muchísimas patentes de invención [5]. Reparó en el detalle de que a pesar de que los inventos que analizó resolvían problemas muy diferentes, en campos también muy diferentes, las soluciones aplicadas podían obtenerse a partir de un conjunto relativamente reducido de ideas básicas o principios de invención generales.

## Breve historia de cómo se creó el TRIZ

Altshuller revisó 1.500.000 patentes, quedándose con 200.000 de ellas tratando de buscar sólo los problemas inventivos y la forma en que fueron resueltos. De éstas sólo 40.000 patentes fueron consideradas como inventivas. El resto, son sólo mejoras rutinarias. Además, él definió un problema inventivo como uno en que la solución causa otros problemas, es decir que cuando algún parámetro de ingeniería se mejora, otros empeoran. Posteriormente llamó a esto contradicción técnica. A modo de ejemplo, si deseamos reducir el costo de una pieza metálica estampada, lo mejoramos reduciendo el espesor de la chapa, pero como resultado se resiente su

resistencia mecánica. Para alcanzar una solución ideal se deben eliminar las soluciones por compromiso o trade off, es decir eliminar totalmente las causas.

El estudio de estas 40.000 patentes arrojó el extraordinario resultado de solo 40 Principios Inventivos utilizados en la solución de problemas. Ver Tabla 1 [6].

Tabla 1. Listado de los "40 Principios de Inventiva"

1. Segmentación	13. Inversión.	23. Retroalimentación	31. Uso de material poroso
2. Extracción	14. Esferoidalidad	24. Mediador	32. Cambio de color
3. Calidad local	15. Dinamicidad	25. Autoservicio	33. Homogeneidad
4. Asimetría	16. Acción parcial o sobrepasada	26. Copiado	34. Restauración y regeneración de partes
5. Combinación	17. Movándose a una nueva dimensión	27. Objeto barato de vida corta en vez de uno caro y durable	35. Transformación de los estados físicos y químicos de un objeto
6. Universalidad	18. Vibración mecánica	28. Reemplazo de sistemas mecánicos	36. Transición de fase
7. Anidación	19. Acción periódica	29. Uso de una construcción neumática o hidráulica	37. Expansión térmica
8. Contrapeso	20. Continuidad de una acción útil	30. Película flexible o membranas delgadas	38. Uso de oxidantes fuertes
9. Reacción previa	21. Despachar rápidamente		39. Medio ambiente inerte
10. Acción previa	22. Convertir algo malo en un beneficio		40. Materiales compuestos
11. Amortiguamiento anticipado			
12. Equipotencialidad			

Los parámetros de ingeniería que representaban a estas soluciones fueron, asombrosamente, solo 39. Ver Tabla 2.

Tabla 2. Listado con los 39 Parámetros de Ingeniería

1. Peso de un objeto móvil	10. Fuerza	20. Energía consumida por un objeto inmóvil	30. Factores nocivos que actúan en un objeto
2. Peso de un objeto inmóvil	11. Tensión, presión,	21. Potencia	31. Efectos nocivos
3. Longitud de un objeto móvil	12. Forma	22. Desperdicio de energía	32. Manufacturabilidad
4. Longitud de un objeto inmóvil	13. Estabilidad de un objeto	23. Desperdicio de sustancia	33. Conveniencia de uso
5. Área de un objeto móvil	14. Fuerza	24. Pérdida de información	34. Reparabilidad
6. Área de objeto inmóvil	15. Durabilidad de un objeto móvil	25. Pérdida de tiempo	35. Adaptabilidad
7. Volumen de objeto móvil	16. Durabilidad de un objeto inmóvil	26. Cantidad de sustancia	36. Complejidad de un dispositivo
8. Volumen de objeto inmóvil	17. Temperatura	27. Fiabilidad	37. Complejidad de control
9. Velocidad	18. Brillo	28. Precisión de medida	38. Nivel de automatización
	19. Energía consumida por un objeto móvil	29. Precisión de manufactura	39. Productividad

Con ambas listas, tabla 1 y 2, se crea un Modelo de Problema bajo la denominación de Contradicción Técnica, el cual posteriormente es sometido al procedimiento de un Modelo de Solución, de los muchos de TRIZ, en el particular corresponde la denominada "Matriz de Contradicciones". Haremos uso de este procedimiento en la resolución del problema presentado.

### Contradicciones Técnicas

Una contradicción técnica es una situación en la que queremos mejorar una característica de un sistema tecnológico y al hacerlo se empeora otra y viceversa. Para la resolución de contradicciones técnicas, se utiliza la "Matriz de Contradicciones Técnicas", que es una matriz de 39 por 39, y los 40 principios inventivos insertos estratégicamente en dicha matriz. En la Figura 1, se presenta, por razones de espacio, una porción de la matriz de contradicciones técnicas. Para la matriz completa consultar [7].

Como se observa en la figura de abajo, la matriz de contradicciones es un cuadro de doble entrada, donde están listados en la primera columna a la izquierda y en número ascendente hacia abajo los 39 atributos o parámetros a mejorar en el sistema técnico considerado, y en la primera fila y en número ascendente hacia la derecha están listados los 39 parámetros que empeoran en el sistema técnico considerado como consecuencia de la elección del parámetro elegido para mejorar. En el cruce de cada fila y columna se dan referencias a los tipos de soluciones que se pueden aplicar para variar una de las características, sin que varíe la otra. Las soluciones ofrecidas son los 40 principios de inventiva que identificó Altshuller. El orden de los números se debe a que en ese mismo orden es que aparecen más patentes con el principio inventivo en que fue resuelto un problema con igual contradicción.

Evidentemente, los principios no son una solución directa a la contradicción, sino una línea de razonamiento para encontrar la solución. Las casillas de la matriz que quedan vacías

corresponden a contradicciones técnicas que no se pueden dar o que no están resueltas. Para ello, TRIZ subsana esto con otras herramientas que aquí no consideramos, pero en las referencias se deja abundante bibliografía al respecto.

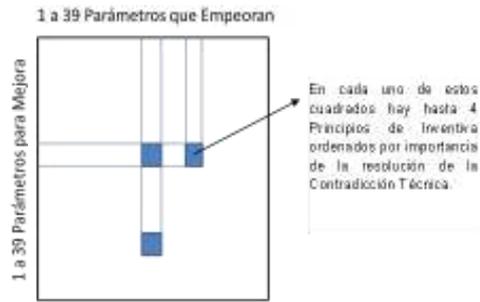


Figura 1. Esquema de la “Matriz de Contradicciones”.

La resolución de un problema con esta herramienta - lo mismo sucede con las otras de TRIZ -, requiere de la abstracción del sistema, la identificación de la contradicción técnica, la aplicación del operador abstracto o principio y la especificación para obtener de nuevo el sistema físico, con el problema resuelto.

Algunas de las otras herramientas de TRIZ, se conocen como el Análisis-Sustancia Campo, el Método de los Pequeños Hombres Inteligentes (SLP, Smart Little People), los 76 Estándares, el ARIZ, etc., a su vez, estas herramientas pueden ser integradas junto a otras más conocidas y difundidas y de eficacia probada tales como el AMFE, QFD, Diseño Axiomático, APQP, etc.

### Descripción del Problema

Una taza de un inodoro convencional consume aproximadamente de 12 a 15 L de agua dulce y/o potable aproximadamente, pero, para un solo uso (ver Fig. 2).



Figura 2. Esquema del principio de funcionamiento de los inodoros convencionales para eliminar desechos.

La razón de esto, como puede apreciarse en la Figura 2, es que utiliza una gran cantidad de agua de descarga, para empujar los desechos y a la vez dejar con agua la trampa en forma de “S”, sellando la entrada de malos olores de la fosa séptica.

Debido a esto, se han diseñado depósitos con graduación del volumen de agua de acuerdo con el volumen de desechos. Hay quienes, con el fin de ahorrar agua, insertan ladrillos en el tanque de descarga, logrando una reducción en el consumo de agua de unos 6 a 7 L. Sin embargo, el volumen de agua guardado por tal medida es de sólo unos pocos litros y dicha inserción puede resultar en un pobre efecto. Hay baños de succión o de espuma lavable empleados principalmente en trenes o aviones. Estos sanitarios requieren una fuente de alimentación independiente y un agente químico, por lo que no son adecuados para uso hogareño.

Se requiere un método para eliminar las heces con menos agua, manteniendo al mismo tiempo la función que cumple la "S" para evitar los malos olores. Hubo quienes lograron soluciones de diseño muy viables, y además patentadas y fabricadas, por este camino, haciendo uso de TRIZ [8] y reduciendo eficazmente la operación de lavado y sellado con solo el uso de 2,5-3 L de agua.

### Desarrollo

Como se expresó, el uso excesivo del agua es algo perjudicial desde todo punto de vista. Esto nos lleva a plantear el problema en término de Contradicciones Técnicas, es decir, si un parámetro mejora para el sistema, inevitablemente otro parámetro empeora para el mismo sistema. En el particular, si utilizamos una gran cantidad de agua en el inodoro clásico esto resulta perjudicial al medioambiente, pero se eliminan los desechos de forma satisfactoria. Por otro lado, si se utiliza poca agua para eliminar los desechos, es muy beneficioso para el medioambiente porque no se desperdicia agua, pero los desechos no se eliminan satisfactoriamente.

Haciendo uso de la jerga TRIZ, esas ventajas y desventajas las debemos encarar como un par de parámetros en oposición. Uno es la "Pérdida de Sustancia", que es el número 23 de acuerdo con la Tabla 2. Siguiendo, el otro parámetro es el referido a los "Daños Generados por el Propio Objeto", el número 31.

Entonces establecemos la Contradicción Técnica 1 (CT1) y la Contradicción Técnica 2 (CT2) como sigue:

**CT1:** "Si mejoramos el uso del agua (menor pérdida de sustancia), entonces, se empeora la eficiencia de eliminación de desechos (empeoran los efectos secundarios dañinos porque aumentan)."

**CT2:** "Si empeoramos el uso del agua (mayor pérdida de sustancia), entonces, mejora la eficiencia de eliminación de desechos (mejoran los efectos secundarios dañinos porque disminuyen)."

En general la estrategia es buscar por un compromiso, es decir, tratar de gastar poca agua y con ello tratar de eliminar lo mejor posible los desechos. TRIZ busca que, con poca, o mejor poquísima agua, eliminar eficientemente los desechos.

Elegimos de las dos CT, la CT1: mejora 23 y empeora 31, ya que nuestra principal preocupación es el agua.

Del cruce en la Matriz de Contradicción surgen los siguientes Principios de Inventiva (ver Figura 3): 10, 1, 34 y 29.

Principio 10: Acción anticipada, "a) Llevar a cabo la acción anticipadamente. b) Arreglar objetos con antelación de tal manera que entren en acción inmediatamente que sea necesario y en el lugar adecuado".

Principio 1: Segmentación, a) Dividir un objeto en partes independientes. b) Hacer un objeto fácil de desarmar. c) Incrementar el grado de fragmentación o segmentación de un objeto.

Principio 34: Desechando y regenerando partes, "a) Después de terminar su función, un elemento de un objeto debe descartarse (evaporarse, disolverse, etc.) o puede ser modificado durante el proceso en que se requiere. b) Los componentes usados de un objeto deben ser reutilizados". Este parece ser útil al caso

Principio 29: Emplear un sistema hidráulico o neumático, Emplear un sistema hidráulico o neumático.

		CARACTERÍSTICA QUE EMPEORA							
		26 Pérdida de tiempo	28 Cantidad de sustancia	27 Confiableza	28 Precisión de la medición	29 Precisión de la manufactura	30 Factores dañinos del exterior, actuando sobre el objeto	31 Factores dañinos generados por el objeto	32 Manipulabilidad o facilidad de instalación
CT1	21 Pérdida	4, 10, 20, 28	4, 10, 34	10, 20, 29, 31	2, 10, 23	2, 23	2, 10, 23, 31	23, 31, 34, 35	10, 20, 34
	23 Pérdida de energía	7, 10, 18, 23	7, 10, 31	10, 11, 28	30		2, 21, 23, 30	23, 31, 35	10, 20, 34
	23 Pérdida de sustancia	10, 15, 11, 3	1, 8, 10, 24	10, 20, 29, 31	10, 20, 21, 34	10, 24, 21, 35	22, 20, 31, 4	1, 10, 23, 34	10, 20, 34
	24 Pérdida de información	34, 28, 20, 3	24, 20, 35	10, 23, 29			1, 10, 22	10, 21, 22	30

Figura 3. Vista parcial de la Matriz de Contradicción. Se puede apreciar el cruce de 23 vs 31.

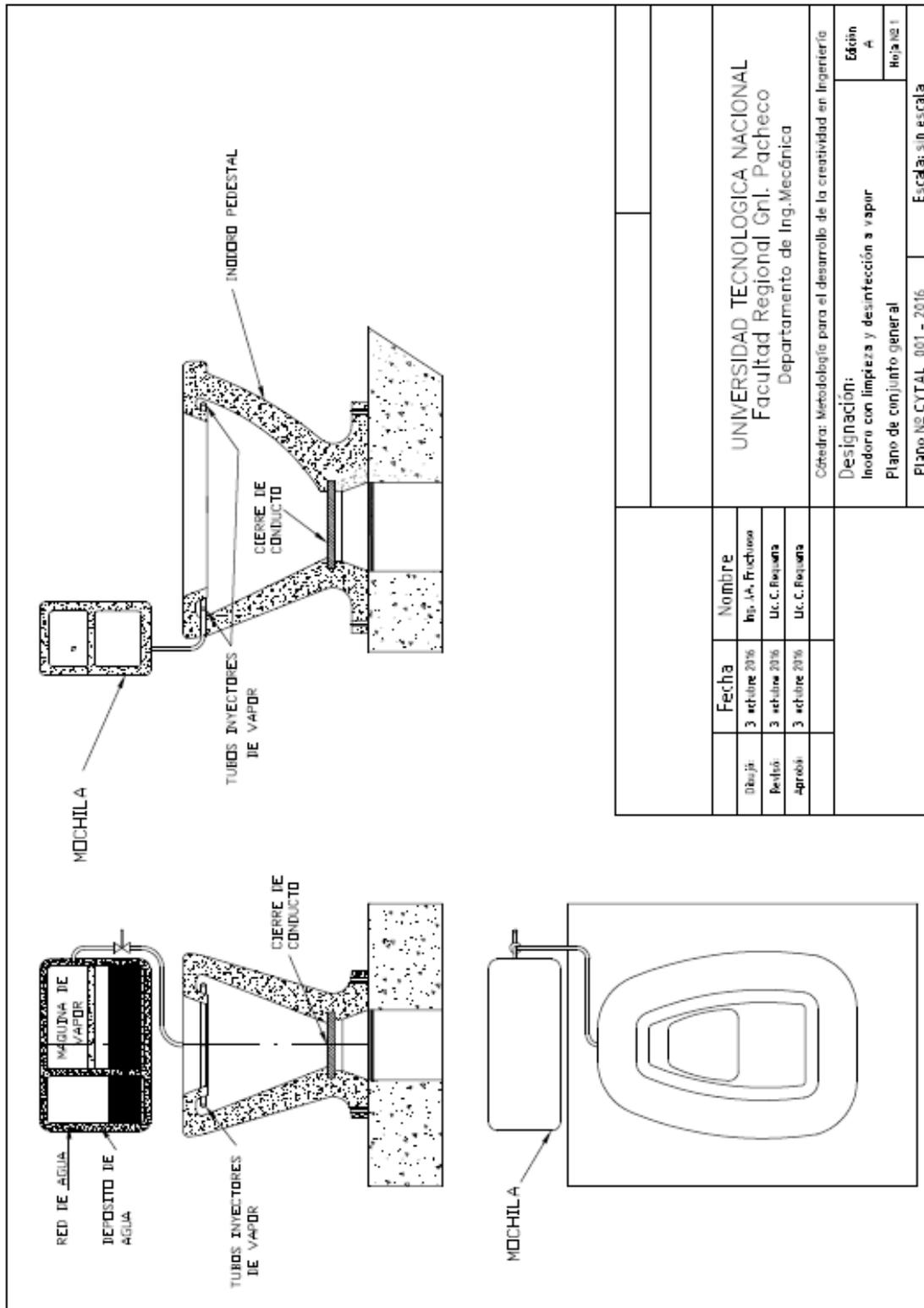


Figura 4. Plano de la solución conceptual.

## Resultados

Se alcanzan con el análisis orientado de los Principios de Inventiva. En este caso, el Principio de Inventiva 10, parece no aplicar. Lo mismo parece suceder con el Nro 1. Quizás en otro momento surjan ideas con estos principios. El principio 29 parece ser el más útil. Orienta el pensamiento a usar un fluido, aunque el inodoro convencional ya emplea un líquido, induce a especular, entre

otros pensamientos, a: ¿Y por qué no utilizar un fluido gaseoso? Surge la idea de vapor de agua, un chorro dirigido de vapor, que empuja sólidos, su acción disolvente puede aumentar por sobrecalentamiento, pero, con respecto a esto último, deberá tenerse en cuenta medidas de seguridad hacia el usuario. El camino por experimentar parece ser el de utilizar el chorro de vapor que, para el mismo efecto que el agua líquida utiliza muchísima menos cantidad, pues el vapor ocupa más volumen en igual masa que el líquido. Ver Figura 4. Su temperatura puede eliminar mucho de los problemas bacterianos esterilizando la taza del inodoro, un efecto como el de la lavandina, la cual se obtiene por un proceso de electrólisis. Por otro lado, se puede pensar ahora con algún dispositivo de cierre, quizás de tipo elastómero para evitar la forma “S” de la trampa de la taza del inodoro, con lo cual se ahorra unos 2 a 3 litros de agua. Especulando, quizás con ½ litro de agua transformado en vapor, podría el empuje dilatar el elastómero-sello (o quizás, de otro material), pero ese sería otro problema a tratar a futuro. La solución conceptual ya está propuesta. Quizás haya que utilizar, de vez en cuando, alguna descarga de agua normal, pero no continuamente. La etapa siguiente exige métricas, es decir, ingeniería de detalle.

## Conclusiones

La preservación del medioambiente es un importante tema que ya está instalado en la sociedad. En ese contexto, este trabajo se abocó, en particular, al caso de los recursos hídricos, ya que su preservación es también de suma importancia. Muchas veces, científicos y tecnólogos buscan la manera de producir u obtener agua dulce y potable en grandes cantidades para abastecer las necesidades humanas. Al aplicar la metodología TRIZ se llega a soluciones conceptuales de manera rápida, concreta y sustentable, evitando la inercia psicológica en cuanto a hacer más eficiente la obtención o producción de agua al vencer la contradicción técnica existente, por medio de sus principios y así visualizar que es mejor optimizar el uso de la disponible. Cabe acotar que, durante el proceso de aplicación de la metodología TRIZ no se utilizan métricas. La siguiente etapa es la queda abierta hacia la aplicación de ingeniería en cuanto a la utilización de métricas y criterios propios del o los campos requeridos, debiéndose calcular y optimizar el gasto eléctrico teniendo en cuenta que al utilizar poca agua, es menor el consumo de energía eléctrica y, en el balance total, se reduce el uso de lavandina, cuya fabricación, como se expresó, consume energía eléctrica. Por esto último y porque se utiliza vapor sobrecalentado, es imperioso tener en cuenta las medidas de seguridad sobre el usuario.

## Referencias

- [1] Altshuller Foundation, Tesoros – terminología del TRIZ y ARIZ (Traducción del original ruso para la Altshuller Foundation, Zagorodnova, Requena, Nishiyama), Rusia. 2004.  
<http://www.altshuller.ru/thesaur/thesaur.asp>
- [2] Application of S.I.T. Method in "REGBA" Kitchens Production Plant The 12th International Conference of the Israel Association for Quality 01 – 03 December 1998, Jerusalem. Manor, {B.Sc}.,S.I.T. problem solving expert Regba 25223 ISRAEL peretz -m@bezeqint.net
- [3] Roni Horowitz: 'From TRIZ to ASIT in 4 Steps', TRIZ Journal, Aug. 2001 (E); TRIZ HP Japan, Sept. 2001 (J). URL: <http://www.start2think.com/> (E).
- [4] TRIZ. La Metodología más Moderna para Inventar O Innovar Tecnológicamente de Manera Sistemática. Enrique Rico Arzate, Margarito Coronado Maldonado. Editor: Panorama México, 2004. ISBN-13: 978-9683813596
- [5] Ed. Sickafus. (1995). Unified Structured Inventive Thinking – How to Invent, Ntelleck, LLC, Grosse Ile, MI, USA, ISBN 0-965-94350-X.
- [6] Manual de uso para la cátedra de “Metodologías para el Desarrollo de la Creatividad en Ingeniería”. Zagorodnova, Requena, Nishiyama). UTN FRGP, Gral. Pacheco, Partido de Tigre, Prov. de Buenos Aires. Argentina. 2015.
- [7] ENGINEERING OF CREATIVITY (Introduction to TRIZ Methodology of Inventive Problem Solving) by Semyon D. Savransky. © 2000 by CRC Press LLC.
- [8] Hong Suk Lee (1), Kyeong-Won Lee (2). (1) KID Inc. (Korea Item Development Inc. [www.innokid.com](http://www.innokid.com)) e-mail: [s-lotus@hanmail.net](mailto:s-lotus@hanmail.net). (2) Dept. of Mechanical Design, Korea Polytechnic University.

# OPTIMIZACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UNA ANTENA DE TRANSMISIÓN DE DATOS

**Autor:** Valentin Mari<sup>(1)</sup>

**Docentes Asesores:** Diego M. Ferreyra<sup>(2)</sup>, Gastón Peretti<sup>(3)</sup>

*Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco.*

*<sup>(1),(2)</sup> Grupo GISEner, <sup>(3)</sup> Grupo GIDE.*

*Avenida de la Universidad 501 (2400) San Francisco. Provincia de Córdoba. Argentina.*

*Tel. ++54 (03564) 421147/435402. <http://www.sanfrancisco.utn.edu.ar/>*

*<sup>(1)</sup>valemari22@gmail.com*

*<sup>(2)</sup>dferreyra@sanfrancisco.utn.edu.ar, <sup>(3)</sup>gastonperetti@gmail.com*

## Resumen

En el afán de mejorar la eficiencia de transmisión de datos, la tendencia cada mayor a reducir las pérdidas de potencia y la necesidad de optimizar el uso de los recursos eléctricos, surgió este proyecto.

La finalidad de esta investigación es diseñar una antena que pueda transmitir señales minimizando las pérdidas de dispersión de la radiación. En general, en este estudio lo que se busca es mejorar el rendimiento de un sistema de antenas "punto a punto". No solo para antenas de plato sino también para antenas de tipo semicilíndricas.

Además del principal objetivo de aumentar la eficiencia de una antena de transmisión de datos, se destaca una segunda aplicación interesante, la lumínica. Dado que de esta aplicación depende mucho la direccionalidad de la radiación, el formato de la antena podría utilizarse para focalizar la luz de manera más eficiente.

Para realizar esta investigación, se recopiló información de diferentes fuentes de modelos disponibles. De acuerdo con estos datos se propusieron 3 diseños de esos modelos, los cuales se analizaron en torno a su eficiencia. Hecho esto, se eligió la más eficiente y luego de esto se intentó mejorar el sistema basándose en cálculos geométricos.

## Introducción

En la actualidad, debido a diversos factores, el ahorro energético se ha vuelto un tema central de interés general y esto ha dado lugar a la revisión de todos los sistemas para intentar optimizar el uso de la energía. Hoy en día, las antenas punto a punto son uno de los métodos más utilizados para la transmisión de datos y por ello aumentar su eficiencia traería un beneficio importante no solo para el propietario de estas antenas sino también para la población general ya que mejorar estos sistemas implica reducir la dispersión de radiación electromagnética y esto reduciría la cantidad de este agente contaminante en el ambiente.

Para este trabajo, se tomaron algunos de los tipos de antenas transmisoras de datos punto a punto más utilizadas. Ellas son los sistemas Cassegrain, Gregorian y axial o de alimentación delantera <sup>[1]</sup>.

Luego de esto, se notó que la antena de tipo Cassegrain es la de mayor eficiencia (en torno al 60%)<sup>[2]</sup>. Las principales pérdidas de energía de esta antena están dadas por el efecto *spillover* que consiste en el desbordamiento de la radiación sobre la parábola y el efecto bloqueo que es causado por la "sombra" del alimentador o bocina sobre la parábola <sup>[3],[4]</sup>.

Se tomó entonces esta antena y se intentó evitar este fenómeno.

Los siguientes estudios realizados fueron analizados de forma enteramente geométrica <sup>[5]</sup>, por lo que en la transmisión de datos los resultados pueden variar ligeramente ya que hay factores que no se tienen en cuenta. Por otra parte, en lo que respecta a las aplicaciones lumínicas, los estudios geométricos arrojan un resultado bastante preciso de lo que ocurre en la realidad.

## Desarrollo

Una vez definido el sistema a utilizar y luego de reconocer los problemas presentes en este, se prosiguió a determinar la causa del problema.

Lo que se encontró fue que la llamada bocina (Fig. 1), dado los aspectos constructivos de la antena, tenía una apertura muy amplia por lo que a tamaños pequeños de antenas desbordaba la radiación por sobre el límite de la parábola secundaria. También se da en algunos casos que la parábola secundaria irradia por sobre la parábola principal y esto da aún más pérdidas.

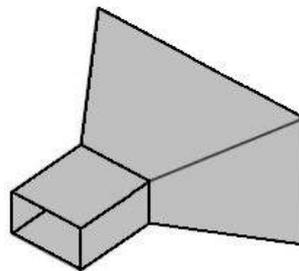


Fig. 1. Esquema de una Bocina Piramidal

Sabiendo esto se analizaron diferentes maneras de evitar este problema.

Lo primero fue intentar sustituir a la bocina por un sistema de dipolo y un conjunto de parábolas colocadas en "L" (Fig. 2). Esto en principio evitaría por completo el efecto *spillover* aunque luego de hacer los cálculos pertinentes y analizarlo de forma geométrica se pudo observar que esta disposición solo tiene la direccionalidad correcta cuando pasa por el centro de las dos parábolas (línea punteada) pero pierde direccionalidad en los ángulos distintos a este (línea continua), lo que es contraproducente con el objetivo de mejorar la eficiencia.

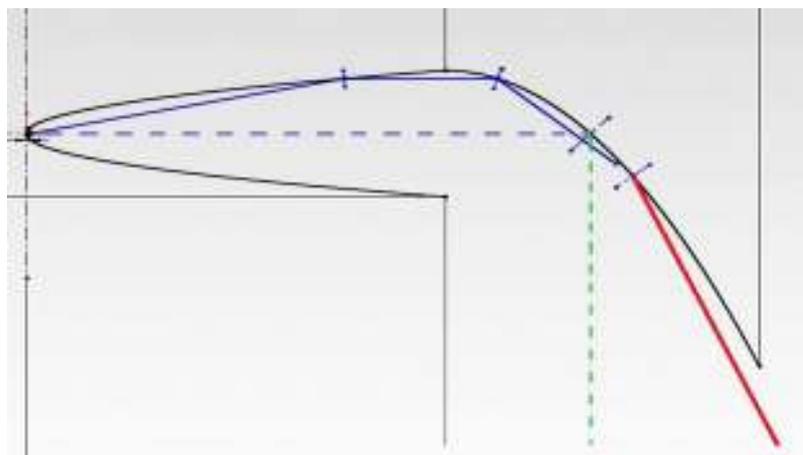


Fig. 2. Propuesta N° 1

La segunda propuesta fue un sistema de parábolas en donde la principal engloba a la secundaria y a su vez un dipolo ubicado en el foco de ambas parábolas es el encargado de generar la onda electromagnética (Fig. 3). Este sistema también es capaz de evitar el fenómeno *spillover* pero tiene un gran problema. Los rayos que salen del dipolo y se reflejan en la parábola secundaria son enviados hacia la antena primaria y estos se reflejan y vuelven directamente al dipolo. Esto no solo es contraproducente porque los rayos no son enviados, sino también, al reflejarse sobre el mismo dipolo pierde mucha energía en forma de calor.

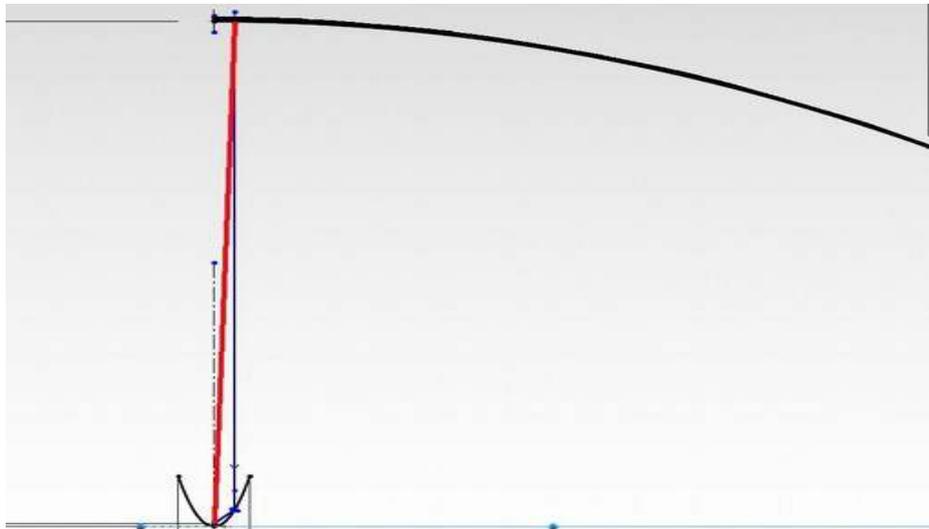


Fig.3. Propuesta N° 2

La siguiente disposición estudiada fue una modificación de la anterior en donde la parábola secundaria está en el mismo foco que la primaria pero con la diferencia de que esta tiene una parábola en su centro diseñada para evitar que se refleje la onda electromagnética nuevamente sobre el dipolo y haciendo que los rayos salgan hacia el frente de la parábola dirigidos en ese sentido por la parábola primaria (Fig. 4). Esta si bien presenta una mejora considerable a la anterior, todavía su direccionalidad no es la óptima y esto afecta directamente la eficiencia de la misma.

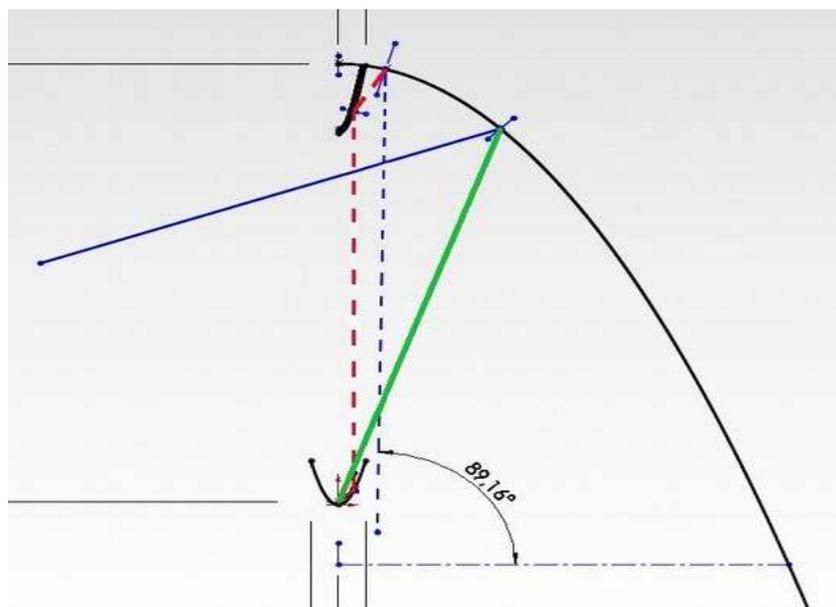


Fig. 4. Propuesta N° 3

Por último se propuso el siguiente sistema (Fig. 5). En este, la fuente de generación de onda electromagnética es nuevamente un dipolo el cual irradia (Rayo con más ángulo, violeta) hacia la parábola principal (1) y esta envía los rayos hacia adelante (Azul). Por consiguiente, los rayos (Rayo vertical, verde y rayo con línea punteada, rojo) reflejados por la parábola secundaria (2), son enviados hacia una parábola auxiliar (AUX) la cual envía los rayos hacia otra parábola (3) que se encarga de re direccionarlos directamente hacia adelante (Azul). Esto supone un mejoramiento de la direccionalidad y evita por completo el efecto *spillover* y aunque su direccionalidad no sea del 100% es bastante superior a las de los sistemas tradicionales.

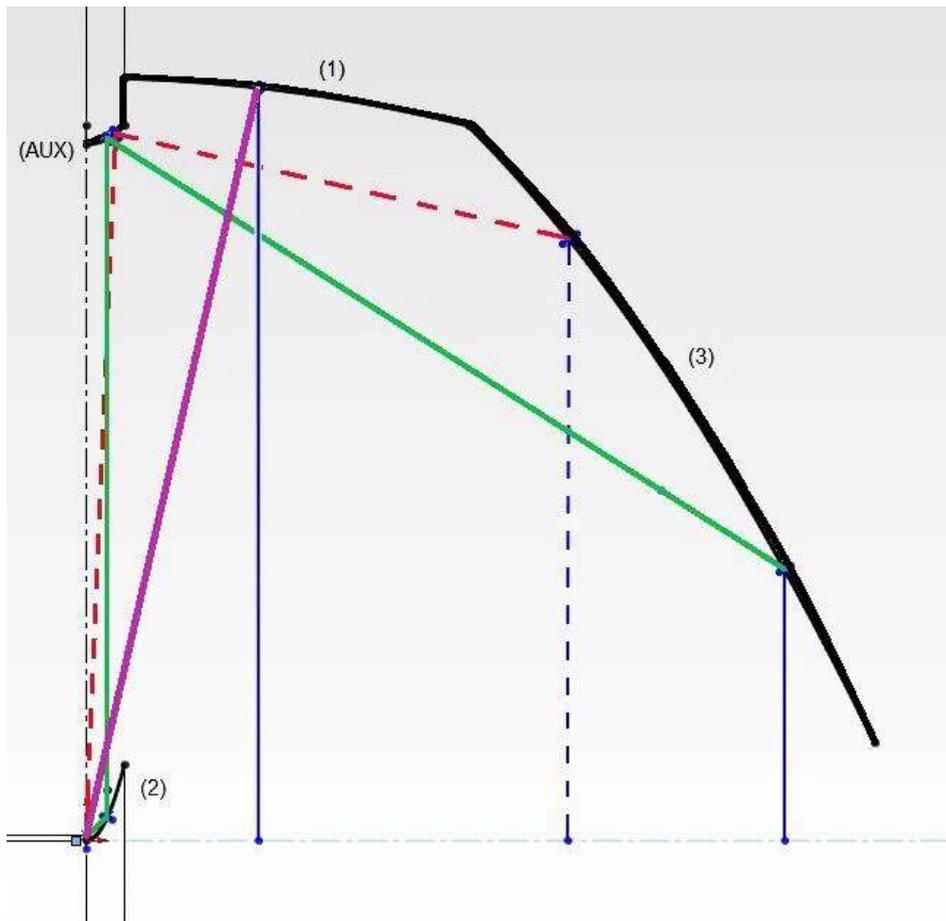


Fig. 5. Propuesta N° 4

## Resultados

Analizando los diferentes sistemas propuestos anteriormente, es evidente que el mejor sistema es el último (Fig. 4), de cuatro parabólicas. Este, no tiene una direccionalidad del 100% aunque es muy próxima. Esta desviación puede ser disminuida progresivamente al alejar la parábola 2 de la auxiliar ya que, la desviación aparente de este sistema lo proporciona solamente la incidencia directa de los rayos sobre la parábola auxiliar. Por consiguiente, mientras menor sea el ángulo de incidencia sobre esta parábola, mayor será su rendimiento.

## Conclusión

Este método tiene un gran potencial debido a que, si bien pierde eficiencia por la dispersión que genera su parábola auxiliar, tiene un rendimiento ampliamente superior a otros sistemas y además posee una amplia gama de aplicaciones tales como las ya mencionadas anteriormente, transmisión de datos y luminancia como por ejemplo, colocar en el foco de la disposición aquí propuesta, un paquete de fibras ópticas que guíen la luz solar hacia espacios o recintos sin acceso a la luz natural.

Debido a que el sistema está calculado solamente en términos geométricos, es un tanto difícil poder vislumbrar si este sistema funcionará en la realidad ya que existen otros factores que en esta investigación no se tuvieron en cuenta como por ejemplo, la interferencia. Sin embargo, sería aplicable a sistemas de luminancia debido a que en estos casos los cálculos geométricos son suficientes para predecir con bastante exactitud el comportamiento de estos.

## Referencias

- [1] Welch, W.J. (1976). "Types of Astronomical Antennas". *Methods of experimental physics: Astrophysics. Radio telescopes, Volume 12*. US: Academic Press. pp. 7–15.
- [2] Math H. J. Bollen, Fainan Hassan. *Integration of Distributed Generation in the Power System*. Pag. 95, Pag. 102.
- [3] Yu, M, Yang, H, Jiang, P, Zhang, Y, Chen, L, & Mao, S 2016, 'On-axial defocused characteristic analysis for Cassegrain antenna in optical communication', *Optik - International Journal for Light and Electron Optics*, 127, pp. 1734-1737, ScienceDirect, EBSCOhost, viewed 16 May 2018.
- [4] Padman, R, Murphy, J, & Hills, R 1987, 'Gaussian mode analysis of Cassegrain antenna efficiency', *IEEE Transactions on Antennas & Propagation*, 35, 10, p. 1093, Complementary Index, EBSCOhost, viewed 16 May 2018.
- [5] Bruce H. Edwards, Robert P. Hostetler, Roland E. Larson. *Cálculo y Geometría Analítica. Volumen 2*. Quinta edición. Cap. 11, Pág. 755-781.



## ESTUDIO COMPARATIVO DE SECADO POR CONVECCIÓN Y RADIACIÓN DE ZAPALLO VARIEDAD CUCURBITA MOSCHATA DUCH.

María E. Miccolo(1), Paola Yacanto(1), Edgar M. Soteras(1), Julio Gil(1), Clidia R. Abaca(1)

(1) Universidad Nacional de San Luis, Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias,  
Ruta Prov. Nº 55 (Ex. 148) Extremo Norte, (5730) V. Mercedes, San Luis - Argentina  
e-mail: clidia\_avm@hotmail.com

### Resumen

Este trabajo consistió en un estudio comparativo de la cinética de secado por distintos métodos a fin de conservar alimentos frutihortícolas con mínimo procesado. El zapallo variedad Cucurbita moschata Duch. fue adoptado para este estudio por ser una fruta prominente de la región. Los métodos ensayados fueron: secado por convección natural, secado por radiación infrarroja y secado por convección natural combinado con previa deshidratación osmótica, y secado por radiación combinado con previa deshidratación osmótica. La deshidratación osmótica se llevó a cabo con una solución de sacarosa al 50°Brix y a 50°C, durante una hora. La muestra fue secada bajo distintos formatos (triturada, rallada y en discos). En la etapa de deshidratación osmótica el contenido de agua se redujo en un 45% respecto a los sólidos secos. Mientras que, tanto en el secado por convección como en el secado por radiación, posterior a la deshidratación osmótica el contenido de agua se redujo por encima del 30% respecto del contenido de agua inicial. La actividad acuosa alcanzada por el método combinado de secado fue entre 0,46 y 0,60. Cuando el secado se produjo sin deshidratación osmótica, la actividad acuosa del producto final fue entre 0,3 y 0,4. El secado por fuente de calor presentó tiempos de proceso menores al secado combinado. Se obtuvo un buen ajuste de las curvas de secado a los modelos propuestos, Page, Midilli y Parabólico.

**Palabras claves:** zapallo, deshidratación, ósmosis.

### Introducción

La calabaza variedad anco (*Cucurbita moschata Duch.*) es un fruto que se utiliza ampliamente como alimento procesado para uso humano y animal en diferentes partes del mundo. En la República Argentina se produce en varias regiones, siendo las principales la zona de cuyo y el noroeste, alcanzando una producción anual del orden de las 50.000 Toneladas (Della Gaspera, 2013). El contenido de humedad ronda el 90% y el contenido de sólidos es relativamente bajo entre un 7% y 10 % ( Alibas, 2007; Guiné *et al.*, 2011), es rica en  $\alpha$  y  $\beta$ -caroteno, vitaminas (C, B y E), minerales (K y Mg), fibra dietética y pectina (Hashim *et al.*, 2014). En los últimos años, la industria agrícola, la industria alimenticia y la industria farmacéutica han adquirido un creciente interés por los productos de calabazas, dado que esta fruta no acumula metales pesados ni nitratos. Esta característica es una ventaja en cuanto a todas sus aplicaciones alimenticias (Sojak y Glowacki, 2010).

La calabaza es un cultivo de temporada, y sin procesar es muy sensible al deterioro microbiano, incluso en condiciones refrigeradas, es por ello que deben ser congelada o secada (Doymaz, 2007). En la deshidratación de alimentos, las pérdidas de las características generales de la materia prima se manifiestan a través de la pérdida de aromas, cambios en el color y textura, y disminución en el valor nutricional. El secado es uno de los métodos más antiguos y comúnmente utilizados para la conservación de alimentos, mejorando la estabilidad del producto durante su almacenamiento, minimizando los requerimientos de envasado y reduciendo el peso para su transporte. Se sabe que el proceso de secado es muy afectado por las condiciones de aire de secado y la dimensión característica del material. El conocimiento de la temperatura y la distribución de la humedad en el producto es esencial para el diseño del proceso de secado y el control de calidad (Hashim *et al.* 2014). Los métodos de secado se clasifican dependiendo del mecanismo de transferencia de calor interviniente (conducción, convección, radiación). El método de secado más utilizado hasta el momento es el secado convectivo utilizando aire caliente para promoverlo. Sin embargo, hay una serie de problemas asociados a la utilización de aire caliente para el secado de alimentos. Los principales inconvenientes están vinculados a las pérdidas de calidad de los productos, produciendo pérdidas en el color, textura, y ciertos cambios químicos que afectan el sabor y promueven importantes pérdidas de nutrientes, la disminución de la densidad y la capacidad de absorción de

agua y el desplazamiento de los solutos de la parte interna del material de secado a la superficie, debido al largo período de secado y a la alta temperatura. Cuando la temperatura en el secado convectivo se reduce, los tiempos de operación deben aumentarse y los costos asociados se incrementan progresivamente haciendo que la reducción de la temperatura en este proceso sea inaceptable (Alibas, 2007). A fin de mejorar la calidad del producto final y disminuir los costos de secado, se han propuesto la combinación de distintos métodos de deshidratación, entre ellos el deshidratado osmótico previo al secado convectivo, lo que reduciría el tiempo de procesado, inhibe la actividad enzimática, retiene el color natural de la fruta y ayuda a retener aromas volátiles. Esta tecnología consiste en la inmersión del alimento en una solución hipertónica, estableciendo dos flujos en contracorriente de agua y soluto, los cuales se detienen al alcanzar el equilibrio en el sistema.

Por otro lado, la extracción de humedad del zapallo se ha realizado para diferentes formas regulares como cilindros (Nawirska *et al.*, 2009; Guiné *et al.*, 2011), capa finas de diferentes espesores (Hashim *et al.*, 2014; Doymaz 2007), cubos (Sojak y Głowacki, 2010) y placas rectangulares (Alibas, 2007), y es limitado su estudio en geometrías irregulares. Además, se conoce que diferentes especies de zapallos pueden secarse a distintas velocidades (Nawirska *et al.*, 2009). Desde el punto de vista de la ingeniería, es importante desarrollar una mejor comprensión de los parámetros de control de este complejo proceso. Los modelos matemáticos de los procesos de secado se utilizan para diseñar nuevos sistemas de secado, para mejorar los existentes o incluso para el control del proceso de secado (Doymaz, 2007). Se han propuesto muchos modelos matemáticos de capa delgada para describir el proceso de secado del material agrícola. Entre ellos, los modelos semi-teóricos son ampliamente utilizados. Algunos modelos que se han ajustado exitosamente a las condiciones de secado de zapallo propuestas, encontrados en literatura, son los modelos de Page, parabólico (Akpinar, 2006; Doymaz, 2007), y el de Midili (Akpinar, 2006).

El objetivo del trabajo fue realizar un estudio comparativo de la cinética de secado de zapallo variedad *C. moschata Duch* por distintos métodos, secado por convección natural, secado por radiación infrarroja y secado por convección natural previa deshidratación osmótica, y secado por radiación previa deshidratación osmótica. Los datos obtenidos de la evolución del contenido de humedad vs tiempo para los distintos métodos de secado se ajustaron a tres modelos semiempíricos, Page, Midili y Parabólico.

## **Materiales y Métodos**

Se empleó zapallo variedad anco (*C. moschata Duch*.) de producción nacional adquirido en el mercado local, cuyo contenido inicial de humedad fue del 85% en peso. Las muestras, previamente lavadas con agua potable y peladas en forma manual, fueron cortadas en diferentes tamaños y formas: Cilindros de 20 mm de diámetro y 3 mm de espesor, rallado de rodajas del fruto en hebras de 20 mm de espesor, el tamaño aproximado de las hebras fue de 20 mm x 3 mm, y en puré obtenido con una trituradora de cuchillas.

Para el método de secado combinado las muestras fueron cortadas en discos de 30 mm de diámetro y 5 mm de espesor. La deshidratación osmótica se llevó a cabo en una solución hipertónica de sacarosa en agua a 50° Brix, con una relación 3:100 (g:g) de zapallo: solución osmótica y 1 hora de inmersión de la muestra, con agitación manual a 50° C. La actividad acuosa de la muestra se determinó antes y después del tratamiento de deshidratación osmótico y después del secado por convección o por radiación.

La actividad de agua se determinó a una temperatura estable de 25°C al inicio y al final de cada etapa del proceso de secado, utilizando un equipo AQUALAB, Modelo Series 3TE.

El secado de las muestras se realizó por dos métodos. Secado por convección natural sin circulación de aire caliente a temperatura constante e igual a 65° C, para lo que se empleó una estufa con regulador de temperatura marca TECNO DALVO modelo TDE 140. Las muestras fueron colocadas en placas de Petri de vidrio, pesadas en balanza electrónica RADWAG AS220. El control de la evolución del peso de la muestra se realizó mediante el método gravimétrico. El secado finalizó cuando la muestra alcanzó un peso constante. El secado por radiación se llevó a cabo a temperatura constante e igual a 65° C en un analizador electrónico de humedad (termobalanza) marca KERN MLB\_N, versión 2.1 04/2010, que utiliza una lámpara halógena de 400 W como fuente de calor. Las muestras fueron alojadas en el platillo del equipo.

## Curvas de secado. Modelos

Durante la operación de secado se obtuvieron los datos por triplicado del peso de la muestra para distintos tiempos. Debido a que el contenido inicial de humedad en las distintas muestras no fue el mismo, se llevó a cabo una parametrización de los datos experimentales. La evolución del contenido de humedad en el tiempo fue expresada en términos de la relación de humedad ( $RH$ ), ecuación (1) con el objeto de realizar el estudio comparativo entre la preparación de las muestras, el método de secado y su respectivo modelado. La relación de humedad durante el secado se obtuvo a partir de valores de contenido de humedad usando la siguiente ecuación:

$$RH = \frac{M_t - M_e}{M_i - M_e} \quad (1)$$

Donde  $RH$  es la relación de humedad adimensional,  $M_t$  es el contenido de humedad a un determinado tiempo del secado (kg agua/kg materia seca),  $M_i$  es el contenido de humedad inicial (kg agua/kg materia seca),  $M_e$  es el contenido de humedad en el equilibrio (kg agua/kg materia seca) (Afolabi *et al.*, 2015).

Cuando la muestra alcanzó su peso constante se asumió que el agua libre se eliminó por completo, por lo que en este punto del secado el peso de la muestra corresponde a la masa de sólidos secos de la misma. El contenido de humedad en el equilibrio, es el contenido de humedad alcanzado cuando el cambio en el peso de la muestra fue insignificante, es decir cuando la muestra alcanzó un peso constante. Por lo dicho en el párrafo anterior, este contenido de humedad en el equilibrio se consideró despreciable. Los datos experimentales fueron ajustados a distintos modelos semiempíricos de capa delgada de los cuales el modelo de Page (ecuación 2), Midili (ecuación 3), y el Parabólico (ecuación 4) (Doymaz, 2007; Ozbek y Dadalli, 2007) presentaron una mejor convergencia.

Page:

$$RH = \exp(-kt^n) \quad (2)$$

Midili:

$$RH = a \exp(-kt^n) + bt \quad (3)$$

Parabólico:

$$RH = a + bt + ct^2 \quad (4)$$

siendo  $t$  el tiempo (minutos) y  $a, b, c, k, n$  son constantes del producto.

Los parámetros estadísticos tales como el coeficiente de correlación ( $R^2$ ), el coeficiente Chi-cuadrado ( $\chi^2$ ) y la suma de los cuadrados de los errores (SSE) fueron usados para determinar la bondad del ajuste. El modelo que presentó un mayor valor de  $R^2$  y un menor valor del  $\chi^2$  y SSE fue el que mejor describió la variación de los valores de la relación de humedad,  $RH$ , con el tiempo,  $t$  (Afolabi *et al.*, 2014).

## Resultados y discusión

En las Fig.1 y Fig.2 se muestran los datos experimentales obtenidos del secado en termobalanza y en estufa por convección, respectivamente, de las distintas muestras (rallado, cilindros, triturado y discos con deshidratación osmótica). De la observación de los datos, surge que para el secado en termobalanza (radiación) (Fig.1) hay similitud de comportamientos para las distintas preparaciones a lo largo de todo el ciclo de secado, donde el tiempo de secado fue menor en la muestra en formato rallado, mientras que a los discos con tratamiento previo al secado les llevó más tiempo alcanzar la humedad de equilibrio. El calentamiento por radiación de las distintas muestras es más rápido y uniforme, por lo que la superficie irradiada evapora más rápidamente resultando en un tiempo de secado mucho menor. Cuando el secado se llevó a cabo en estufa por convección natural (Fig.2) se observaron diferencias apreciables en las curvas de secado obtenidas presentándose

convergencia de las mismas al final del secado para las distintas preparaciones de las muestras. En este caso el tiempo de secado fue menor para las muestras en cilindros mientras que los discos con deshidratación osmótica previa (discos DO) requirieron un tiempo mucho mayor respecto a las otras muestras, para alcanzar la humedad de equilibrio. Los resultados para las muestras sin tratamiento previo de deshidratación mostraron correspondencia con los reportados en otras investigaciones (Doymaz, 2007; Nawirska *et al.*, 2009; Guiné *et al.*, 2011; Hashim *et al.*, 2014).

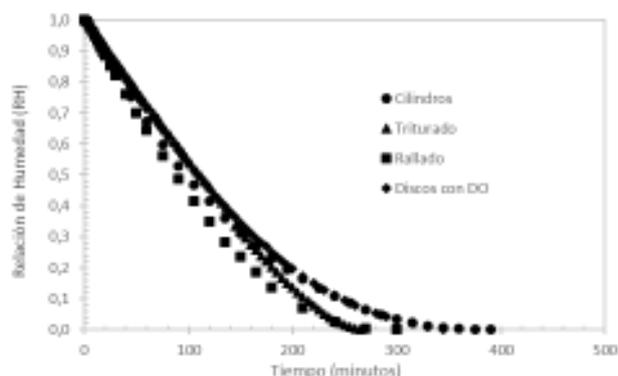


Fig.1: Secado por radiación a 65° C para los distintos formatos.

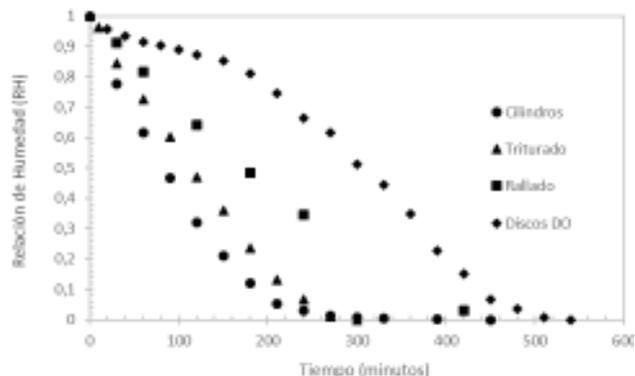


Fig.2: Secado en estufa por convección a 65°C para los distintos formatos.

En la Fig.2 puede observarse que el contenido de humedad fue mayor en todo el proceso de secado para la muestra sometida a un tratamiento de deshidratación osmótica previa. Para este caso la curva de secado presentó dos períodos bien diferenciados, al comienzo la velocidad de eliminación de agua es muy lenta hasta alcanzar una relación de humedad de 0,8 a partir del cual la velocidad de secado aumenta manteniéndose baja respecto a la velocidad de secado para las otras muestras. A diferencia de lo que podría esperarse, que el tratamiento combinado de deshidratación osmótica seguido del secado implicara un menor tiempo de secado, el secado por fuente de calor presentó tiempos de proceso menores al secado combinado. Durante el tratamiento de deshidratación osmótica, la muestra aumenta su contenido en sacarosa, la cual tiene una elevada capacidad de retención de agua, lo que implica un aumento en la resistencia al movimiento de humedad dentro de la muestra, resultando en un mayor contenido de agua en la muestra seca (Rahman y Lamb, 1991). Simal *et al.* (1997) encontraron que la velocidad de secado para muestras de manzanas predeshidratadas osmóticamente fue menor cuando el tiempo de inmersión fue de 30 minutos, mientras que para tiempos mayores de inmersión la velocidad de secado aumentó.

La marcada diferencia entre el secado por convección y por radiación para las muestras con deshidratación osmótica previa, podría deberse que a la temperatura de trabajo de 65° C la transferencia de humedad en el secado por convección es mas lenta debido a que la transferencia de energía insuficiente para eliminar el agua ligada.

Hasta una relación de humedad (RH) de aproximadamente 0,5 el comportamiento presentó una variación lineal, que se correspondería con un estado de libre disponibilidad del agua. A partir de ese valor se observa una pendiente decreciente hasta un rango de RH de 0,2-0,1 a partir del cual la pendiente se hace constante. En esta última etapa comienzan a manifestarse comportamientos que reflejan la dificultad de extracción del agua, con una velocidad de secado cada vez menor hasta el aplanamiento de la curva. Las formas de las curvas guardan similitud a las observadas en otros trabajos (Nawirska *et al.*, 2009; Hashim *et al.*, 2014; Seremet *et al.*, 2016).

En el caso de las muestras sin tratamiento previo al secado, ambos métodos de secado, por radiación y por convección, redujeron la actividad de agua de 0,984 a 0,30 para las muestra triturada y rallada, mientras que para la muestra en forma de cilindro la actividad de agua se redujo a 0,40. En la etapa de deshidratación osmótica el contenido de agua se redujo en un 45% respecto a los sólidos secos, con una actividad acuosa 0,96. Mientras que, tanto en el secado por convección como en el secado por radiación, posterior al tratamiento de deshidratación osmótica, el contenido de agua se redujo por encima del 30% respecto del contenido de agua inicial. La actividad acuosa alcanzada por el método combinado de secado fue entre 0,46 y 0,60. Para estos valores de actividad

de agua, el producto final alcanzó los parámetros de seguridad desde el punto de vista del deterioro microbiano (Taoukis y Richardson, 2007).

En las Tablas 1 y 2 se muestran los valores de los parámetros obtenidos del ajuste a los modelos de secado de Page, de Midili y el parabólico. Las curvas de secado obtenidas experimentalmente mostraron un buen ajuste a los tres modelos propuestos, tanto para el secado por radiación (en termobalanza) como para el secado en estufa por convección natural. Los datos correspondientes a la curva de secado en estufa de las muestras con deshidratación osmótica previa presentaron un menor ajuste, pero igual sigue siendo bueno.

Desde el punto de vista organoléptico, las muestras que solamente fueron secadas por los distintos métodos fueron más crocantes, quebradizas y sin pérdidas de color o pardeamiento. Aquellas muestras sometidas a un secado combinado, deshidratación osmótica y secado (por radiación o convección), al finalizar el secado presentaron una textura gomosa, sin alteración del color.

Tabla 1: Parámetros de los modelos de secado por radiación

<b>Modelo de Page <math>RH = \exp(-kt^n)</math></b>							
Formato	K	N	R <sup>2</sup>	$\chi^2$	SSE		
Cilindros	0,00212	1,26808	0,99874	0,00021	0,00019		
Triturado	0,00061	1,51462	0,99375	0,00085	0,00083		
Rallado	0,00206	1,31351	0,99828	0,00027	0,00025		
Discos DO	0,00139	1,33219	0,99816	0,00024	0,00023		
<b>Modelo de Midili <math>RH = a \exp(-kt^n) + bt</math></b>							
	K	N	a	b	R <sup>2</sup>	$\chi^2$	SSE
Cilindros	0,00681	1,01137	1,02588	-0,00023	0,99849	0,00023	0,0002
Triturado	0,00128	1,28277	0,99472	-0,00084	0,99930	0,00008	0,00008
Rallado	0,00248	1,25264	0,99520	-0,00021	0,99949	0,00007	0,00006
Discos DO	0,07307	0,38286	1,13588	-0,00203	0,98178	0,00216	0,00209
<b>Modelo Parabólico <math>RH = a + bt + ct^2</math></b>							
	A	b	c x 10 <sup>6</sup>	R <sup>2</sup>	$\chi^2$	SSE	
Cilindros	0,99896	-0,00577	8,379	0,99905	0,00014	0,00012	
Triturado	1,02047	-0,00535	5,099	0,99874	0,00015	0,00014	
Rallado	1,01556	-0,00699	1,196	0,99977	0,00003	0,00003	
Discos DO	1,01542	-0,00561	7,732	0,99978	0,00003	0,00003	

Tabla 2: Parámetros de los modelos de secado en estufa de convección natural

<b>Modelo de Page <math>RH = \exp(-kt^n)</math></b>							
Formato	K	N	R <sup>2</sup>	$\chi^2$	SSE		
Cilindros	0,00222	1,31432	0,99672	0,00043	0,00036		
Triturado	0,00054	1,52936	0,99271	0,00091	0,00079		
Rallado	0,00034	1,48957	0,99374	0,00130	0,00097		
Discos DO	5,888 10 <sup>-6</sup>	2,07474	0,97385	0,00369	0,00333		
<b>Modelo de Midili <math>RH = a \exp(-kt^n) + bt</math></b>							
	K	N	A	B	R <sup>2</sup>	$\chi^2$	SSE
Cilindros	0,00877	1,02287	1,03221	-0,00011	0,99061	0,00135	0,00096
Triturado	0,00386	1,04498	1,01023	-0,00091	0,99617	0,00048	0,00036
Rallado	0,00169	1,12238	1,00367	-0,00046	0,99964	0,00009	0,00005
Discos DO	-0,02331	0,41270	0,98946	-0,00260	0,97957	0,00313	0,0028
<b>Modelo Parabólico <math>RH = a + bt + ct^2</math></b>							
	A	B	c x 10 <sup>6</sup>	R <sup>2</sup>	$\chi^2$	SSE	
Cilindros	0,9472	-0,00599	8,978	0,98564	0,00186	0,00146	
Triturado	1,01437	-0,00543	6,477	0,99748	0,00029	0,00024	
Rallado	1,00967	-0,00336	2,447	0,99955	0,00009	0,00005	
Discos DO	1,01024	-0,00111	-1,796	0,98224	0,00257	0,00243	

## Conclusiones

En lo que se refiere a la influencia de la metodología de secado, se pudo observar que en el secado por radiación las curvas para las distintas preparaciones mantienen una tendencia similar durante

todo el proceso y el tiempo de secado fue menor en la muestra rallada. En el secado por convección se observó una variación significativa entre las preparaciones, mostrando que para la muestra previamente deshidratada por ósmosis el secado fue mucho más lento.

A simple vista, el color de las muestras fue indistinto al método de secado aplicado, sin observarse alteración en este parámetro. En cuanto a la textura, las muestras que sólo fueron secadas por convección y radiación resultaron más quebradizas, crocantes. Mientras que las muestras sometidas a un tratamiento previo de deshidratación osmótica, al finalizar el secado por convección y por radiación presentaron una textura más gomosa. A priori, la muestra de mayor conveniencia para la formulación de mezclas secas resultaría la muestra sin tratamiento de deshidratación osmótica, situación que deberá ser ratificada mediante futuros trabajos.

Las curvas de secado pueden modelarse satisfactoriamente a los modelos de secado en capa delgada de Page, Midilli y al modelo parabólico. La bondad del ajuste para las muestras sometidas a deshidratación osmótica fue algo menor que para las otras muestras, por lo que queda por probar un modelo para este método.

## Referencias

- Akpinar, E.K. (2006). Determination of suitable thin layer drying curve model for some vegetables and fruits. *Journal of Food Engineering*, 73, 75–84.
- Alibas, I. (2007). Microwave, air and combined microwave – air – drying parameters of pumpkin slices. *LWT - Food Science and Technology*, 40, 1445–1451.
- Afolabi, T.J., Tunde-Akintunde, T.Y., Adeyanju, J.A. (2015) Mathematical modeling of drying kinetics of untreated and pretreated cocoyam slices. *Journal of Food Science Technology*, 52, 2731-2740.
- Della Gaspera P. (2013). Manual del cultivo del zapallo anquito, Cap. 2, pp. 25-29. 1ª ed. INTA.
- Doymaz, I. (2007). The kinetics of forced convective air-drying of pumpkin slices. *Journal of Food Engineering*, 79, 243–248.
- Guiné, R.P.F., Pinho, S., Barroca, M.J. (2011). Study of the convective drying of pumpkin (*Cucurbita maxima*). *Food and Bioproducts Processing*, 89, 422–428.
- Hashim, N., Daniel, O. & Rahaman, E. (2014). A Preliminary Study: Kinetic Model of Drying Process of Pumpkins (*Cucurbita Moschata*) in a Convective Hot Air Dryer. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 2, 345–352.
- Nawirska, A., Figiel, A., Kucharska, A.Z., Sokól-Letowska, A. & Biesiada, A. (2009). Drying kinetics and quality parameters of pumpkin slices dehydrated using different methods. *Journal of Food Engineering*, 94, 14-20.
- Ozbek, B., Dadalli, G. (2007). Thin Layer drying characteristics and modelling of mint leaves undergoing microwave treatment. *J. Food. Eng.*, 83, 541-549.
- Rahman, MD. S., Lamb, J. (1991) Air drying behavior of fresh and osmotically dehydrated pineapple. *Journal of Food Process Engineering*, 14, 163-171.
- Seremet, L., Botez E., Nistor, O., Andronoiu, D. & Mocanu, G. (2016). Effect of different drying methods on moisture ratio and rehydration of pumpkin slices. *Food Chemistry*, 195, 104–109.
- Simal, E., Deyá, E., Frau, M., Rosselló (1997) Simple Modelling of air drying curve of fresh and osmotically pre-dehydrated apple cubes. *Journal of Food Engineering*, 33, 139-150.
- Sojak, M., Głowacki, S. (2010). Analysis of giant pumpkin (*Cucurbita maxima*) drying kinetics in various technologies of convective drying. *Journal of Food Engineering*, 99 (3), 323–329.
- Taoukis, P., Richardson, M. (2007). Principles of intermediate-moisture foods and related technology. En G. Barbosa-Cánovas, A. Fontana, S. Schmidt, & T. Labuza, *Water Activity in Foods, Fundamentals and Applications* (págs. 273- 312). Iowa: Blackwell Publishing and Institute of Food Technologists.

# DESARROLLO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE EFLUENTE PRODUCIDO EN UNA INSTALACIÓN DE ORDEÑO.

Autores: Eliana Varela <sup>1</sup>, Ornella Carletti <sup>1</sup>.

Directores: Ing. Diego Semprini; MSc. Miguel Rosa

<sup>1</sup> Pasantes Práctica Supervisada. U.T.N. - Facultad Regional Villa María.

Av. Universidad 450. Villa María. Córdoba. Argentina.

## Resumen

En el presente trabajo, se plantea un sistema de tratamiento de efluentes para dar solución y valor agregado a los desechos que se producen dentro de la actividad lechera con base en una revisión bibliográfica de los distintos diseños existentes, respaldados con experiencias técnicas en laboratorio. Planteando como alternativa la opción de incremento de efluente por inclemencias climáticas, aumento de los animales de ordeño, y todas las circunstancias que provoquen cambios en los parámetros de diseño, se determina una correspondencia notable entre estos y las dimensiones de las unidades de tratamiento. El análisis se realizó con un promedio de 23,24 m<sup>3</sup>/día de efluente con una carga orgánica inicial de 346 kg DBO<sub>5</sub>/Día para las características del establecimiento con 580 animales en ordeño. Se obtuvieron las dimensiones del sedimentador, lagunas anaeróbica y facultativas con un volumen de 28, 738 y 190 m<sup>3</sup> respectivamente, a través de la experiencia de planta piloto. Se concluye que el sistema se adapta con facilidad a diversas cantidades de animales, y que con pequeñas modificaciones es posible obtener un subproducto que cumpla con la Ley provincial N° 10.208 y tenga excelentes características como enmienda orgánica para el suelo.

**Palabras claves:** Efluente; Tambo; Tratamiento; Lagunas; DQO.

## Introducción

La intensificación de los sistemas de producción ganaderos ocurrida en los últimos años, acrecentó la necesidad de desarrollar sistemas para el manejo de los residuos que permitan minimizar los impactos negativos sobre el ambiente, dar respuesta a las crecientes demandas de la población y de los mercados y cumplir con las reglamentaciones vigentes.[12] Esta transformación del sistema productivo ocasiona, además de un aumento en los valores de producción individual de leche, un fuerte incremento de las cantidades de efluentes y residuos generados [1]. La producción de leche y sus derivados constituye uno de los subsistemas agroalimentarios de mayor importancia estratégica en Argentina. En las provincias de Santa Fe, Córdoba y Buenos Aires se concentra alrededor del 96 % del total de la producción de leche [2]. El objetivo del presente trabajo se basa en desarrollar un sistema de tratamiento de efluente en una instalación tampera dentro del marco de las Buenas Prácticas Agropecuarias [3]. El establecimiento "San Antonio" en la pedanía de Yucat, departamento Tercero Arriba, provincia de Córdoba, cuenta con 350 ha y 580 vacas destinadas a la producción de leche con un promedio de 24 L/vaca.día. Es necesario caracterizar el efluente para determinar el caudal diario, el lapso de tiempo en que se produce y las cargas orgánicas e inorgánicas a tratar. Las determinaciones analíticas fueron realizadas a la entrada y salida del sedimentador y laguna anaeróbica. Al

observar que su variación es similar a la descrita en la bibliografía empleada, se optó por considerar que, en las lagunas de tratamientos siguientes, se presenta panorama similar. El efluente del tambo puede acarrear grandes riesgos de contaminación cruzada y en las lagunas, oxidación aerobia tiene lugar en presencia de oxígeno. Esto hace que parte de la materia orgánica se sintetiza para formar nuevos microorganismos y el residuo se convierte en productos finales relativamente estables. Por su parte en ausencia de oxígeno, la oxidación anaerobia produce nuevas células y productos finales inestables tales como ácidos orgánicos, alcoholes, cetonas, y metano.

La prueba de demanda bioquímica de oxígeno (DBO), mide el oxígeno consumido por las bacterias mientras oxidan la materia orgánica en condiciones aerobias. La relación entre la  $DBO_5$  y la demanda química de oxígeno (DQO) es, para efluentes como el que se analiza, alrededor del 80%. Los diseños estudiados efectuaron la remoción conveniente de la carga orgánica, continuamente a través del tiempo, relacionándose los valores de carga orgánica con las dimensiones de las unidades.

## Materiales y métodos

### a. Técnicas y muestreo

El procedimiento de muestreo se realizó de acuerdo a la normativa dada [11], a la salida del canal del tambo, Figura 1(a). Se obtuvo una muestra conformada por 25 extracciones en intervalos de 9 minutos, abarcando de esta manera todo el proceso de ordeño y lavado del sector, Figura 1(b). Las submuestras se recolectaron en un recipiente de aproximadamente 20 l agitando vigorosamente para impedir la sedimentación, con el objetivo de extraer una alícuota de 2 l junto con una subpipeta de 10 ml para analizar en Planta Piloto de Ingeniería Química de la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Villa María.

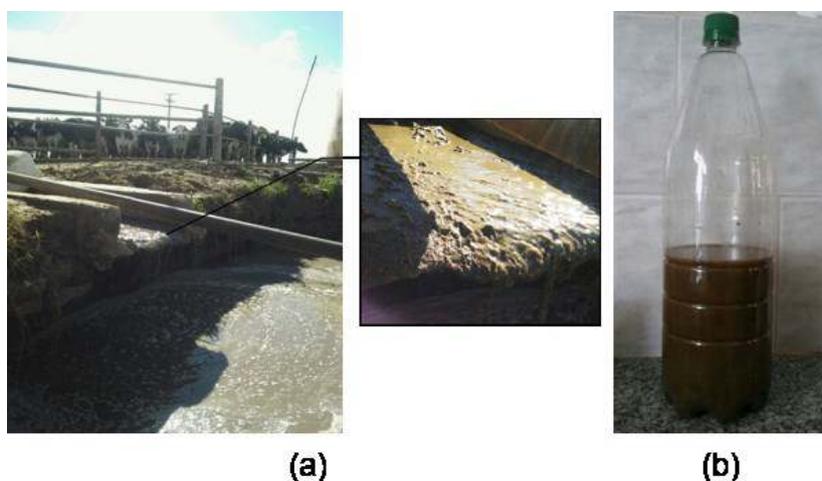


Figura 1: (a) Lugar de toma de muestra, (b) Muestra llevada a Planta Piloto.

Posteriormente se colocaron en una probeta 40 ml, los cuales se dejaron sedimentar el tiempo suficiente para el diseño del sedimentado, Figura 2(a), extrayendo luego una muestra de la mitad de altura de la probeta, Figura 2(b). Luego de 6 días se repitió el mismo procedimiento, analizando

para cada muestra los parámetros sólidos totales (ST) y DQO según las técnicas Standard Methods, 19° Ed., Método 2540 B y Método 5220 D, de manera respectiva.



Figura 2: (a) Probeta con muestra a analizar, (b) extracción de muestra, (c) Dilución realizada para extracción con micropipeta, (d) variación en color de las muestras, antes y después de la digestión.

## b. Determinación de DQO

Para la determinación de la DQO se tomaron muestras utilizando micropipetas de 1000 ml de volumen variable marca Eppendorf, Figura 2(c) y se colocó en viales de digestión marca Hach, Figura 2(d), los cuales se calentaron durante 2 horas a una temperatura de 150 °C, en un reactor térmico (Termotest TT150). Se midió la absorbancia en un espectrofotómetro de haz simple UV/Visible Mecasys Optizen POP con celdas de 1 cm de paso óptico, a una longitud de onda de 420 nm para rango bajo y 620 nm para rango medio/alto. Esta absorbancia medida es directamente proporcional a la cantidad de DQO que contiene el efluente tratado, al contrastarlo con una curva de calibración realizada con ftalato ácido de potasio. Para la sedimentación se empleó una probeta de un litro graduada y un cronómetro.

## Resultados y discusión

### a. Procedimiento

Los efluentes originados en las áreas de ordeño contienen excretas, orina y agua de lavado de las instalaciones, además de restos de leche, detergentes y otros productos químicos utilizados. Debido a ello, la composición del efluente es elevada en sólidos, nutrientes, materia orgánica y microorganismos que son capaces de degradar el medioambiente que reciba esta descarga (cuerpo de agua y/o suelo). La depuración de los efluentes en las lagunas es un proceso biológico, que, por acción de los microorganismos, produce la degradación de la materia orgánica. El depósito se puede realizar en una o más lagunas para que se origine una separación de sólidos y una mejor fermentación bacteriana [4]. Para determinar las dimensiones de las unidades de tratamiento que se adapten a la problemática, se realizó una caracterización del efluente [5], obteniéndose los valores expuestos en la Tabla 1. En la Tabla 2 se calculó la carga orgánica de referencia para un animal de ordeño, según INTA es de 550 kg.

Tabla 1: Valores Calculados de Volumen de efluente diario en el Establecimiento.

Origen de las aguas residuales de tambo	Volumen Generado (l/d)
Fecas y Orina	1166,7
Aguas Sucias	1617,6
Agua de Lluvia (760 Mm)	1028,4
Agua de Lavado de Pisos	18400
Total	23240

Tabla 2: Carga generada en el corral por animal.

Carga de DBO5 generada en un día	0,935 kg DBO5/día
Tiempo de sueño	8 h
Numero de vacas	580
Tiempo total de ordeño	3,5 h
Tiempo medio de una vaca en el corral durante un ordeño	1,75 h
Carga de DBO5 generada en el corral por una vaca en un día	0,20 kg DBO5/VO/día

Tabla 3: Determinación de Demanda Química de Oxígeno y porcentaje de remoción de Sólidos Totales.

Demanda Química de Oxígeno	DQO (mg/l)	Porcentaje de remoción de Sólidos Totales (ST) en el sedimentador (%)
Entrada Sedimentador	18636	15,59
Salida Sedimentador	11440	
Salida Anaeróbica	8010	

Con la carga orgánica obtenida se calcula el volumen y el tiempo de residencia necesario para su degradación y con estos valores se efectúan los análisis de las muestras en el laboratorio. En la Tabla 3, se resumen los valores promedios obtenidos de los correspondientes análisis por duplicado. El sistema óptimo de tratamiento de estos tipos de efluentes, con el objetivo de producir fertilizante, constará de una trampa primaria de retención de sólidos, un sistema de dos sedimentadores en paralelo y una laguna anaeróbica, en serie con dos lagunas facultativas. La trampa de retención de sólidos se diseña fundamentándose en la frecuencia de limpieza, la pendiente y el ancho efectivo [8 y 9]. La experiencia de sedimentación en base a Foust, Alan [7] y Ramalho R. S [9]; arroja una velocidad crítica de sedimentación de 0,0008 m/s, con la que se determina el área necesaria para el caudal de efluente a tratar y con este valor las demás dimensiones. En la laguna anaeróbica, el diseño se basó en un 25 – 40% de retención de materia orgánica, logrando así una degradación correspondiente a la que se exhibe en bibliografía, [9]. Con el porcentaje de remoción experimental se determinaron las extensiones de los módulos facultativos, justificándose con las ecuaciones empíricas de referencia [9 y10]. En síntesis, en la Tabla 4, se muestran las medidas de las instalaciones de tratamiento correspondientes a lo seleccionado como óptimo para el contexto de la situación, con un volumen de efluente de 23,24 m<sup>3</sup>/día. En la Figura 3, se observa la evolución del volumen del módulo anaeróbico con la variación de la carga orgánica proporcionada de la diversificación de efluente con el aumento de la cantidad de animales.

Tabla 4: Resumen de las Dimensiones de las Unidades Principales de Tratamiento.

Sedimentador - Modelo I				
Volumen Sedimentador	Ancho	Largo	Altura	
28 m <sup>3</sup>	2 m	9,35 m	1,5 m	
Laguna Anaeróbica - Modelo II. Profundidad: 3 metros.				
Volumen Laguna	Lado de la Base Menor	Lado de la Base Mayor	Lado de la Base Mayor con Borde	
738m <sup>3</sup>	8,1 m	20,1 m	22,1 m	
Laguna Facultativa - Modelo II				
Volumen Laguna	Profundidad	Área	Ancho	Largo
190 m <sup>3</sup>	1 m	189,25 m <sup>2</sup>	10,09 m	18,76 m

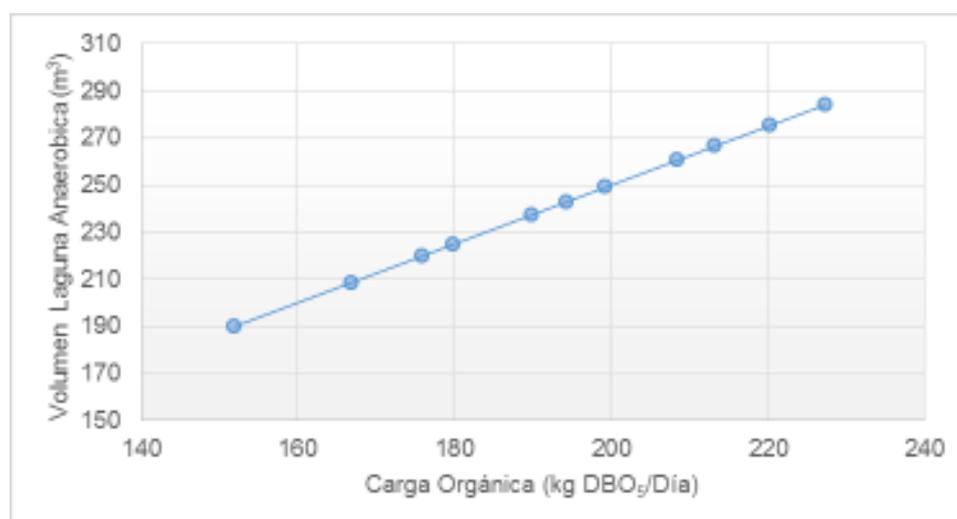


Figura 3: Correspondencia de la DBO<sub>5</sub> inicial con las dimensiones de la laguna anaeróbica

### b. Análisis de resultados

A partir del rango de análisis que se selecciona, se afirma que las dimensiones para el tratamiento son factibles de construir y sencillas de mantener. Si se aumenta la cantidad de vacas de ordeño se incrementa el efluente a tratar y las dimensiones del sistema; el límite del tamaño se encuentra relacionado con el espacio físico disponible, por lo que resulta posible incorporar lagunas en paralelo al sistema que se plantea, disminuyendo la capacidad de cada una de ellas, sin afectar la eficiencia del proceso.

## Conclusiones

Se encontró que el porcentaje de remoción de sólidos en el sedimentador es de 15.59%, y la variación de DQO de 38.61%. Para la laguna anaeróbica, se obtuvo una eficiencia de reducción de DQO de 29.98%; valores que permiten obtener un producto final acorde a la Ley provincial n° 10.208. Mediante, un sistema de tratamiento de efluente en serie, que consiste en un sedimentador, una laguna anaeróbica y dos lagunas facultativas; cuyas dimensiones óptimas son 2 m de ancho, 9.35 m de largo y 1.5 m de alto para el primero; 737.5 m<sup>3</sup> de volumen, 20.1 m de largo superficial para el segundo y 10.09 m de ancho, 18.76 m de largo y 1 m de alto para el tercero.

## Bibliografía

- [1] García, K. Manejo de efluentes en instalaciones tamberas. Estación Experimental Agropecuaria Rafaela. Santa Fe, Argentina.
- [2] Yapur, María C. 2010. Evaluación de un sistema de riego por aspersion de efluentes de tambo. Biblioteca digital de la Universidad Católica Argentina. Argentina.
- [3] Buenas Prácticas Agropecuarias y la Ley provincial N° 10.208, Decreto 847/16 en sus anexos I y III, resolución 29/17.
- [4] Ministerio de ganadería, agricultura y pesca. Fundación Julio Ricaldoni. Facultad de ingeniería Universidad de la república. 2008. Manual para el manejo de efluentes de tambo. Uruguay.
- [5] Salazar Sperberg, F. 2017. III Jornada Provincial de Gestión de Residuos Pecuarios, INTA Marcos Juárez, Argentina. Manejo de 'residuos' pecuarios, alternativas de tratamiento y buenas prácticas para su utilización como enmienda orgánica.
- [6] González A. y col. 2008. Guía de gestión integral de aguas en establecimientos lecheros.
- [7] Foust, Alan y col. 1987. Principios de operaciones unitarias. Segunda edición. 2006 décima reimpresión. Editorial Compañía editorial continental, S.A. de C.V. p 628 – 632.
- [8] Pittamiglio Marcelo. 2004. Guía diseño y operación de sistemas de tratamiento de efluentes de tambo, Dirección Nacional de Medio Ambiente. Facultad de Veterinaria. Montevideo Uruguay.
- [9] Ramalho R. S. 1983. Tratamiento de aguas residuales. Editorial Reverté S.A. Barcelona, Bogotá, Buenos Aires, Caracas, Méjico.
- [10] Yañez Fabián. 1948. Lagunas de Estabilización. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Lima Perú.
- [11] Taverna A. M. 2014. Procedimiento de muestreo de efluentes líquidos y residuos sólidos orgánicos generados en el tambo. INTA EEA Rafaela.
- [12] Otero A. Tratamiento de efluentes en un tambo comercial. INTA General Villegas.
- [13] García, K. 2012 Ficha técnica n° 25. Ambiente e infraestructura, Resultados de investigación lechera. INTA Estación Experimental Agropecuaria Rafaela.

# ADSORCIÓN DE AZUL DE METILENO MEDIANTE RESIDUOS PROVENIENTES DE LA INDUSTRIA ALGODONERA

Autores: Camila Macarena Torre, Gimena Fontana, María Paz Liva.  
Tutora: María Daniela Tenev

Grupo De Investigación Sobre Temas Ambientales y Químicos  
UTN - FRRe  
Resistencia, Chaco, Argentina  
e-mail: gistaq@gmail.com

## 1. Resumen

Los colorantes químicos son utilizados en su gran mayoría por industrias textiles para sus procesos de teñido. Estos colorantes son resistentes a la degradación. Las industrias textiles, al ser generadoras de un importante volumen de efluente, crean una problemática ambiental en los cuerpos receptores de sus efluentes coloreados.

Actualmente, uno de los métodos más estudiados para tratar este tipo de efluentes es la adsorción. El adsorbente más eficiente es el carbón activado, pero al ser un material de elevado costo, se busca otro material alternativo como la cascarilla de algodón, proveniente de los desechos de la industria algodonera de la región del nordeste argentino, para que pueda suplantarlos de manera eficiente y más económica.

En el presente trabajo se evaluó el comportamiento de un residuo agroindustrial, cascarilla de algodón, como adsorbente mediante la adsorción de azul de metileno. Para ello se analizaron las curvas de dosaje y se evaluaron los equilibrios de adsorción mediante los modelos isotérmicos de Langmuir, Freundlich y BET.

La metodología seguida para realizar dichos análisis consistió en poner en contacto 500mg de adsorbente con 100ml de solución de azul de metileno a distintas concentraciones (de 32 ppm a 3500 ppm) y dejarlo en contacto, con agitación continua a 200 rpm durante 24 hs. Para determinar la concentración de azul de metileno antes y después de alcanzado el equilibrio se utilizó un espectrofotómetro.

El análisis de los resultados arrojó que la mejor relación, masa de adsorbente y masa de Azul de Metileno, que remueve el 80% de color es de 3mg de Algodón/mg de AM. Además, los datos de equilibrio mostraron un mejor ajuste para la isoterma que sigue el modelo de Langmuir, característica de una adsorción química.

A partir de los resultados se concluye que la cascarilla de algodón podría ser utilizada como material alternativo para tratar efluentes textiles.

## 2. Introducción

La industria textil es una de las industrias que más utiliza colorantes, químicos y agua en sus procesos de manufactura. La resistencia de los colorantes a la degradación en cualquiera de sus formas, ha sido tan perfeccionada que en la vestimenta actual la vida del color es ya comparable a la propia vida del tejido y de la prenda misma.

Este consumo de agua, químicos y colorantes genera un importante volumen de efluentes, lo que implica un gran impacto ambiental para los cuerpos receptores de dichos efluentes.

La presencia de colorantes en los cuerpos de agua, provenientes de los efluentes de las industrias textiles, son estéticamente indeseables y afecta a la biota acuática dado que reduce la penetración de la radiación solar, afectando drásticamente tanto la fotosíntesis como la fotólisis de diferentes sustancias (Aboua et al. 2015; Aksu et al. 2008; Garg et al. 2004; Moreno et al. 2012b).

Debido a las características contaminantes de los colorantes, es de suma importancia la remoción de los mismos antes de su disposición final. Existen diferentes tratamientos para los efluentes coloreados, por ejemplo: coagulación, floculación, ósmosis inversa, precipitación, oxidación, reducción, filtración por membrana, tratamientos ultrasónicos, tratamientos anaeróbicos y aeróbicos, degradación bioquímica, adsorción, descomposición microbiológica y ozonización (Alemán et al. 2011; Aksu et al. 2008; Garg et al. 2003). Sin embargo, el método de adsorción es considerado el más eficiente para remover color en los efluentes industriales.

Para la adsorción de colorantes, el adsorbente usado habitualmente es el carbón activado, aunque su elevado costo hace que sea necesario buscar adsorbentes alternativos.

La investigación de materiales alternativos, que posean propiedades similares al carbón activado, de origen natural, fácil adquisición y mínimo valor económico se ha fortalecido enormemente en los últimos años.

En el Chaco, la producción de algodón es una de las actividades agropecuarias más desarrolladas. Esta provincia genera un 40 a 60% de todo el algodón cosechado en Argentina, por lo cual su economía se basa en este cultivo. Si bien la eficiencia en el proceso de desmote ha reducido la cantidad de residuos generados, el volumen todavía es significativo. La mayoría de las desmotadoras, incineran los residuos en hornos a cielo abierto, sin ningún tipo de aprovechamiento, ocasionando contaminación atmosférica. Otras, realizan la disposición en predios donde, en algunos casos, los residuos son recolectados para alimentación del ganado bovino, ladrillerías, etc.

En el presente trabajo se evaluó el comportamiento de un residuo agroindustrial, cascarilla de algodón, como adsorbente mediante la adsorción de azul de metileno. Para ello se analizaron las curvas de dosaje y se evaluaron los equilibrios de adsorción mediante los modelos isotérmicos de Langmuir, Freundlich y BET.

### **3. Materiales y métodos**

#### **3.1. Preparación del material adsorbente**

El material adsorbente, cascarillas de algodón provenientes de una desmotadora de algodón, fue recogido en bolsas plásticas. Debido a su carácter de desecho, este se encuentra sucio con restos de tierras y otros materiales indeseados que afectan a sus propiedades adsorbentes, por lo que es fundamental su pretratamiento antes de someterlos a los procesos de adsorción.

En primera instancia las cascarillas fueron clasificadas por tamaño mediante 2 tamices, el primero con una malla de 3,35mm y el segundo de 0,85mm.

Posteriormente, la fracción seleccionada fue sometida a 4 lavados consecutivos con agua hirviendo a diferentes tiempos de lavados, hasta la considerable reducción de color eliminado por el residuo al entrar en contacto con agua caliente.

Luego se secaron durante 24 hs en estufa a 60°C.

### 3.2. Preparación del adsorbato

Se preparó una solución madre de 3500ppm de azul de metileno utilizando agua destilada y azul de metileno de 95% de pureza, marca Cicarrelli, sin tratamiento previo. A partir de esta solución se prepararon las soluciones más diluidas. Las distintas concentraciones fueron medidas por espectrofotometría, utilizando un equipo UV/VIS Spectrometer Lambda 25 PerkinElmer a máxima longitud de onda de 663nm.

### 3.3. Curva de Dosaje y Equilibrio de Adsorción

Para obtener tanto la curva de dosaje como el equilibrio de adsorción se evaluó la disminución de concentración de azul de metileno al entrar en contacto con el material adsorbente una vez alcanzado el equilibrio.

Para ello se realizaron ensayos por duplicado, donde se trató 100ml de solución a diferentes concentraciones iniciales de azul de metileno (de 32ppm hasta 3500ppm) con 500mg de algodón. Las muestras se agitaron con un agitador orbital a 200rpm durante 24 horas hasta alcanzar el equilibrio. Finalizado el tiempo, se tomó 10ml del sobrenadante para determinar la concentración final de azul de metileno mediante espectrofotometría.

Una vez determinadas las concentraciones iniciales y finales se realizó la curva de dosaje, la cual consiste en una gráfica de porcentaje de remoción vs. mg de algodón/ mg de AM iniciales. El porcentaje de remoción se lo calculó según la siguiente expresión matemática:

$$\%Remoción = \frac{C_i - C_f}{C_i} \cdot 100$$

Para la curva de equilibrio se graficaron los mg de colorante adsorbidos sobre gramos de material ( $q_e$ ) vs Concentración en el equilibrio.

$$q_e = \frac{(C_i - C_f) \cdot Volumen}{masa_{adsorbente}}$$

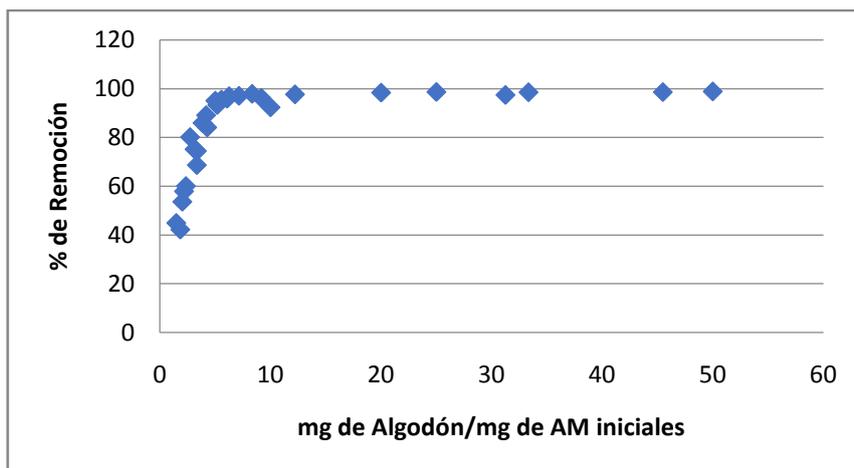
Finalmente se analizaron los modelos de Langmuir, Freundlich y BET para evaluar el tipo de proceso de adsorción que se da entre la cascarilla de algodón y el azul de metileno. Para esto se utilizaron las siguientes ecuaciones matemáticas linealizadas:

- Isoterma de Langmuir:  $\frac{C_f}{q_e} = \frac{1}{b \cdot Q_m} + \frac{C_f}{Q_m} \quad (1)$
- Isoterma de Freundlich:  $\ln q_e = \ln k_F + \frac{1}{n} \ln C_f$
- Isoterma de BET:  $\frac{C_f}{q_e \cdot (C_i - C_f)} = \frac{1}{K \cdot X_m} + \frac{K-1}{K \cdot X_m} \cdot \frac{C_f}{C_i}$

## 4. Resultados y Discusión

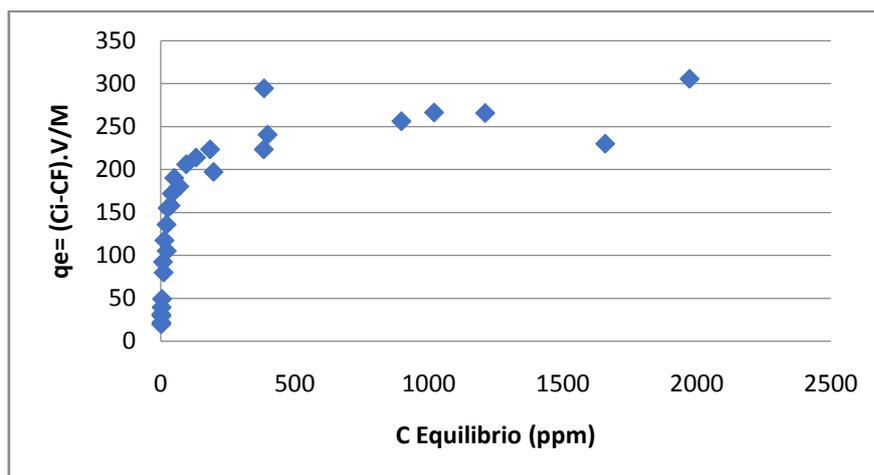
### 4.1. Curvas de dosaje y equilibrio de adsorción

En el Imagen N°1 se muestra la curva de dosaje para el azul de metileno con el adsorbente de cascarilla de algodón. Esta curva permite determinar cuál es la mejor relación de trabajo existente entre la concentración del adsorbato y la masa de adsorbente. Dicho análisis arrojó que la mejor correlación, que remueve el 80% de color, es de 3,5 mg de Algodón/mg de AM iniciales.



**Imagen N°1: Curva de Dosaje**

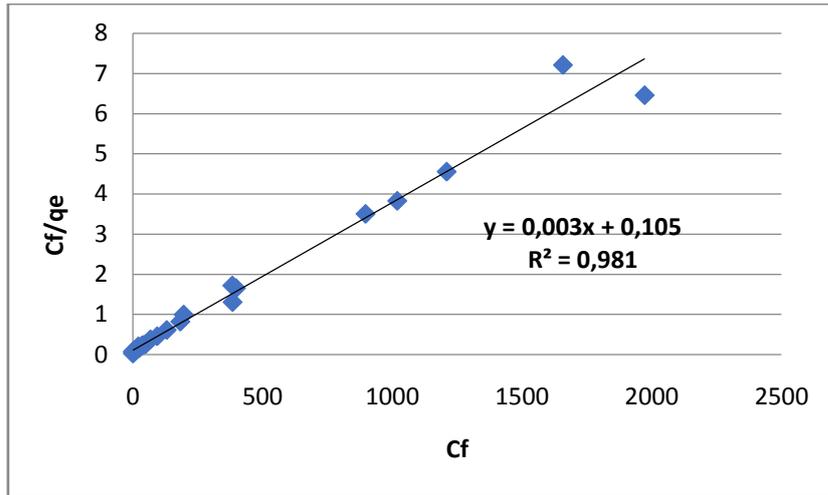
A continuación, se presenta la Imagen N° 2, en donde se representa  $q_e$  vs concentración de equilibrio. La forma de esta curva permite evaluar el tipo de proceso de adsorción que se da, siendo en este caso característico de una quimisorción.



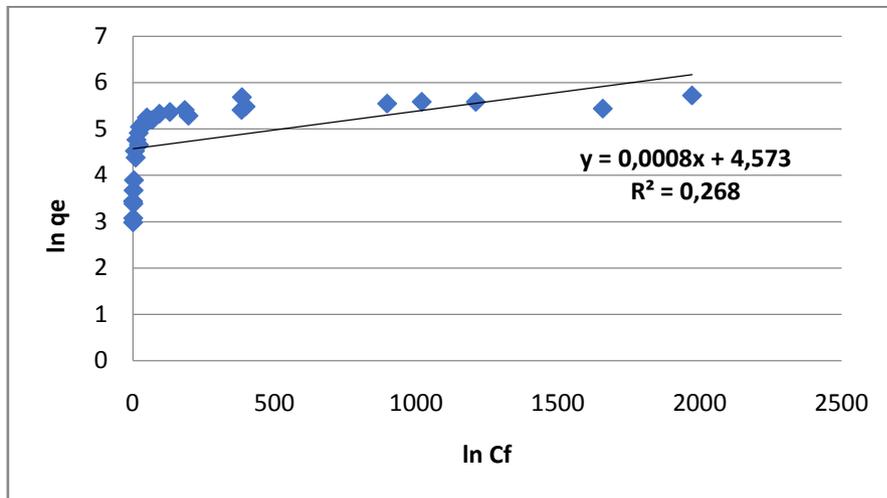
**Imagen N° 2: Curva de Equilibrio**

A continuación, se presentan los modelos isotérmicos utilizados para establecer el tipo proceso de adsorción que se da entre el adsorbato y el adsorbente estudiado.

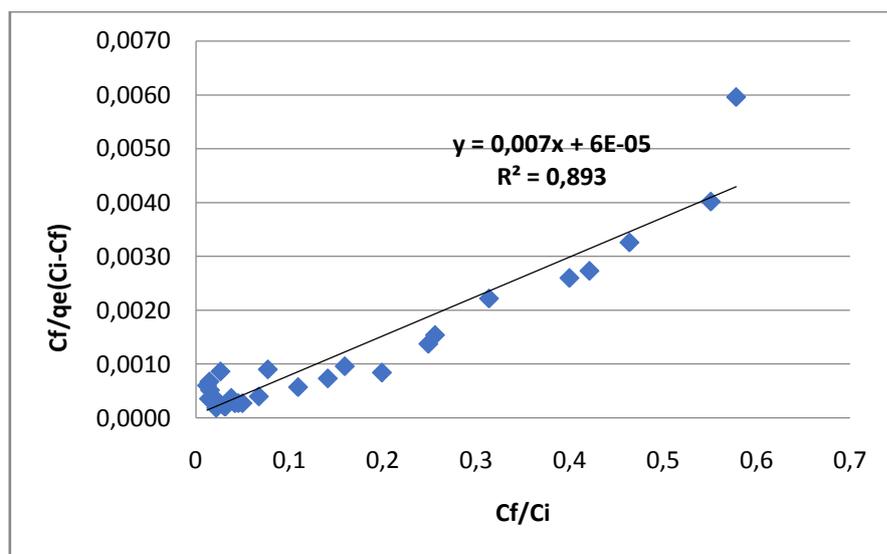
- El modelo de Langmuir, el cual está representado en la Imagen N°3.
- El modelo de Freundlich, expuesto en la Imagen N°4.
- El modelo de BET, presentado en la Imagen N°5.



**Imagen N°3: Isoterma de Langmuir**



**Imagen N°4: Isoterma de Freundlich**



**Imagen 5: Isoterma de BET**

En la tabla 1 se resume los resultados obtenidos en los distintos modelos isotérmicos. En la misma se observa que el modelo de Langmuir tiene mejor correlación que los demás, lo que confirma que la adsorción responde a un proceso del tipo de quimisorción.

**Tabla N° 1:** Constantes de los modelos isotérmicos

Modelo	R <sup>2</sup>	Q <sub>m</sub> o X <sub>m</sub> (mg de AM/g de ads.)	b, K <sub>f</sub> o K	n
Langmuir	0,98	333,33	0,028	-
Freundlich	0,26	-	115,98	1250
B.E.T	0,89	141,64	117,67	-

## 5. Conclusión

Al evaluar el comportamiento de la cascarilla de algodón como adsorbente, se podría concluir que es un material alternativo, económico y ecológico para remover azul de metileno en diluciones.

La curva de dosaje, la cual arroja una relación de 3,5mg de adsorbente por cada mg de azul de metileno iniciales para una remoción de color del 80%, permitirá realizar posteriores estudios de cinética.

El análisis de los gráficos de equilibrio muestra que el mecanismo de adsorción es de tipo quimisorción y esto se apoya en el modelo isotérmico de Langmuir al ser el que mejor se ajusta al comportamiento lineal.

## 6. Bibliografía

- K. N. Aboua, Y. A. Yobouet, K. B. Yao, D. L. Gon., and A. Trokourey, "Investigation of dye adsorption onto activated carbon from the shells of Macore fruit," *J. Environ. Manage.*, vol. 156, pp. 10–14, 2015.
- Z. Aksu, A. İ. Tatlı, and Ö. Tunç, "A comparative adsorption/biosorption study of Acid Blue 161: Effect of temperature on equilibrium and kinetic parameters," *Chem. Eng. J.*, vol. 142, no. 1, pp. 23–39, Aug. 2008.
- V. K. Garg, R. Kumar, and R. Gupta, "Removal of malachite green dye from aqueous solution by adsorption using agro-industry waste: A case study of *Prosopis cineraria*," *Dye. Pigment.*, vol. 62, no. 1, pp. 1–10, 2004.
- Moreno, D. Figueroa, and A. Hormaza, "Adsorción de azul de metileno sobre cascarilla de arroz," *Prod. + Limpia*, vol. 7, no. 1, pp. 9–18, 2012.

# **AISLAMIENTO DE ACTINOBACTERIAS Y ENSAYOS DE CRECIMIENTO EN MEDIO DE CULTIVO SUPLEMENTADO CON FURFURAL**

Autores: Cuadra Pablo<sup>1</sup>, Maidana Florencia<sup>1</sup>, Zalazar Eliana<sup>1</sup> Tutor: Echeverría Macarena C<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Grupo de Investigación Sobre Temas Ambientales y Químicos, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Resistencia. French 414, Resistencia, Chaco.

E-mail: macarenacecheverria@gmail.com, maidanaflorencia53@gmail.com, pabloncuadra@gmail.com, elianazalazar08@gmail.com

## **RESUMEN**

El vuelco de efluentes industriales en cursos naturales de agua sin un adecuado tratamiento provoca serios problemas medioambientales. Esto genera la necesidad de buscar nuevas alternativas, entre ellas el uso de microorganismos como agentes de remoción.

El presente trabajo posee como objetivos aislar e identificar actinobacterias a partir de sedimentos en contacto con efluentes que contienen furfural y verificar su capacidad para crecer en medios de cultivos suplementados con éste contaminante. Se lograron obtener 9 colonias con características coincidentes a las actinobacterias, de las cuales se eligieron 4 para probar su crecimiento en medio de cultivo (CAA) suplementado con furfural, las cuales demostraron su capacidad de evolución en presencia de éste contaminante. Hasta el momento se trabajó con concentraciones de hasta 2000 ppm. Se prevé continuar los ensayos con éstas colonias, aumentando la concentración de furfural hasta verificar el cese de crecimiento bacteriano.

## **INTRODUCCIÓN**

La contaminación de los cursos hídricos naturales debida al vuelco de efluentes industriales, genera efectos adversos en la flora y la fauna. Por ello resulta de vital importancia el desarrollo de nuevas tecnologías que permitan disminuir dichas consecuencias y de éste modo lograr un desarrollo económico sustentable.

Actualmente está adquiriendo gran importancia el uso de microorganismos como agentes biorremediadores, entre los que se incluyen las actinobacterias. Éstas son un grupo de bacterias Gram-positivas que se encuentran en los tipos más comunes de suelo, agua dulce y salada, desempeñando un papel importante en la descomposición de materiales orgánicos como la celulosa y la quitina.

Las actinobacterias producen una variedad de metabolitos secundarios con alto interés farmacológico y comercial, como la producción de antibióticos. Tienen una serie de funciones importantes, incluida la degradación/descomposición de todo tipo de sustancias orgánicas. También son responsables de la posterior descomposición de humus en el suelo y del olor a tierra de los suelos recién arados. Tienen una apariencia morfológica compacta. Sus colonias muestran consistencia pulverulenta y se adhieren firmemente a la superficie del agar dando una apariencia cónica con una superficie seca en los medios de cultivo y con frecuencia cubierta con micelio aéreo.

Una de las razones principales de su estudio se debe a que poseen muchas propiedades que las hacen buenas candidatas para su aplicación en la biorremediación de suelos contaminados con contaminantes orgánicos y porque desempeñan un papel importante en el reciclaje de carbono orgánico y pueden degradar polímeros complejos (Yi Jiang, Qinyuan Li 2016). Es por ello que en el presente estudio se analiza el crecimiento de estos microorganismos en un medio complementado con furfural.

El furfural es un aldehído heterocíclico obtenido luego del proceso de extracción del tanino del aserrín de quebracho colorado. Es principalmente utilizado como solvente selectivo en la refinación de aceites lubricantes para la industria petrolera, como producto intermedio para la producción de alcohol furfúrico y de alcohol tetrahydrofurfúrico, como solvente para antracenos y en la producción de herbicidas. Presenta características recalcitrantes y tóxicas, por lo que resulta indispensable el tratamiento de efluentes con este contaminante antes de su vuelco en cursos naturales de agua.

El objetivo de este trabajo es aislar e identificar actinobacterias a partir de sedimentos en contacto con efluentes que contienen furfural y verificar su capacidad para crecer en medios de cultivos suplementados con éste contaminante. Posteriormente, en una segunda etapa, se utilizarán éstas actinobacterias en un reactor de lecho fluidizado para el tratamiento de efluentes.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

El método de aislamiento se llevó a cabo siguiendo los pasos descritos por (Benimeli 2004).

### **Pasos previos al aislamiento**

Se secó el lodo (proveniente de las lagunas facultativas de una industria taninera local) a 30°C por 72 horas. Para preparar las diluciones, se pesó 1 g de lodo seco y se disolvió en 9 ml de agua destilada estéril. Se agitó vigorosamente, obteniéndose la primera dilución de la serie ( $10^{-1}$ ). Luego se hicieron diluciones decimales sucesivas,  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$  y  $10^{-4}$ , tomando alícuotas de 1 ml y agregando 9 ml de agua destilada estéril en cada caso. Se dejaron decantar brevemente las suspensiones y se extrajo 100 µl de los sobrenadantes. Se sembró por diseminación en superficie con espátula de Drigalsky, en cajas de Petri con medio Caseína Almidón Agar, suplementado con 50µg/l de Nistatina DENVER FARMA® (100.000 UI. Excipientes c.s.) y 10µg/l de Cicloheximida SIGMA® (>94%) para inhibir el desarrollo de hongos y bacterias Gram negativas. Las placas de Petri se incubaron a 30 °C durante 7 días.

### **Aislamiento**

Se observaron las características macroscópicas de las colonias obtenidas y se seleccionaron para el aislamiento aquellas con características semejantes a las actinobacterias.

Se purificaron estas colonias repicando nuevamente en un medio CAA sin antibióticos y se conservaron repicando cada 2 meses para mantener el cultivo.

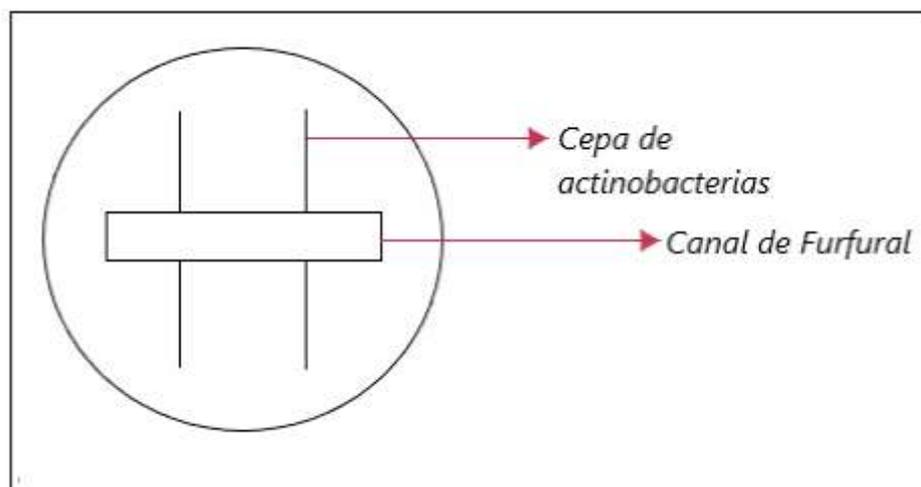
### **Determinación cualitativa de la tolerancia al furfural**

Las colonias aisladas fueron sembradas en un medio de cultivo CAA, de acuerdo a (Undabarrena et al. 2016) con el método de la línea cruzada como se describe en (Haber and Ilan 2014), con algunas modificaciones (Claverias et al. 2015). El mismo consiste en formar un canal en la parte central de una placa de Petri con CAA, y sembrar las cepas en líneas normales a este surco. En el canal se agregó 1 ml de dilución de furfural a las concentraciones crecientes desde 800 hasta 2000 ppm. **Figura 1**

Se sembraron 10 placas, las cuales contenían concentraciones de furfural entre 800 y 2000 ppm, por duplicado y se incubaron durante 7 días a 30°C.

El crecimiento de los aislamientos se clasificó cualitativamente según su inhibición en presencia de furfural, según el método utilizado por(Claverias et al. 2015) el cual se resume de la siguiente

manera: -, sin inhibición; +/-, crecimiento atenuado en el área más cercana al canal de furfural; +, <50% de inhibición del crecimiento (menos de la mitad de la línea bacteriana se inhibió); ++, 50% de inhibición del crecimiento (la mitad de la línea bacteriana estaba inhibida); + + +, > 50 inhibición del crecimiento (más de la mitad de la línea bacteriana se inhibió).



**Figura 1.** Método de la línea cruzada

## RESULTADOS

Se pudieron identificar un total de nueve aislamientos con las características semejantes a las Actinobacterias, sin embargo, el análisis cualitativo de tolerancia se practicó en cuatro de ellos, debido a que presentaron mayor crecimiento en las condiciones de cultivo. En la Tabla 1 se detallan las cuatro colonias mencionadas, con sus respectivas características macroscópicas. Se complementó la caracterización con una observación microscópica de las mismas.

**Tabla 1.** Características macroscópicas de los cuatro aislamientos sobre los que se realizó un análisis cualitativo de tolerancia.

Aislamiento	Olor a tierra mojada	Color de micelio de sustrato	Color de micelio aéreo	Dureza similar al cuero	Opaca	Produce pigmentos
L1	Sí	Rojo/ rosa	Blanco	Sí	Sí	No
L4	Sí	Blanco	No posee	Sí	Sí	Sí
L5	Sí	Marrón	Blanco	Sí	Sí	No
L9	Sí	Amarillo amarronado	Blanco	Sí	Sí	No

En las imágenes 1, 2, 3 y 4 se muestran los cuatro aislamientos obtenidos, L1, L4, L5 y L9, en Caseína Almidón Agar.



**Figura 2. Colonia L1**



**Figura 3. Colonia L4**



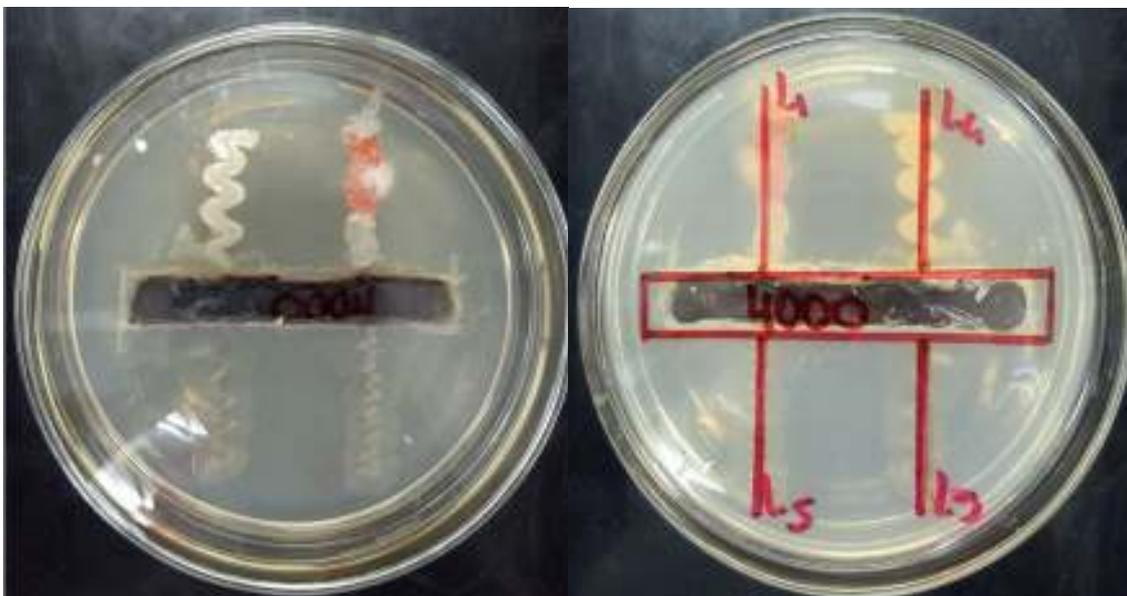
**Figura 4. Colonia L5**



**Figura 5. Colonia L9**

En cuanto a la determinación de la tolerancia de estas colonias, se observó un buen desarrollo de las mismas desde los primeros días. Los aislamientos L1 y L4 presentaron un mejor desarrollo con respecto a los otros dos obtenidos, independientemente de la concentración de furfural a la que se ha trabajado, demostrando mayor adaptación de éstas al medio de cultivo con el contaminante.

La figura 6 muestra, a modo ilustrativo, el crecimiento de las 4 colonias aisladas, mediante la aplicación del método de la línea cruzada a 2000 ppm de furfural. De la misma forma se llevaron a cabo las siembras de las colonias restantes.



**Figura 6. Tolerancia de las colonias a 1500 ppm (vista trasera- vista delantera)**

Se observó que a las concentraciones más bajas de furfural, el crecimiento de las cuatro cepas se dio a lo largo de las líneas normales al canal en toda la extensión de las mismas, pero a medida que la concentración fue aumentando se produjo inhibición del desarrollo bacteriano en la zona más cercana al canal.

En la tabla 2 se presenta la tolerancia de las colonias a distintas concentraciones del contaminante.

**Tabla 2.** Tolerancia de las cuatro colonias aisladas a concentraciones crecientes de furfural.

Aislamiento	800 ppm	1000 ppm	1200 ppm	1500 ppm	2000 ppm
L1	-	-	-	+/-	+/-
L4	-	-	-	+/-	+/-
L5	-	-	+/-	+/-	+/-
L9	-	-	+/-	+/-	+/-

## CONCLUSIÓN

Se han aislado 9 colonias de microorganismos con características macroscópicas semejantes a las actinobacterias, a partir de sedimentos en contacto con efluentes que contienen furfural.

Además, se verificó el crecimiento de 4 de las 9 colonias anteriormente mencionadas en medios de cultivo suplementados con furfural, en un rango de concentraciones de 800 a 2000 ppm. Las mismas serán utilizadas posteriormente a escala laboratorio, para verificar su capacidad de degradación de furfural en medio líquido. Por otro lado, se prevé continuar con los ensayos utilizando concentraciones mayores de furfural.

## REFERENCIAS

Benimeli, Claudia Susana. 2004. "Universidad Nacional de Tucumán Facultad de Bioquímica, Química Y Farmacia ' Biodegradación de Plaguicidas Organoclorados Por Actinomycetes Acuáticos .'"

Claverias, Fernanda P., Agustina Undabarrena, Myriam Gonzalez, Michael Seeger, and Beatriz Camara. 2015. "Culturable Diversity and Antimicrobial Activity of Actinobacteria from Marine Sediments in Valparaiso Bay, Chile." *Frontiers in Microbiology* 6(JUL):1–11.

Haber, M. and M. Ilan. 2014. "Diversity and Antibacterial Activity of Bacteria Cultured from Mediterranean Axinella Spp. Sponges." *Journal of Applied Microbiology* 116(3):519–32.

Undabarrena, Agustina et al. 2016. "Exploring the Diversity and Antimicrobial Potential of Marine Actinobacteria from the Comau Fjord in Northern Patagonia, Chile." *Frontiers in Microbiology* 7(JUL):1–16.

Yi Jiang, Qinyuan Li, Xiu Chen and Chenglin Jiang. 2016. "*Actinobacteria - Basics and Biotechnological Applications*".



# ANÁLISIS PREDICTIVO SOBRE LA CANTIDAD DE HORAS DE GENERACIÓN DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA

Autores: Gerardo Szwarc (1), Nicolás Rocchia (2),  
Docentes Asesores: Diego M. Ferreyra (3), Emanuel Bernardi (4)  
Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Grupo GISEner.  
Avenida de la Universidad 501 (2400) San Francisco. Provincia de Córdoba. Argentina.

Tel. (03564) 421147/435402. <http://www.sanfrancisco.utn.edu.ar/>  
(1) [gerardoszwar@gmail.com](mailto:gerardoszwar@gmail.com), (2) [nicolasrocchia@gmail.com](mailto:nicolasrocchia@gmail.com),  
(3) [dferreyra@sanfrancisco.utn.edu.ar](mailto:dferreyra@sanfrancisco.utn.edu.ar), (4) [bernardiemanuel@gmail.com](mailto:bernardiemanuel@gmail.com)

## Resumen

En el presente trabajo, se busca obtener una función matemática que modelice la cantidad de horas de generación de una instalación solar fotovoltaica que se encuentra interconectada con la red de distribución eléctrica. Al analizar la variación de la cantidad de horas de generación a lo largo del año se observó que sigue una onda cuasisinusoidal, lo cual hizo suponer que un modelo matemático de este tipo sería adecuado para la predicción de las mismas. La función obtenida se genera en base a la cantidad de horas de generación de la instalación en 2016, y se verifica su fiabilidad contrastándola con los datos obtenidos en 2017. Dicha verificación es realizada mediante un análisis de correlación entre el modelo teórico y los datos reales. Los datos son obtenidos a través del estudio de la información de funcionamiento de la instalación provista por el equipo inversor que inyecta la energía a la red.

**Palabras clave:** energía solar, paneles fotovoltaicos, horas de generación, predicción, regresión no lineal.

## Introducción

Es necesario que la función generada ajuste de la mejor forma a los datos reales de funcionamiento, para así realizar una estimación para los años posteriores. La predicción de la cantidad de horas de generación es importante ya que permite estimar la cantidad de energía generada en un momento determinado del año. Debido a la variación del horario de amanecer y ocaso en diferentes puntos geográficos, separados una distancia considerable, la aplicación de esta función está limitada a la zona próxima al lugar de la instalación pudiendo extrapolarse a otras ubicaciones conociendo la localización geográfica de las mismas. [3]

La instalación utilizada como base de estudio se encuentra emplazada en la UTN Facultad Regional San Francisco y consta de doce paneles solares fotovoltaicos de 1,65 m<sup>2</sup>, un peso de 22 kg por panel y una eficiencia del 14,2%. Esta se ha dimensionado teniendo en cuenta el consumo promedio de un hogar, de aproximadamente 360 kW·h por mes. [9]

## Desarrollo

La instalación cuenta con un equipo inversor, el cual toma medición de diferentes variables de funcionamiento de la instalación y a través de un software provisto por el fabricante los almacena en una PC. [5] Analizando estos datos se obtienen las horas de inicio y final de generación de cada día.

El horario de inicio y final de generación difiere del horario de amanecer y ocaso debido a la necesidad, por parte de la instalación, de una irradiación solar mínima que permita generar el nivel de tensión adecuado, con una corriente mínima para iniciar la generación. Tal como es deducible, estos horarios dependen de la época del año considerada, obteniendo mayor cantidad de horas de generación en la época de verano y menor cantidad en la época de invierno (Fig. 1). [4]

Si bien la irradiación solar y las condiciones climáticas no son iguales para idénticas fechas de años diferentes, las horas de generación pueden ser predichas con mayor certeza que la energía generada, debido a que el clima influye en menor medida sobre este parámetro. [1] [2]

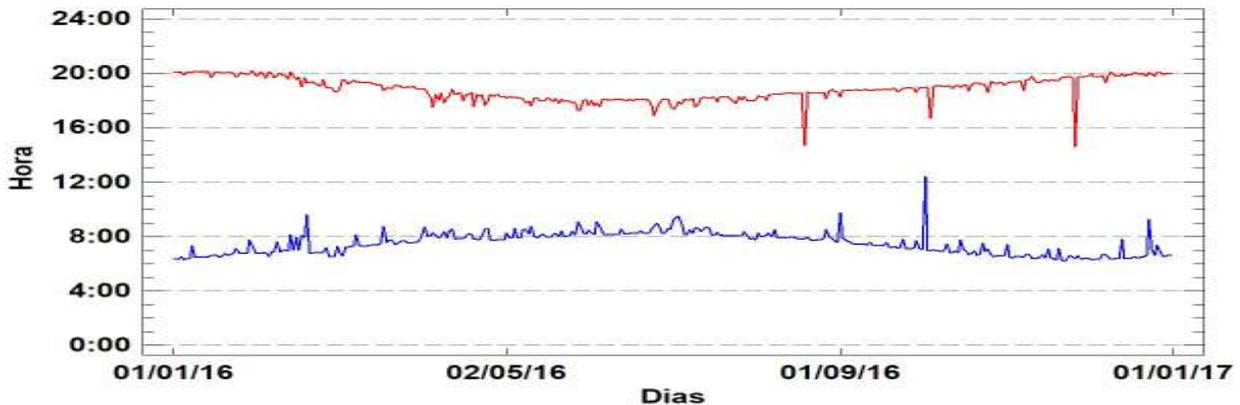


Figura 1: Horas de inicio y final de la generación

En primera instancia, se optó por representar gráficamente la cantidad de horas de generación de cada día durante el año 2016. El resultado fue una serie de puntos, los cuales al ser unidos mediante una línea continua permite apreciar una curva cuasisinusoidal (Fig.2). Es por este motivo que se decide realizar un modelado sinusoidal para la estimación.

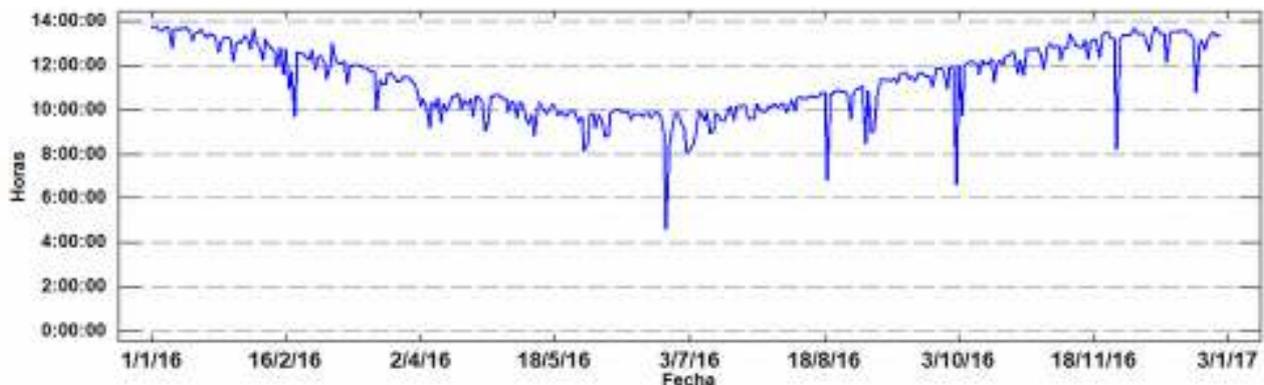


Figura 2: Horas de generación

En los datos analizados se encuentran cuatro valores atípicos. Dichos valores, de gran variación en la cantidad de horas de generación, son el producto de cortes de energía por mantenimiento en la red eléctrica a la cual se encuentra conectado el sistema.

Cuando el equipo inversor detecta un corte de energía en la red a la cual se encuentra conectado, abre el circuito de generación evitando que se entregue energía. Esta medida de seguridad es necesaria para garantizar la integridad física de personas que puedan estar en contacto con la red teóricamente desconectada del suministro de energía.

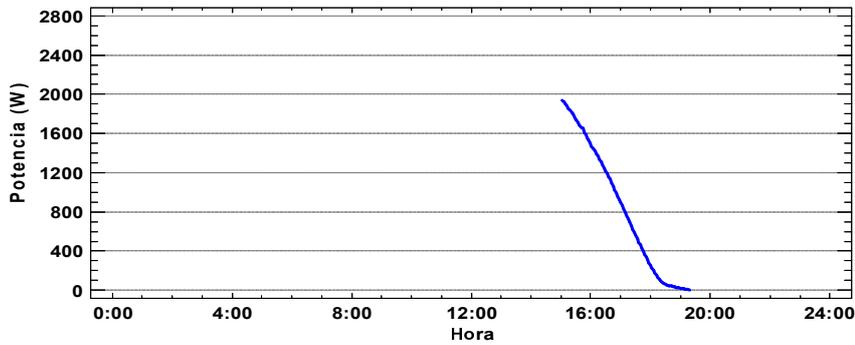


Figura 3: Generación del día 27/10. Ejemplo de valor atípico

Un ejemplo de estos días es el mostrado en la Fig. 3 donde el inicio de generación (cercano a las 15:00 h) y la potencia que suministra al iniciar, demuestran claramente el motivo de la disminución en la cantidad de horas de generación, siendo el mismo similar para los cuatro valores considerados como atípicos.

Debido a las pocas veces que se producen estos cortes en el año, la imprevisibilidad de su aparición y duración, se decide estimar su valor realizando un promedio entre la cantidad de horas de generación del día anterior y del día siguiente. Esto se muestra en la tabla 1. [6]

Tabla 1: Valores atípicos

Día	Cantidad de horas de generación reales	Cantidad de horas de generación estimadas
25/06/2016	4:35	8:43
19/08/2016	6:48	10:43
02/10/2016	6:36	11:57
26/11/2016	8:12	13:09

Los datos que se presentan en la Fig. 4 ratifican la evolución esperada en la cantidad de horas de generación: naturalmente, los días de menor cantidad de horas de generación (con un mínimo de unas 8 h para esta latitud) corresponden al período invernal, mientras que los días de mayor cantidad (con un máximo de 14 h para esta latitud) son los del verano.

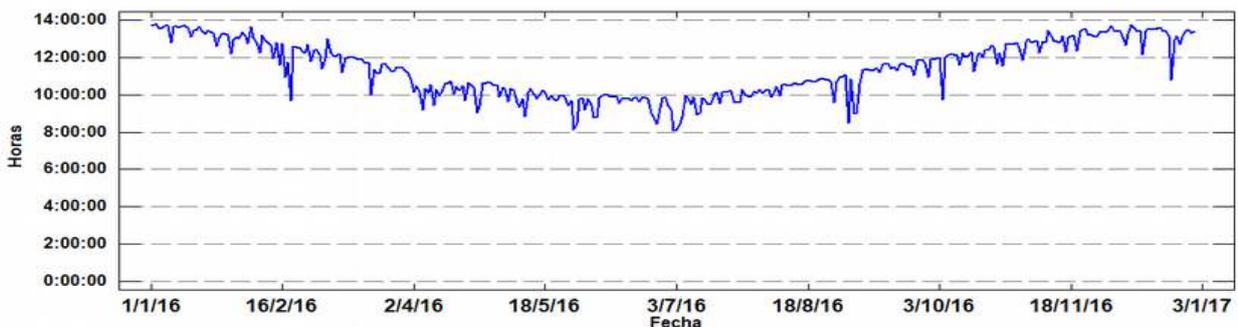


Figura 4: Cantidad de horas sin valores atípicos

Debido a que el ajuste es no lineal, los residuos no son normales, por lo tanto, no es aplicable el estimador  $R^2$  que se utiliza para determinar la fidelidad de ajuste de los modelos lineales. Por esta razón, se realiza un proceso de correlación entre los datos y la predicción. [8]

Al igual que la regresión lineal, la regresión no lineal realiza la estimación de los parámetros en base al criterio de mínimos cuadrados. Sin embargo, a diferencia de esta, no existe una solución matemática explícita y se precisa del uso de algoritmos específicos para la resolución del problema de minimización, que implican aproximaciones numéricas iterativas. [7]

De este modo, la regresión no lineal requiere de un mayor grado de interacción del usuario, tanto para la inicialización del procedimiento de estimación como para la interpretación de los resultados. Es por ello, que a partir de la inspección de los datos disponibles y del conocimiento previo del fenómeno bajo estudio, se propone el siguiente modelo de ajuste

$$\text{Cantidad de horas} = a + b * \sin\left(c + \frac{2 * \pi * \text{día}}{366}\right) \quad (1)$$

Donde  $a, b, c$  son los parámetros a estimar. Además, se inicializa el proceso iterativo con los valores  $\{11, 1, 1\}$  correspondientes a  $\{a, b, c\}$ , respectivamente.

Para el acondicionamiento de los datos y la estimación de los parámetros se utilizó el lenguaje R. Específicamente la regresión no lineal se realizó empleando la función `nls` del paquete `stat`.

El algoritmo de ajuste converge, con una tolerancia menor a  $2 \times 10^{-6}$ , luego de 5 iteraciones, arrojando los valores  $\{11,396; 1,952; 1,787\}$  correspondientes a  $\{a, b, c\}$ , respectivamente.

De la evaluación de la predicción y realizando una correlación entre los datos y la predicción empleando el modelo de ajuste se obtiene un coeficiente de correlación  $\rho = 0,937$ , el cual al ser próximo a 1 indica que el modelo ajusta correctamente a la serie de datos.

La Fig. 5 muestra la curva obtenida en este análisis superpuesta con la cantidad de horas de generación presentada en la Fig. 4.

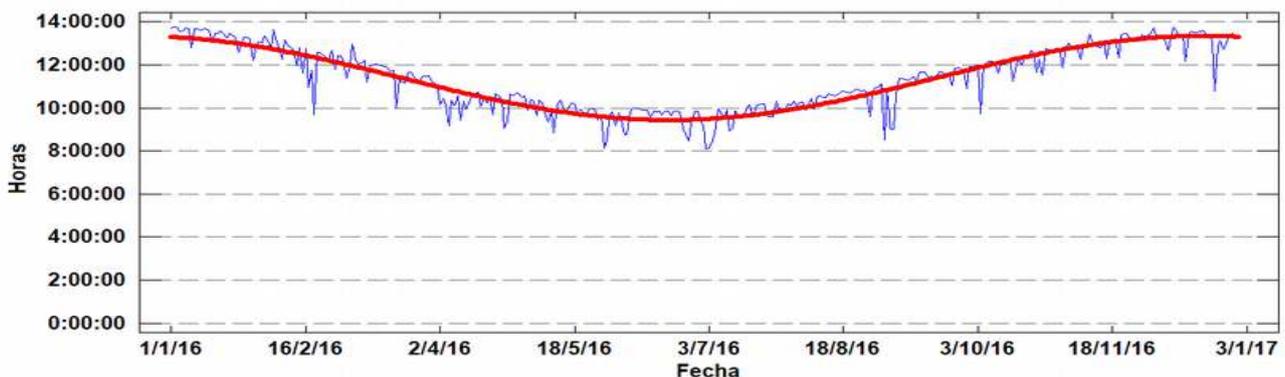


Fig. 5: Curva predictiva obtenida

Para analizar los residuos se utiliza un histograma, el mismo se presenta en la Fig. 6.

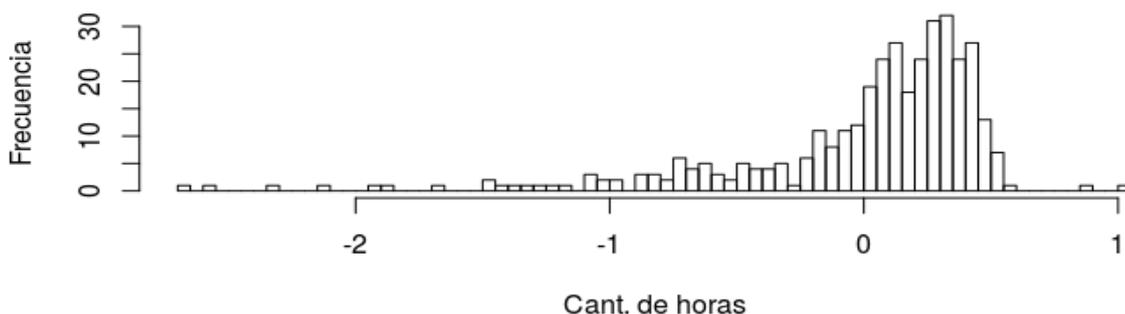


Fig. 6: Histograma de residuos

El histograma de residuos presenta una asimetría negativa lo cual significa que la media es menor que la mediana. Esto se debe a que, algunos días, la cantidad de horas de generación fue menor a la cantidad de horas obtenida con la curva teórica, aun así estos días son pocos, así como también su diferencia.

El hecho de que  $\rho$  tenga un valor tan elevado y que el histograma de los residuos presente una asimetría negativa tan notoria, sugiere dos interpretaciones: por un lado, la cantidad de horas de generación en función del día del año presenta un muy buen ajuste con respecto a la función propuesta y por otro lado, es notoria la incidencia de días del año en que la reducción en la cantidad de horas de generación es marcadamente menor que lo previsto, aun habiendo estimado los reemplazos para los valores atípicos, esto último obedece a circunstancias climáticas especialmente adversas para la generación.

Para comprobar que la función generada sea la correcta se aplica a los datos de generación de 2017, obteniendo la siguiente gráfica.

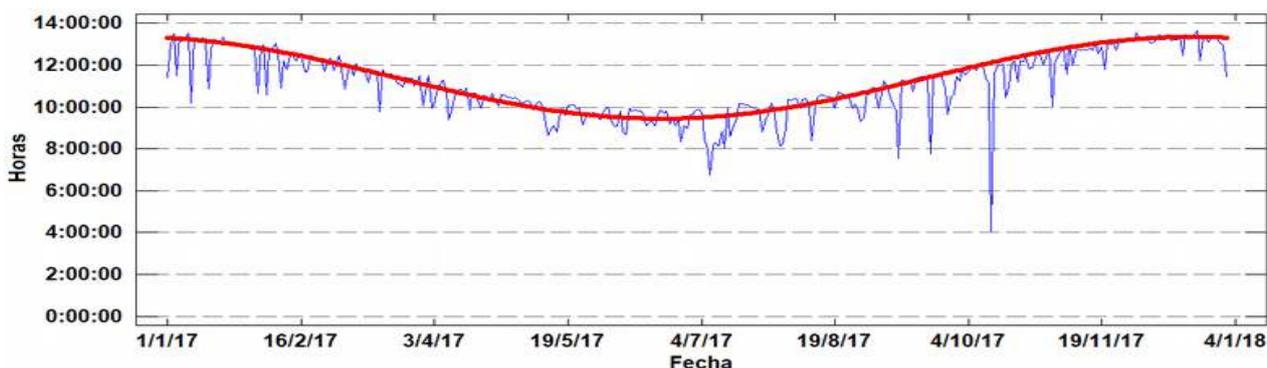


Fig. 7: Modelo generado aplicado a datos de generación de 2017

En la Fig. 7 se puede observar cómo la curva se adapta fidedignamente a los datos reales. Además de esto, la correlación obtenida es de 0,871. Como este valor es nuevamente cercano a 1 queda demostrado que el modelo se adapta razonablemente a los datos reales.

Debido a que el año 2016 fue un año bisiesto, la función generada toma un ciclo de esta cantidad de días, es por ello que para lograr la correcta predicción se debió considerar al 01 de enero del 2018 dentro del año 2017.

## Conclusiones

Pese a la variación en la cantidad de horas de generación propia del cambio estacional a lo largo del año y a la imprevisibilidad climática se ha logrado generar una función que permita predecir la cantidad de horas de generación para un determinado día del año.

Ha quedado demostrado que la función generada es aplicable para una instalación solar fotovoltaica que se encuentre en una región próxima al lugar donde se ubica dicha instalación. Existen algoritmos como el evaluado en las referencias, que, en conjunto con el procedimiento desarrollado en el presente trabajo permiten obtener una función similar aplicable a distintas regiones a la mencionada.

Al estimar la cantidad de horas de generación y teniendo una estimación de la potencia diaria media que puede generar la instalación en cada momento del año, se podrá pronosticar razonablemente la energía generada en un determinado período del año.

## Referencias bibliográficas

- D. M. Ferreyra, M. L. Bertossi, N. J. Rocchia, G. D. Szwarc, "Energía solar fotovoltaica con conexión a red en la zona central de Argentina", en "CLADI 2017. Congreso Latinoamericano de Ingeniería" (ISBN 978-987-1896-84-4), Paraná (Argentina), 2017, en prensa
- D. M. Ferreyra, A. C. Sarmiento, N. J. Rocchia, G. D. Szwarc, "Impacto de una instalación solar fotovoltaica piloto con conexión a red en el interior de Argentina", Segundo Congreso de Investigación y Transferencia Tecnológica en Ingeniería Eléctrica (II CITTIE, ISSN 2591-3913), Buenos Aires (Argentina), 2017, en prensa.
- I. Reda, A. Andreas, "Solar position algorithm for solar radiation applications", Solar Energy, vol. 76, nro. 5, pp. 577-589, 2004
- G. D. Szwarc, N. J. Rocchia, "Caracterización de parámetros de funcionamiento de una instalación solar fotovoltaica en función del tiempo", en "VII Jornadas de Ciencia y Tecnología, CyTAL 2016. Libro de actas" (ISBN 978-987-1896-61-5), Villa María (Argentina), 2016, pp. 157-162
- AEG Power Solutions GmbH, "Protect PV 2000 & 2800 On-Grid Solar Inverter. Operating Instructions", Warstein-Belecke (Germany), July 2012
- Chen and Lon-Mu Liu "Joint Estimation of Model Parameters and Outlier Effects in Time Series", Journal of the American Statistical Association, Vol. 88, No. 421, march 1993
- Guillermo Rivas M., Luis A. López P., Antonio Velasco M. "Regresión no lineal" Revista Colombiana de Estadística. Volume 14, Issue 27, (eISSN 2389-8976. Print ISSN 0120-1751). 1993.
- Andrej-Nikolai Spiess and Natalie Neumeyer "An evaluation of R2 as an inadequate measure for nonlinear models in pharmacological and biochemical research: a Monte Carlo approach" BMC Pharmacol. 10:6–17. 2010.
- Righini R, Grossi Gallegos H, "*Mapa de energía solar colectada anualmente por un plano inclinado un ángulo óptimo en la República Argentina*", Actas del IV Congreso Nacional/Tercero Iberoamericano sobre Hidrógeno y Fuentes Sustentables de Energía (HYFUSEN), 2011 (pp. 11-161)

# ARMADURAS ESPACIALES DE DOBLE CAPA PLANA: OPTIMIZACIÓN MEDIANTE DISEÑO PARAMÉTRICO Y ALGORITMOS GENÉTICOS

Autores: Matías Bonelli<sup>(1)</sup>; Ignacio Maltagliatti<sup>(2)</sup>. Tutor: Hugo Begliardo<sup>(3)</sup>  
Departamento Ingeniería Civil. UTN-F.R. Rafaela. Acuña 49, (S2300ADA) Rafaela, Santa Fe  
<sup>(1)</sup>matias.bonelli@frra.utn.edu.ar; <sup>(2)</sup>ignaciomaltagliatti@gmail.com;  
<sup>(3)</sup>hugo.begliardo@frra.utn.edu.ar

## Resumen

Los reticulados espaciales han recobrado importancia a comienzos del presente milenio con motivo del surgimiento de la llamada arquitectura de “formas libres”, hecho favorecido por el desarrollo de software basados en diseño paramétrico. Simultáneamente estos avances informáticos han permitido retomar el estudio de estas formas estructurales bajo la configuración de doble capa plana, poco abordados luego de la década de 1990, haciendo posible investigar en tópicos relativos a la optimización de sus secciones, geometría y topología.

El objetivo del trabajo es exponer los resultados de estudios de diseño y optimización de estereos estructuras de doble capa plana conformada por módulos semioctaédricos, de plantas cuadrada y rectangular bajo diferentes condiciones de apoyo. Para ello se ha desarrollado un algoritmo específico que implementa técnicas de optimización estructural basada en algoritmos genéticos. Los resultados hallados, comparados con los publicados en la literatura, demostraron un descenso sustancial del peso propio, comprobando la potencialidad de los algoritmos genéticos.

Como conclusión se ha podido determinar que, en relación al diseño, la estructura se optimiza cuando la relación de lados tiende a la unidad, el número de módulos procura ser el menor posible y que la altura óptima depende principalmente del número de estos últimos.

## 1. Introducción

La búsqueda de nuevas formas estructurales para cubrir grandes áreas sin obstrucciones ha sido el objetivo principal de los arquitectos e ingenieros (Lan, 1999). Es por ello que en los últimos años la comunidad de profesionales ha prestado creciente interés por las estructuras livianas (Fritzche, 2013). Dentro de ellas se destacan los sistemas reticulados espaciales que, compuestos por barras dispuestas según diferentes direcciones en el espacio, están capacitados para salvar grandes luces y a una determinada escala resultan más económicos que los reticulados planos (Vedoya, Pratt, 2009). Generalmente se trata de estructuras modulares, ya que la repetición continua del elemento básico reduce el tiempo y el costo de producción (Ermopoulos, 1984).

El alto desarrollo alcanzado en el proceso de su prefabricación y montaje, así como la sistematización del análisis mediante computadoras, hechos puestos de manifiesto ya desde las últimas décadas del siglo pasado, han contribuido a restarle complejidad a su dimensionamiento y mejorado su competitividad frente a otras formas estructurales (Martínez Apezteguia, 1981). A raíz de esto, su empleo fue en permanente aumento, promovándose su aplicación tanto en obras de arquitectura de formas controladas clásicas, como en las llamativas y actuales formas libres (Azagra, Bernabeu, 2012).

Dentro de las múltiples configuraciones que pueden adoptar las armaduras espaciales, una de las más estudiadas es la de acero de doble capa plana tipo *square on square offset* compuestas de módulos semioctaédricos alternados, como se visualiza en la Fig. 1.

A partir de la década de 1970, se han realizado varios intentos para determinar la geometría óptima. En casi todos los estudios, el diseño óptimo ha sido equivalente a un mínimo de consumo de material por unidad de área (Agerskov, 1986), buscando la relación entre el espesor de la estructura ( $h$ ) y la menor luz libre ( $S$ ). La mayoría de los autores determinó que la relación óptima  $h/S$  quedaba comprendida entre  $1/10$  y  $1/20$ , mientras que el ángulo óptimo de las diagonales

tendía a 45°, dando así la longitud óptima de cada módulo (Agerskov, 1986; Lan, 1999). Debido a la limitación de recursos de la época, el estudio de dichas estructuras quedó prácticamente paralizado hasta el advenimiento de las actuales tecnologías informáticas. Las nuevas corrientes de la ingeniería estructural procuran la optimización apoyándose en el diseño paramétrico y en la computación evolutiva (Clune, 2010; Jones, 2013).

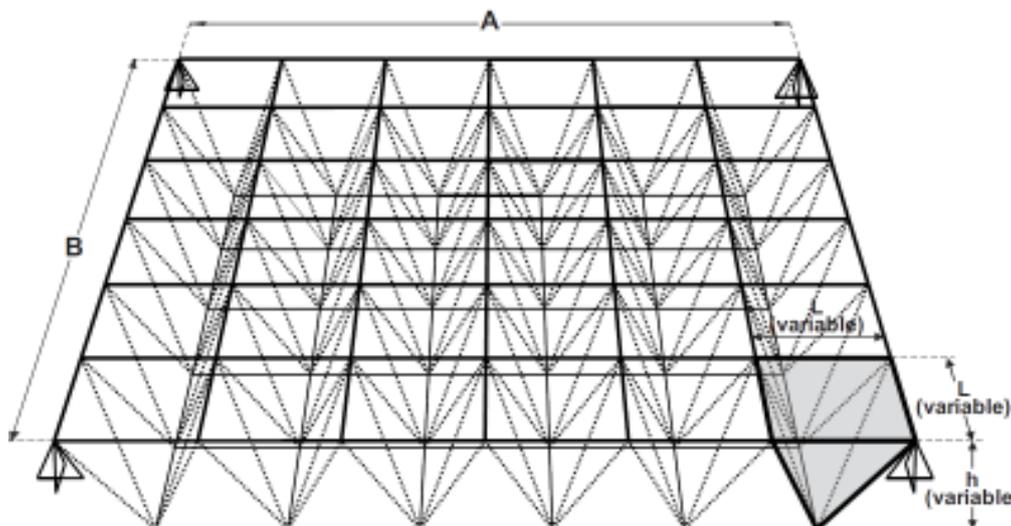


Fig. 1. Estéreo estructura simplificada

El trabajo presentado tiene como objetivo reproducir la investigación llevada a cabo por Henning Agerskov (1986), optimizar las estructuras estudiadas a través de diseño paramétrico y algoritmos genéticos (AG) y comparar los resultados obtenidos con los originales.

## 2. Metodología

Correspondiendo con el ensayo de Agerskov, se optimizaron cuatro casos de estéreo estructuras de doble capa planas tipo *square on square offset*: dos de plantas cuadradas de 36 m x 36 m (una con apoyos en las cuatro esquinas y otra con apoyos en todo el perímetro) y dos rectangulares de 36 m x 66 m (una con apoyos en las cuatro esquinas más dos intermedios sobre la mayor luz y otra con apoyos en todo el perímetro). La Tabla 1 enumera los casos estudiados, su designación y la ubicación de los apoyos para cada uno.

Tabla 1. Casos de estudio

Caso	Planta	Dimensiones	Apoyos
1a	Cuadrada	36 m x 36 m	4 esquinas
1b	Cuadrada	36 m x 36 m	Todos los nudos del contorno
2a	Rectangular	36 m x 66 m	4 esquinas y puntos medios de lados mayores
2b	Rectangular	36 m x 66 m	Todos los nudos del contorno

Se asumieron los supuestos básicos del trabajo original:

Cargas verticales distribuidas sobre los nodos de la capa superior compuestas de:

Peso propio: a diferencia de lo supuesto por Agerskov donde infería el peso propio, se tomó el peso exacto en cada iteración.

Peso de la cubierta + sobrecarga útil: carga uniformemente distribuida de 1,25 kN/m<sup>2</sup>.

Material: acero ASTM A36 (tensión de fluencia: 248 N/mm<sup>2</sup>), equivalente al acero nacional F-24.

Barras compuestas por tubos de secciones huecas circulares (SCH) estándar.

Utilización de tres tamaños de sección diferentes en cada una de las tres partes de la estructura (malla superior, malla inferior y diagonales), es decir, un máximo de 9 tamaños de sección diferentes en la totalidad de la rejilla.

Deflexión máxima permitida: S/200 (luz libre/200).

Agerskov basó su criterio de optimización en el menor costo posible de la estructura, y tuvo en cuenta dos variables fundamentales: el peso propio debido al costo del material y la cantidad de nodos, directamente ligado a la cantidad de mano de obra necesaria para su construcción. El inconveniente radica en que no ponderó cuantitativamente cada una de estas variables, permitiendo que el análisis posterior sea subjetivo. Para evitar esto, el criterio de optimización se simplificó tomando como función aptitud únicamente el menor peso propio.

Como en toda estructura, la mayoría de las variables geométricas que definen el caso de estudio quedan impuestas por la funcionalidad del edificio. Sin embargo, existen parámetros que pueden seleccionarse dentro de rangos específicos y permiten optimizar la estructura en tres aspectos diferentes.

La optimización de secciones determina las propiedades geométricas de la sección transversal de los elementos que constituyen una estructura de forma predefinida. Es el enfoque más sencillo ya que el número de variables del problema es bastante limitado [10]. Para ello se hizo uso de una biblioteca de tubos de sección circular hueca (SCH) de acuerdo al Reglamento Cirsoc 302-2005 y a las normas IRAM-IAS U 500-218 y U 500-2592, buscando el perfil de menor peso que satisfaga las solicitaciones determinadas en el análisis estructural de cada elemento constituyente. La restricción es la definida por Agerskov, donde cada parte de la estructura puede tener no más de tres secciones distintas.

La optimización de forma, también llamada optimización geométrica, busca la forma óptima de una estructura de topología fija. Las variables asociadas controlan la geometría del diseño y requieren a menudo de un modelo de análisis que se readapte durante el proceso de optimización (Hultman, 2010). En este caso particular, el único parámetro variable correspondiente a la forma es el espesor de la estructura ( $h$ ). Para ello se optó por un rango de alturas ampliado respecto a lo sugerido por autores anteriormente mencionados, estando comprendido entre 0.00m y 4.00m con pasos de 0.10m. Es decir, se consideraron relaciones  $h/S$  en el rango entre 0 y 1/9. Esto es posible debido a la potencia de la herramienta utilizada que puede hallar el óptimo dentro de un conjunto muy grande de posibles soluciones.

La optimización topológica busca la distribución óptima del material en una estructura mediante la supresión de elementos y/o la modificación de la conectividad y/o de las coordenadas nodales, es decir, la definición del número de elementos o cavidades que configuran la estructura. Es un factor crucial para alcanzar un diseño óptimo. Este enfoque es el más complejo ya que la cantidad de variables que aborda es elevada (Sánchez Caballero, 2012). En este caso se simplifica considerablemente debido a que los módulos que forman la estructura son iguales y ello conlleva a que el número de barras y por ende de conectividades existentes, estén directamente ligadas al número de módulos. Tomando como única variable a este último, se determinarán directamente la cantidad de conectividades, el número de barras y la longitud ( $L$ ) de estas.

Para determinar la cantidad de módulos se tuvo en cuenta que su lado debe ser de una dimensión tal que entre un número entero de veces en cada una de las dos direcciones de la grilla superior e inferior. La experiencia indica que dimensiones de  $L$  menores a 2 m suelen ser antieconómicas (incremento del número de nodos y barras; mayor tiempo de armado). Asimismo, cuando se tienen dimensiones y luces importantes, como en los casos que se analizan, su máxima longitud puede alcanzar los 3 m, quedando ello condicionado a los cerramientos comercialmente disponibles para la cubierta ((Martínez Apezteguia, 1981). Por lo tanto se consideró un dominio entre 12 y 36 módulos, con valores intermedios de 15, 18, 24 y 30 módulos. Estos valores permiten obtener constructivamente barras de mínimo desperdicio, debido a que su longitud siempre es submúltiplo de 6.00m, medida comercial de los tubos estructurales. Al igual que en el caso de optimización de forma, se incrementó el rango para ampliar el espectro de soluciones. La Fig. 1 y la Tabla 2 muestran los parámetros variables determinados para la optimización de la estereo estructura.

Mediante Grasshopper, lenguaje de programación visual que opera como plug-in dentro del entorno de modelado Rhinoceros, se desarrolló un algoritmo para la definición de geometría de las correspondientes plantas. Las condiciones de contorno (apoyos, cargas), los parámetros de entrada (material, biblioteca de secciones) y demás condiciones, se introdujeron desde Karamba, software paramétrico de resolución por elementos finitos y con el cual se obtuvieron las respuestas estructurales. La optimización por AG se realizó mediante Galápagos, un plug-in de resolución evolutivo también incorporado a Grasshopper.

Tabla 2. Parámetros de optimización

Optimización	Parámetro	Rango	Observaciones
De secciones	Sección de barras	0 a 167	Biblioteca de SCH según Normas IRAM-IAS ordenadas por peso (menor a mayor). Tres secciones diferentes por capa.
De forma	Altura	0,00m a 4,00m	Paso de 0,10m
Topológica	Cantidad de módulos	12-15-18-24-30-36	Número de módulos por lado de la planta.

### 3. Resultados

Se realizaron seis ejecuciones por cada caso planteado, variando los ajustes del AG (población inicial, reproducción inicial y mutación). Los resultados obtenidos se detallan en la Tabla 3.

Tabla 3. Valores de diseño de las estereo estructuras

Caso	Altura (m)	Módulos	SCH utilizadas			Peso (kg)	Deflexión (m)
			Rejilla sup.	Diagonales	Rejilla inf.		
1 a	3,40	12	31.75x0.90	127x2.50	12.7x0.70	14350	0,152
			63.5x1.25	127x4.00	19.05x1.60		
			76.2x2.00	127x6.35	101.6x2.50		
1 b	3,10	12	22.22x0.70	63.5x1.60	63.5x1.25	6289	0,096
			50.8x0.90	76.2x1.60	50.8x1.60		
			63.5x1.25	76.2x2.50	273x9.53		
2 a	3,40	12	31.75x0.90	19.05x2.00	101.6x2.00	31637	0,114
			50.8x1.25	38.10x2.50	168.3x3.20		
			76.2x1.60	50.8x3.20	127x6.35		
2 b	2,80	12	44.45x0.90	76.2x2.00	101.6x2.50	14042	0,109
			63.5x1.25	57.15x3.20	76.2x4.00		
			76.2x1.60	76.2x2.50	76.2x4.75		

### 4. Discusión

La Tabla 4 compara los resultados del trabajo con los determinados por Agerskov. Puede comprobarse que los resultados obtenidos por el método de AG son muy superiores a los determinados por el método de tamices propuesto en 1986. Esto se debe inicialmente a que el número de variables y los rangos de las mismas generan un conjunto solución demasiado grande y con muchos óptimos locales que hacen muy difícil su resolución por métodos convencionales. Esta complejidad llevó al autor a fijar la altura óptima y los perfiles a utilizar, resignando dos de los tres aspectos de optimización.

Los AG son intrínsecamente paralelos, lo que les permite evaluar muchos esquemas a la vez y funcionar particularmente bien resolviendo problemas cuyo espacio de soluciones potenciales es realmente grande. La mayoría de los problemas que caen en esta categoría se conocen como no lineales. En un problema lineal, la aptitud de cada componente es independiente, por lo que cualquier mejora en alguna parte dará como resultado una mejora en el sistema completo. Normalmente, los problemas son no lineales, donde el cambio de una variable puede tener efectos en cadena en todo el sistema, y donde cambios múltiples que, individualmente, son

perjudiciales, en combinación pueden conducir hacia mejoras de aptitud mayores. La no linealidad produce una explosión combinatoria (Marczyk, 2004). Los AG poseen una gran habilidad para manipular muchos parámetros simultáneamente (Forrest, 1993).

Tabla 4. Comparación de resultados

Caso	Parámetro	Unidad	Agerskov	Trabajo actual	Diferencia
1 a	Altura	m	3,00	3,40	+13%
	Módulos	u	12	12	-
	Peso	kg	32630	14350	-56%
	Peso por superficie	Kg/m <sup>2</sup>	25,18	11,07	-56%
1 b	Altura	m	3,00	3,10	+3%
	Módulos	u	12	12	-
	Peso	kg	17800	6289	-64%
	Peso por superficie	Kg/m <sup>2</sup>	13,73	4,85	-64%
2 a	Altura	m	3,00	3,40	+13%
	Módulos	u	12	12	-
	Peso	kg	69840	31637	-55%
	Peso por superficie	Kg/m <sup>2</sup>	29,39	13,31	-55%
2 b	Altura	m	3,00	2,80	-7%
	Módulos	u	12	12	-
	Peso	kg	41410	14042	-66%
	Peso por superficie	Kg/m <sup>2</sup>	17,43	5,91	-66%

Respecto a las estructuras analizadas, se evidencia que la altura óptima varía según el caso, pero siempre con relaciones de h/S en el dominio 1/13 – 1/10. Asimismo cabe aclarar que la altura óptima tiene mayor relación con el ángulo de las diagonales que con la luz libre entre apoyos. En todos los casos, el ángulo de las diagonales es cercano a los 45°, generándose algunas desviaciones debido a las condiciones de contorno asignadas. Esto se comprueba cuando, al modificar el rango de módulos y ejecutar nuevamente el AG, la nueva solución hallada queda definida por el menor número de módulos dentro de dicho rango, aumentando la altura y manteniendo el ángulo óptimo. Es decir, la estructura tiende a la menor densidad de barras posibles siempre que las restricciones de altura impuestas le permitan generar diagonales a 45°. Esto permite asumir que, como se propuso en el trabajo, el uso de una función aptitud multiobjetivo no es necesario, puesto que siempre que se busque una reducción del peso también se dispondrá de una disminución de barras y de nudos, y por ende, de mano de obra.

Comparando los distintos casos de estudio se pueden realizar dos deducciones importantes.

Primero, para una misma planta, al aumentar los apoyos, se observa una reducción de peso propio entre el 55% y el 77%. Aunque pareciese significativo, deben tenerse en cuenta las columnas que materializarán dichos apoyos, por lo que el peso de la totalidad de la estructura puede ser superior en caso de sustentar todo el perímetro. Ello demuestra la gran capacidad del sistema estructural para cubrir grandes luces con mínimas obstrucciones.

Por otra parte, cotejando las dos plantas con condiciones de contorno similares, se observa que la planta cuadrada (relación de lados igual a uno) tiene menor peso propio por unidad de superficie y este aumenta a medida que la relación de lados se desvía de uno. Esto puede asumirse como pauta de diseño en casos donde el área a cubrir tenga una dimensión preponderante sobre la otra, ya que se obtienen estructuras más livianas con el simple hecho de separarlas en módulos más pequeños de lados similares. En el caso 2a, se lograría una disminución de peso propio realizando dos retículas independientes de 36 m x 33 m en lugar de una de 33 m x 66 m, manteniendo igual cantidad de columnas.

## 5. Conclusiones

El método de optimización por AG demostró ser una técnica sumamente eficiente en problemas no lineales con espacios de búsqueda complejos, mejorando sustancialmente los resultados obtenidos por otros métodos menos actuales.

Con los casos de estudio se ha podido determinar que, respecto al diseño, la estructura se optimiza cuando la relación de lados tiende a la unidad, el número de módulos procura ser el menor posible y la altura óptima depende del número de estos últimos y del ángulo que formarán las diagonales respecto a las dos rejillas, y en menor medida de la menor luz libre.

## Referencias

- Agerskov, H. (1986). Optimum geometric design of double layer space trusses. *Journal of Structural Engineering*, Vol. 112 (No. 6), pp. 1454-1463.
- Azagra D., Bernabeu, A. (2012). La estructura de las formas libres. *Informes de la Construcción*, Vol.64, 526, pp. 133-142.
- Clune, R. (2010). Explorative Structural Design. MSc Thesis. Massachusetts Institute of Technology. Disponible en: <http://hdl.handle.net/1721.1/60798> (acceso 18 agosto 2016).
- Ermopoulos, J. (1984). The optimum height design of double-layer grids at the stage of preliminary design. *Journal Construct. Steel Research*, Vol. 4, pp. 281-293. Ed. National Technical University of Athens.
- Forrest, S. (1993). Genetic algorithms: principles of natural selection applied to computation. *Revista Science*, Vol. 261, pp.872-878.
- Fritzche, J.C. (2013). Gridshell efficiency optimization. MSc Thesis. Technical University Eindhoven. Disponible en: <http://alexandria.tue.nl/extra2/afstversl/bwk/761229.pdf> (acceso 28 mayo 2016).
- Galápagos. Disponible en: <http://www.grasshopper3d.com/group/galapagos>
- Grasshopper 3D (Versión 0.9.0076). Disponible en: <http://www.grasshopper3d.com/>
- Hultman, M. (2010). Weight optimization of steel trusses by a genetic algorithm. Tesis de maestría, Lund University, Lund.
- Jones, G. (2013). Interoperable Software for Parametric Structural Analysis and Optimization. MSc Thesis. Massachusetts Institute of Technology. Disponible en: <http://hdl.handle.net/1721.1/82713> (acceso 18 agosto 2016).
- Karamba 3D (Versión 1.1.0). Disponible en: <http://www.karamba3d.com/>
- Lan, T. (1999). Space frame structures. *Structural Engineering Handbook*. 1ª Ed. Chen Wai-Fah; Boca Ratón.
- Marczyk, A. (2004). Algoritmos genéticos y computación evolutiva. Disponible en: <http://the-geek.org/docs/algen/> (acceso 12 Julio 2015).
- Martínez Apezteguía J. (1981). Las mallas espaciales y su aplicación en cubiertas para estadios. *Informes de la Construcción*. Vol. 33, pp. 27-37.
- Nicolás, M. (2006). Optimización de forma y topología con malla fija y algoritmos genéticos. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena.
- Rhinoceros (Versión 5.0). Disponible en: <http://www.rhino3d.com>
- Sánchez Caballero, S. (2012). Optimización estructural y topológica de estructuras morfológicamente no definidas mediante algoritmos genéticos. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.
- Vedoya, D., Pratt, E. (2009). Estructuras de grandes luces. Tecnología y diseño. Ed. del ITDAHu, Corrientes.

## MEJORA DE SISTEMA DE TRANSPORTE HORIZONTAL – MÉTODO TRIZ

Autores: Pablo A Afonso<sup>(1)</sup>, Gonzalo Vittorangeli<sup>(1)</sup>  
Tutores: Lic. Carlos E. Requena<sup>(2)</sup>, Ing. Juan Carlos Nishiyama<sup>(2)</sup>

- (1) Estudiante de la carrera de Ingeniería Mecánica. Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional General Pacheco. H. Irigoyen 288 – Gral. Pacheco, Buenos Aires, Argentina.  
pabloafonso@hotmail.com
- (2) Docente de la carrera de Ingeniería Mecánica. Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional General Pacheco. H. Irigoyen 288 – Gral. Pacheco, Buenos Aires, Argentina.  
carlooseduardorequena@yahoo.com.ar - jcnishiyama@yahoo.com.ar

### Resumen

En el interior del Hospital de Pediatría Juan P. Garrahan existe un Sistema de Transporte, cuya instalación tiene varias décadas de antigüedad. Con este sistema, consistente en carros dirigidos, se transportan muchas variedades de materiales. El problema principal se centra en el peso de los carros, lo cual trae consigo variadas consecuencias negativas al sistema: dificultades para el transporte manual, enfermedades laborales, rotura del perno de enganche (a la cadena), daños en pisos dentro del hospital y tiempo de mantenimiento, entre otros. Se necesita solucionar estos problemas.

Para alcanzar soluciones conceptuales a nuestro problema, se decidió hacer uso de las herramientas de solución proporcionadas por la Metodología TRIZ. Se trata de un método sistemático para incrementar la creatividad y la innovación industrial. Se basa en el estudio de los modelos de evolución de patentes y en otros tipos de soluciones a problemas. Resolver problemas tecnológicos con TRIZ, permite al usuario evitar el azar o la intuición, pues, TRIZ es un método de resolución de problemas de modo estructurado.

El proceso de solución comienza por la abstracción del problema concreto, luego, el método permite encontrar “operadores” que conducen hacia un espacio de soluciones conceptuales a ese problema, ahora, abstracto. Posteriormente, esas soluciones abstractas se convierten en soluciones concretas. Los operadores son de un número finito y pueden tenerse tabulados para diferentes categorías de problemas abstractos, por lo que la solución se obtiene por métodos directos o procedimientos algorítmicos, sin necesidad de prueba y error.

La intención del presente trabajo es la de difundir y explicar brevemente TRIZ mediante nuestro ejemplo de aplicación.

Palabras clave: Carro, cadena, contradicción, segmentación, materiales.

### Introducción

En el presente trabajo se aplica la metodología TRIZ, acrónimo ruso que en castellano se refiere a “Teoría para Resolver Problemas de Inventiva”, como una herramienta metodológica que puede ser aplicada en la solución de problemas tecnológicos. Fue creada por el ingeniero ruso Genrich Altshuller [1]. TRIZ hace uso de un sistema de herramientas, una base de conocimiento y una tecnología basada en modelos para generar ideas y propiciar soluciones innovadoras de problemas [2]. TRIZ proporciona las herramientas y los métodos a usar en la formulación de problemas, en el análisis de sistemas, en el análisis de fallas y en los patrones de evolución de los sistemas. Apunta a crear un acercamiento algorítmico a la invención de nuevos sistemas y al refinamiento de sistemas obsoletos.

Algunas Herramientas Clásicas del TRIZ:

Del estudio realizado por Altshuller y su equipo, surgió que los parámetros puestos en juego en las muchas patentes estudiadas que proporcionaban soluciones a distintos problemas, eran tan sólo 39. Estos se conocen como los “39 Parámetros de Ingeniería”. Se muestra una lista en la Tabla 1.

Asimismo, este estudio de patentes permitió identificar y clasificar los principios de invención utilizados en 40. Esta lista se conoce como los “40 Principios de Inventiva”. [3]  
 Los 40 principios son la deducción más directa del análisis de las patentes realizado por el creador del TRIZ. Se da una lista de los 40 principios en la Tabla 2.

Tabla 1. Tabla de los 39 Parámetros de Ingeniería.

LOS 39 PARÁMETROS DE INGENIERÍA			
1. Peso de un objeto móvil	10. Fuerza	20. Energía consumida por un objeto inmóvil	30. Factores nocivos que actúan en un objeto
2. Peso de un objeto inmóvil	11. Tensión, presión,	21. Potencia	31. Efectos nocivos
3. Longitud de un objeto móvil	12. Forma	22. Desperdicio de energía	32. Manufacturabilidad
4. Longitud de un objeto inmóvil	13. Estabilidad de un objeto	23. Desperdicio de sustancia	33. Conveniencia de uso
5. Área de un objeto móvil	14. Fuerza	24. Pérdida de información	34. Reparabilidad
6. Área de objeto inmóvil	15. Durabilidad de un objeto móvil	25. Pérdida de tiempo	35. Adaptabilidad
7. Volumen de objeto móvil	16. Durabilidad de un objeto inmóvil	26. Cantidad de sustancia	36. Complejidad de un dispositivo
8. Volumen de objeto inmóvil	17. Temperatura	27. Fiabilidad	37. Complejidad de control
9. Velocidad	18. Brillo	28. Precisión de medida	38. Nivel de automatización
	19. Energía consumida por un objeto móvil	29. Precisión de manufactura	39. Productividad

Tabla 2. Tabla de los 40 Principios de Inventiva.

LOS 40 PRINCIPIOS INVENTIVOS			
1. Segmentación	13. Inversión.	23. Retroalimentación	31. Uso de material poroso
2. Extracción	14. Esferoidalidad	24. Mediador	32. Cambio de color
3. Calidad local	15. Dinamicidad	25. Autoservicio	33. Homogeneidad
4. Asimetría	16. Acción parcial o sobrepasada	26. Copiado	34. Restauración y regeneración de partes
5. Combinación	17. Moviéndose a una nueva dimensión	27. Objeto barato de vida corta en vez de uno caro y durable	35. Transformación de los estados físicos y químicos de un objeto
6. Universalidad	18. Vibración mecánica	28. Reemplazo de sistemas mecánicos	36. Transición de fase
7. Anidación	19. Acción periódica	29. Uso de una construcción neumática o hidráulica	37. Expansión térmica
8. Contrapeso	20. Continuidad de una acción útil	30. Película flexible o membranas delgadas	38. Uso de oxidantes fuertes
9. Reacción previa	21. Despachar rápidamente		39. Medio ambiente inerte
10. Acción previa	22. Convertir algo malo en un beneficio		40. Materiales compuestos
11. Amortiguamiento anticipado			
12. Equipotencialidad			

Esta breve introducción con estas dos tablas nos permite, ahora sí, presentar una de las herramientas clásicas del TRIZ: la “Matriz de Resolución de Contradicciones Técnicas”. A través de ella, resolveremos un problema técnico como ejemplo.

Para estas tablas, el interesado puede consultar en la Página del AMETRIZ [4], en donde se encuentran más completas y con las descripciones de los parámetros y de los principios inventivos.

**Contradicciones Técnicas:**

Una contradicción técnica es una situación en la que se desea variar una característica de un sistema tecnológico, pero al mismo tiempo se modifica otra característica, la cual se necesita que no sufra cambios o que, en todo caso, lo haga en el sentido opuesto al ocurrido. Para la resolución de contradicciones técnicas, se utiliza la “Matriz de Contradicciones Técnicas” [5], que es una matriz de 39 por 39 donde se ubican los Parámetros de Ingeniería, combinados estratégicamente con los 40 Principios Inventivos. En la Figura 1 se presenta un esquema simplificado (por razones de espacio); más adelante se mostrará una porción de la matriz de contradicciones técnicas completa.

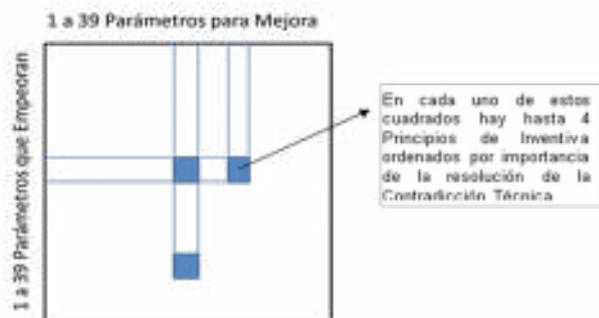


Fig. 1. Esquema simplificado de la Matriz de Contradicciones. [6]

## Descripción del problema

En el interior del Htal. de Pediatría Juan P. Garrahan, se transportan diferentes materiales. Para ello existe un Sistema de Transporte Horizontal, el cual consta de una serie de carros que son transportados manualmente por el personal del hospital en ambos pisos del edificio y, de forma semiautomática mediante una cadena, en el "entrepiso técnico".

El procedimiento indica que, cuando el carro se encuentre lleno, el personal debe depositarlo en determinados elevadores dispuestos en el edificio y el mismo será conducido al entrepiso técnico. En este entrepiso, mediante un proceso semiautomatizado (con las cadenas ubicadas en el piso) los carros son separados según su carga y trasladados para su vaciamiento y limpieza (Figura 2). Finalmente los carros vacíos son devueltos al edificio en reemplazo de otros carros llenos, realimentando el circuito.

El problema principal se centra en el peso del carro (Figura 3), el cual es demasiado elevado y trae aparejado diferentes dificultades, mencionadas a continuación.

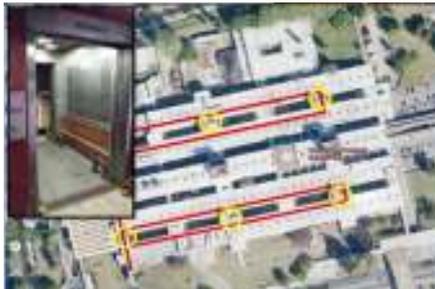


Fig. 2. Esquema de recorrido de los carros.



Fig. 3. Carro de transporte.

## Complicaciones

El peso elevado del carro se traduce en distintas consecuencias negativas:

- Dificultad durante el transporte manual
- Enfermedades laborales
- Rotura del perno de enganche (a la cadena)
- Daños severos en pisos dentro del hospital
- Tiempo y costo de mantenimiento

## Aplicación de TRIZ

A partir del elevado peso del carro, se desprenden distintas situaciones indeseadas para el normal funcionamiento del Sistema de Transporte Horizontal que, lógicamente, se desean evitar (o al menos, reducir su impacto). Es por esto por lo que se decide implementar la Herramienta TRIZ para resolución de problemas. [7]

Utilizando de base los 39 parámetros de Ingeniería, se identifican las características que se desean mejorar y aquellas que potencialmente empeorarían. Las más destacadas son:

*Características que se desean mejorar:*

*Parámetro 1 - Peso del objeto móvil:* Masa del objeto en movimiento, sujeto a un campo gravitacional o fuerza que el mismo objeto ejerce sobre los puntos que lo soportan o suspenden.

*Parámetro 11 - Esfuerzo o Presión:* Es la fuerza por unidad de área (tensión) aplicada a un objeto, o la tensión que el objeto ejerce sobre su entorno.

*Parámetro 32 - Manufacturabilidad o facilidad para la fabricación:* Facilidad con la que se puede producir un objeto o un sistema tecnológico.

*Características que empeorarían:*

*Parámetro 7 - Volumen del objeto en movimiento:* Espacio volumétrico que ocupa un objeto cuando se desplaza de un punto a otro.

**Parámetro 14 – Resistencia:** Capacidad de un objeto a resistir un cambio en respuesta a una fuerza aplicada. También, resistencia a la ruptura.

Luego de definir los Parámetros involucrados, se plantean las Contradicciones Técnicas. Aquí se utiliza la Tabla de Contradicciones Técnicas (ver Figura 4) donde se vinculan los parámetros mencionados en “pugna”. De esta acción surgen los números de los principios de inventiva, que son potenciales soluciones conceptuales.

A partir de allí, con esa línea de pensamiento, se comienza a dar forma a la solución particular a nuestro problema.

	Worsening Feature →		Improving Feature ↓														
	Weight of moving object	Weight of stationary object	Length of moving object	Length of stationary object	Area of moving object	Area of stationary object	Volume of moving object	Volume of stationary object	Speed	Force (Intensity)	Stress or pressure	Shape	Stability of the object's	Strength	Duration of action of moving object	Duration of action of stationary object	Temperature
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1 Weight of moving object	-	18,6	23,34	25,07	25,38	28,2	28,2	2,6	8,10	10,26	10,14	1,35	29,27	3,34	-	6,24	1
2 Weight of stationary object	-	-	18,1	23,35	25,38	13,2	5,25	15,28	30,37	27,40	25,63	25,23	10,43	31,25	-	2,27	26,10
3 Length of moving object	8,15	-	-	15,17	4	7,07	4,25	-	13,4,8	17,10	1,8,35	1,8,10	1,8,10	8,10	13	-	10,15
4 Length of stationary object	35,28	10,23	-	-	17,7	25,8	-	28,10	-	1,14	13,14	29,37	15,14	-	1,10	3,35	3
5 Area of moving object	2,17	14,15	-	-	15,40	7,14	-	28,30	18,38	10,15	1,14	11,2	3,15	-	2,15	32,12	11
6 Area of stationary object	30,2	34,35	-	26,7	-	-	-	1,15	10,15	-	2,15	40	-	2,10	25,38	-	11
7 Volume of moving object	2,20	1,7,4	35	1,7,4	17	-	-	23,4	15,35	6,35	1,15	28,18	8,14	6,35	-	34,38	2
8 Volume of stationary object	35,40	19,14	2,14	-	-	-	-	28,38	26,37	28,37	29,4	1,15	10,14	4	35,34	35,6	11
9 Speed	2,20	13,14	8	29,38	24	7,24	-	13,28	6,15	25,15	28,33	8,2	3,15	-	28,38	11	11
10 Force (Intensity)	3,1	16,13	17,18	19,10	1,18	15,9	2,38	15,28	15,21	10,35	15,10	10,35	15,10	15,2	35,10	35,10	11
11 Stress or pressure	10,34	12,25	35,30	10,15	10,15	6,25	15,24	6,25	24,25	-	24,4	25,33	9,10	19,3	25,38	11	11
12 Shape	8,10	15,10	23,34	13,14	5,34	14,4	7,2	35,15	35,18	34,15	33,1	30,14	14,26	3,25	22,14	11	11
13 Stability of the object's	21,35	26,38	13,15	2,18	39	28,18	34,28	33,15	10,35	2,35	22,1	17,9	13,27	38,3	35,1	3	3
14 Strength	1,8	40,28	1,15	15,14	3,34	9,40	10,15	3,14	6,13	10,15	10,3	10,30	13,17	27,3	30,10	3	3
15 Duration of action of moving object	15,5	-	2,18,9	3,17	-	10,2	-	3,35	19,2	19,3	14,26	13,3	27,3	-	18,35	2	2
16 Duration of action of stationary object	24,31	-	1,40	-	-	35,34	-	1	31	27	20,27	35	10	-	19,10	4	4
17 Temperature	38,22	22,35	15,18	15,15	3,35	34,38	35,6	2,28	35,18	35,38	14,22	1,35	18,36	18,13	15,10	11	11

Fig. 4. Tabla de Contradicciones Técnicas (en amarillo, parte de los Parámetros de nuestro caso)

La Tabla 3 muestra los principios hallados. El de mayor frecuencia es el 40, lo cual se puede apreciar en la Tabla 4. Por ese motivo, elegiremos ese principio como base para desarrollar nuestra solución particular. También sirven a nuestros intereses el Principio 1 y otros, pero por razones de extensión analizaremos las posibles soluciones conceptuales así.

Tabla 3. Parámetros en “pugna” y los principios surgidos.

Mejora	Empeora	PRINCIPIOS			
1	7	29	2	40	28
11	7	6	35	10	
32	7	13	29	1	40
1	14	28	27	18	40
11	14	9	18	3	40
32	14	1	3	10	32

Tabla 4. Principios hallados y frecuencia de aparición.

Principio	1	2	3	6	9	10	13	18	27	28	29	32	35	40
Frecuencia	2	1	2	1	1	2	1	2	1	2	2	1	1	4

### Principio 1 - Segmentación

- a) Dividir un objeto en partes independientes.
- b) Hacer un objeto fácil de desarmar
- c) Incrementar el grado de fragmentación o segmentación de un objeto.

### Principio 40 - Materiales compuestos

Usos de los nuevos materiales con características muy especiales

Se decidió buscar un diseño nuevo de carro que sea claramente más liviano que el original. La primera opción en aparecer fueron los carros de plástico de alto impacto utilizados en la industria y de fabricación estándar (Principio 40 – Materiales Compuestos). Analizando sus características, se hallaron múltiples ventajas para el uso que se pretendía. Pero faltaba resolver otra necesidad: el gancho que sirve de nexo con la cadena transportadora del entepiso técnico. El carro original lo incluía, pero los contenedores plásticos estándar no. Por eso se decidió diseñar un carro adaptador que pudiera hermanarse al contenedor plástico y, al mismo tiempo, portara el gancho necesario para conectarse a la cadena transportadora (Principio 1 – Segmentación).

El resultado final es un contenedor plástico que, en el momento de engancharse a la cadena en el entepiso técnico, se le agrega un carro adaptador de acero (Figura 5).



Fig. 5. Contenedor plástico + Carro adaptador.

### Caso de análisis

La idea de separar el perno de anclaje a la cadena del carro de transporte facilitaría la disminución del peso transportado. Se plantea un diseño a mano alzada y se verifica su factibilidad de producción. Ver Figura 6. Se puede apreciar que, para la búsqueda de soluciones conceptuales, muchas veces basta con un simple croquis a mano alzada, casi totalmente despojado de métricas.

Otro aspecto que se desea mejorar es la Facilidad de Mantenimiento. Por tal motivo se intenta utilizar carros de fabricación estándar, de menor costo y fácil reposición en caso de roturas. Ver Figura 7.



Fig. 6. Gráfica a mano alzada de un carro adaptador.



Fig. 7. Carro de plástico de alto impacto.

## Conclusión

La problemática planteada en el Sistema de Transporte Horizontal del Hospital Garrahan sirvió de base para poner en práctica el Método TRIZ de Resolución de Problemas.

Se cuenta, inicialmente, con un carro de transporte de muy elevado peso que aparejaba diferentes consecuencias y complicaciones en la tarea diaria.

Aplicando el Método TRIZ se identificaron las contradicciones técnicas y las soluciones generales propuestas. Finalmente se optó por aplicar el Principio de Segmentación y el Principio de Materiales Compuestos para dar forma a la solución particular.

El resultado final es un carro compuesto por 2 partes: un contenedor plástico y un carro adaptador. Por su parte, el carro adaptador mantiene los materiales originales, con un diseño más robusto, pero dimensiones notablemente menores, lo cual impacta favorablemente en su peso. Además, sólo es utilizado en el entrepiso técnico, colaborando con la disminución del peso transportado en el resto del Hospital y mejorando la vida útil del mismo. El contenedor mantiene el volumen transportado disminuyendo considerablemente su peso, lo cual lo hace fácil de maniobrar para los empleados, no deteriora el piso del hospital y tiene bajo mantenimiento (incluso es fácil reemplazarlo por su condición de estándar y bajo costo).

Se puede asegurar que gracias al Método TRIZ se ha podido hallar soluciones conceptuales al problema, que pueden disminuir considerablemente el peso del carro, evitando problemas de salud en los empleados y deterioro de la infraestructura del hospital. Incluso se lograría mejorar costos y facilitar el mantenimiento del Sistema de Transporte Horizontal.

## Referencias

[1] Isak Bukhman: TRIZ Technology for Innovation. Published by Cubic Creativity Company. ISBN 978-986-85635—2-0. 2012

[2] TRIZ. La Metodología más Moderna para Inventar O Innovar Tecnológicamente de Manera Sistemática. Enrique Rico Arzate, Margarito Coronado Maldonado. Editor: Panorama México, 2004. ISBN-13: 978-9683813596

[3] TRIZ Metodología para Incrementar y Sistematizar la Creatividad y la Innovación Industrial. Zagorodnova, Nishiyama y Requena. Congreso Argentino de Ingeniería (CADI 2012): Mar del Plata, Prov. Bs As. 2012.

[4] Página del AMETRIZ (Asociación Mexicana de TRIZ).  
<http://www.ametriz.com/index.php/principios-de-inventiva>

[5] Página del AMETRIZ (Asociación Mexicana de TRIZ).  
<http://www.ametriz.com/matriz/MATRIZ.php>

[6] CREATIVITY AS AN EXACT SCIENCE IN THE RESOLUTION OF ENGINEERING PROBLEMS. Yonni F., Requena C., Malinauskas A. UCA - UTN FRGP – UBA. 2016

<http://www.triz-journal.com/creativity-as-an-exact-science-in-the-resolution-of-engineering-problems/>

[7] Manual de uso para la cátedra de “Metodologías para el Desarrollo de la Creatividad en Ingeniería”. Zagorodnova, Requena, Nishiyama). UTN FRGP, Gral. Pacheco, Partido de Tigre, Prov. de Buenos Aires. Argentina. Uso interno. 2016.

# **DISEÑO DE UN SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN POR TUBOS ENTERRADOS EN VIVIENDAS ECONÓMICAS. PREDICCIONES TEÓRICAS DE SU EFICIENCIA ENERGÉTICA.**

Autor: Georgina E. Voos. Director: Dr. José Di Paolo.

GIMEF Departamento de Ingeniería Industrial Facultad Regional Santa Fe – Universidad Tecnológica Nacional. Lavaisse 610 – 3000 Santa Fe. geovoos@gmail.com

## **Resumen**

El creciente consumo de energía a nivel domiciliario puede ser entendido desde una perspectiva de acceso al mismo y a la satisfacción de necesidades anteriormente no atendidas. Los sistemas de climatización convencionales son inaccesibles para los segmentos sociales más carenciados y energéticamente muy demandantes. En la actualidad se trabaja sobre el aprovechamiento de múltiples tipos de fenómenos de utilidad, como la inercia térmica del suelo a cierta profundidad. Esta característica se presenta como una oportunidad para su aplicación como medio alternativo en la climatización sustentable de una vivienda, a partir de la utilización de una red de tubos enterrados por la cual se hace circular aire exterior que luego es inyectado en los ambientes. En este trabajo se presenta el proyecto de un sistema de climatización por tubos enterrados, aplicado a una vivienda económica del tipo de las que se utilizan en planes sociales para segmentos poblacionales de bajos recursos. A partir de un algoritmo desarrollado en Planilla de cálculo, basado en un modelo conocido de la literatura y validando su funcionamiento, se obtienen resultados para distintos escenarios propuestos. De esta manera se concluyen consideraciones de diseño para la aplicación del sistema de tubos enterrados al tipo de vivienda mencionado y las ventajas de este sobre los demás sistemas de climatización.

## **Introducción**

La inercia térmica es la base para la utilización de tubos enterrados como sistema de climatización porque permite utilizar al suelo como sistema de intercambio de calor. Las características térmicas de un suelo están influenciadas por el contenido volumétrico de agua, la fracción de volumen de aire y la fracción de volumen de sólidos, pero también se relaciona con la profundidad. Si bien a gran profundidad la temperatura de la corteza terrestre es elevada (100°C a 2000 m), en el sistema de tubos enterrados se trabaja con profundidades del orden del metro, en las que el terreno se mantiene a una temperatura constante a lo largo del año. Investigaciones realizadas, determinaron que la temperatura a una profundidad de 2 m es prácticamente constante en todo el año (Cabezas, 2012).

Hoy en día climatizar los ambientes del hogar es una necesidad que todo habitante prioriza, pero, para los segmentos económicamente más bajos de la sociedad, esto puede no ser posible. Por esta razón, en este trabajo se evalúa técnicamente la aplicación de los sistemas de tubos enterrados como una alternativa para la climatización de ambientes, válida frente a los sistemas convencionales de climatización basados en bombas de calor.

El análisis se realiza basándose en datos reales de la ciudad de Santa Fe, provincia de Santa Fe, Argentina. Utilizando un algoritmo desarrollado en planilla de cálculo, se predice el salto de temperatura de un caudal de aire luego de circular por el sistema de tubos enterrados, a partir de valores relevantes estacionales de temperatura. Se concluye que el sistema es técnicamente posible, económicamente conveniente y energéticamente sustentable para la situación planteada: una casa de familia del tipo de aquellas construidas por planes sociales.

## Metodología

Para dimensionar el sistema de tubos enterrados, se utiliza el modelo de cálculo para intercambiadores de calor tierra-aire propuesto por De Paepe and Janssens, 2003.

Lo que busca el modelo, es seleccionar un tamaño razonable del diámetro, longitud de la tubería y número de tubos, para lograr una eficiencia deseada en la transferencia de calor y una baja caída de presión en las tuberías.

Para ello es preciso conocer: el caudal másico del aire ( $\dot{m}_a$  en [kg/s]), la temperatura del aire en la entrada del intercambiador de calor ( $T_{a,e}$  en [K]) y la temperatura del suelo ( $T_{su}$  en [K]). El caudal másico de aire se fija por el requerimiento de la vivienda según el volumen de los ambientes a climatizar y las renovaciones por hora necesarias para los mismos. La temperatura del aire de entrada y la temperatura del suelo dependen de las condiciones climáticas estacionales y se constituyen en datos de entrada para el análisis.

Una vez fijados el diámetro ( $D$  en [m]) y la longitud ( $L$  en [m]), y conociendo las propiedades del fluido tales como: la densidad, la viscosidad, entre otras, es posible calcular el área de intercambio, la velocidad del aire, y, por lo tanto, el régimen de flujo. Luego, es posible calcular la temperatura de salida del aire, el coeficiente de transferencia de calor, la eficiencia y la caída de presión.

La secuencia que sigue la metodología tomada, se observa en el diagrama de flujo mostrado en la figura 1. Esta se basa en la aplicación de las fórmulas del modelo expresadas en la Tabla I.

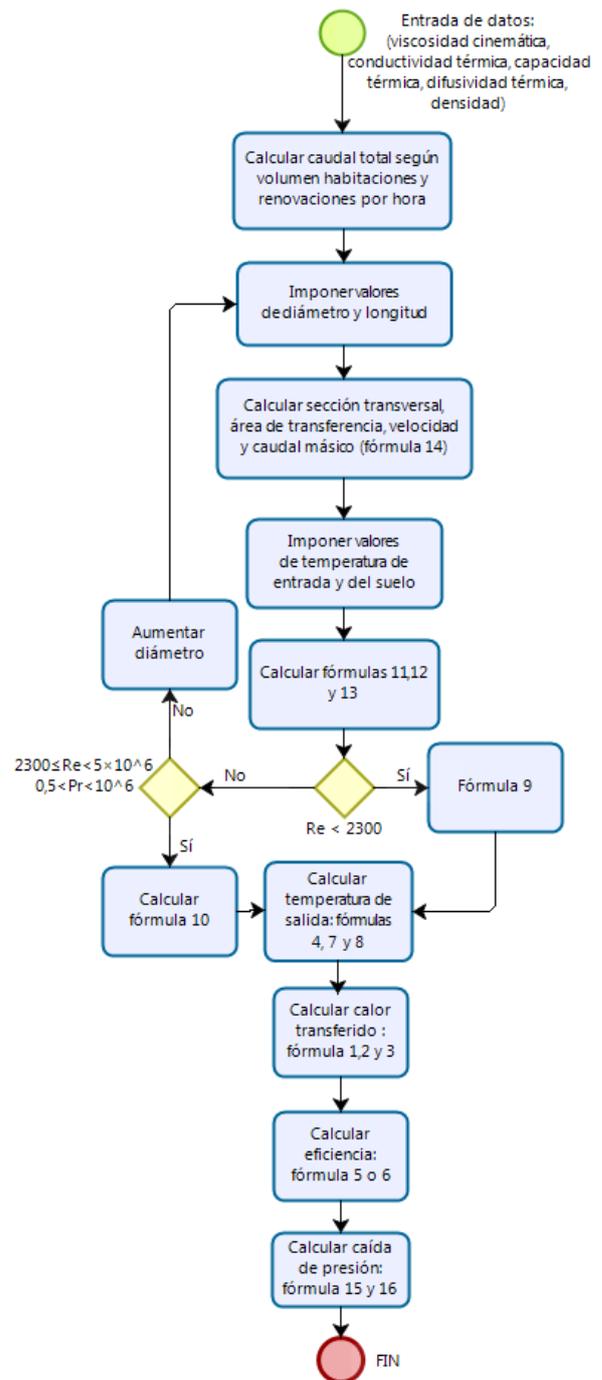


Figura 1: Diagrama de flujo para el cálculo.

El modelo presentado, basado en consideraciones analíticas y empíricas, se programa en este trabajo siguiendo un algoritmo implementado en Planilla de Cálculo.

Tabla I: Ecuaciones representativas del fenómeno de intercambio.

$\dot{Q} = \dot{m}_a C p_a (T_{a,s} - T_{a,e})$	(1) Calor cedido por el aire entre entrada y salida [W]
$\dot{Q} = h_a A \Delta T_{lm}$	(2) Calor intercambiado por convección [W] (es el mismo que el dado por (1))
$\Delta T_{lm} = \frac{T_{a,e} - T_{a,s}}{\ln((T_{a,e} - T_{su}) / (T_{a,s} - T_{su}))}$	(3) Temperatura media logarítmica [K]
$T_{a,s} = T_{su} + (T_{a,e} - T_{su}) e^{-\frac{hA}{\dot{m}_a C p_a}}$	(4) Temperatura de salida del aire [K]
$\epsilon = \frac{T_{a,s} - T_{a,e}}{T_{su} - T_{a,e}}$	(5) Eficiencia [%]
$\epsilon = 1 - e^{-NTU}$	(6) Eficiencia [%] (teniendo en cuenta (4))
$NTU = \frac{hA}{\dot{m}_a C p_a}$	(7) Número de transferencia de unidades.
$h = \frac{Nu \lambda}{D}$	(8) Coeficiente de transferencia de calor por convección. [W/ m <sup>2</sup> K]
$Nu = 3,66$	(9) Número de Nusselt. Si $Re < 2300$ .
$Nu = \frac{\xi}{8} (Re - 1000) Pr$ $1 + 12,7 \sqrt{\frac{\xi}{8}} (Pr^{\frac{2}{3}} - 1)$	(10) Número de Nusselt. Si $2300 \leq Re < 5 \times 10^6$ y $0,5 < Pr < 10^6$ . Para flujo turbulento en tubos con superficie interna lisa.
$\xi = (1,82 \log Re - 1,64)^{-2}$	(11) Factor de fricción
$Re = \frac{v_a D}{\nu_a}$	(12) Número de Reynolds
$Pr = \frac{\nu_a}{\alpha_a}$	(13) Número de Prandlt
$\dot{m}_a = \rho_a \frac{\pi D^2}{4} v_a$	(14) Caudal másico [kg/s]
$\Delta p = \xi \frac{L}{D} \rho_a \frac{v_a^2}{2}$	(15) Caída de presión en un tubo liso [Pa]
$J = \frac{\Delta p}{NTU}$	(16) Caída de presión específica [ $\frac{Pa}{\text{unidad de } NTU}$ ]

## Resultados

Para comprobar la aptitud del algoritmo generado, se reproducen resultados del trabajo de De Paepe and Janssens, 2003. En dicho trabajo, se ejemplifica con distintos escenarios que se pueden dar, según los valores y configuraciones del sistema de tubos enterrados.

La figura 2 muestra las distintas configuraciones del sistema: paralela, en el caso de tubos iguales dispuestos uno a un lado del otro, o serpentina, para aquel que es único y cuenta con curvas a 180° y/o 90°.

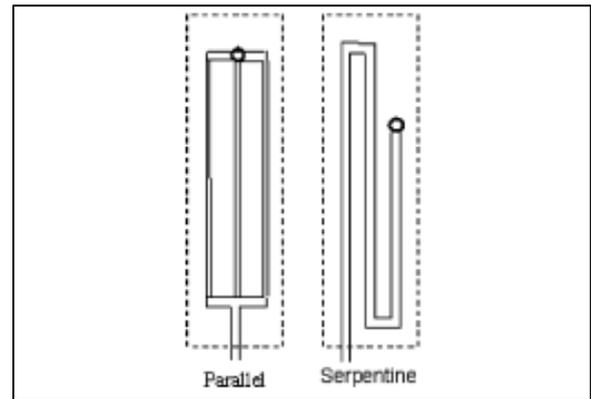


Figura 2: Diseño de tubos enterrados en una franja de tierra.  
De Paepe and Janssens, 2003.

Según los autores, para un caudal de aire de 750 m<sup>3</sup>/h, la eficiencia mínima debe ser del 80% y la caída de presión menor a 100 Pa.

Para validar el algoritmo desarrollado, se reprodujeron todos los casos y los resultados pueden verse en la Tabla II.

Tabla II: Reproducción de los resultados de De Paepe and Janssens, 2003.

Ejemplos trabajo De Paepe and Janssens							Resultados algoritmo en Planilla de Cálculo	
D [mm]	Número de tubos	Longitud por tubo [m]	Velocidad [m/s]	Caída de presión [Pa]	Configuración	Caudal por tubo [m <sup>3</sup> /h]	Eficiencia [%]	Caída de presión [Pa]
100	4	14	6,6	77	Paralelo	186,6	83,2	78,1
150	2	22	5,9	61	Paralelo	375,3	82,6	61,1
200	3	25	2,2	8	Paralelo	248,8	82,5	8,5
250	1	38	4,2	32	Serpentina	742,2	82,5	30,9

Comparando con los valores expresados en los ejemplos del trabajo de De Paepe and Janssens, los resultados del algoritmo se consideran válidos, ya que las pequeñas diferencias se atribuyen a que De Paepe and Janssens elaboran sus cálculos con valores tomados desde gráficas, cuya aproximación puede ser fuente de errores.

Una vez validado el algoritmo, tomando distintos valores de diámetros y longitudes de tubos, pueden analizarse la eficiencia, la caída de presión y el coeficiente de transferencia de calor por convección del aire, y determinar rangos de valores para los cuales, el sistema de tubos enterrados tiene un buen desempeño. Particularmente, se determinan las dimensiones principales del sistema, aplicado a una casa de familia del tipo plan social.

## Dimensionamiento según caso de estudio

El caso de estudio en este trabajo corresponde a las casas del plan social del Gobierno de la Provincia de Santa fe: "Mi Tierra, Mi Casa". Las dimensiones características de la vivienda se muestran en la figura 3; la edificación posee un perímetro aproximado de 30,4 m, y cuenta con tres ambientes a los que se desea climatizar: dos dormitorios de superficie total 23 m<sup>2</sup>, para los que son necesarias 1,5 renovaciones por hora en ambos, y una cocina-comedor de 20 m<sup>2</sup> para la cual son necesarias 2 renovaciones por hora (Cabezas, 2012). Teniendo en cuenta lo anterior, se requiere un caudal de aire equivalente a 200 m<sup>3</sup>/h para climatizar la casa.

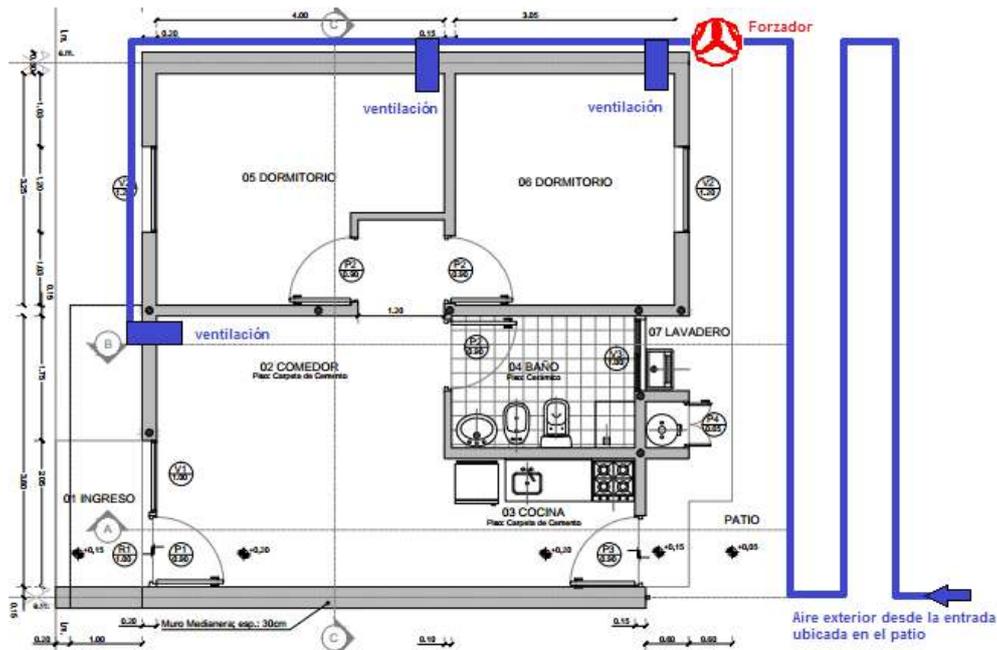


Figura 3: Casa del programa Mi Tierra, Mi Casa. En azul se indica el circuito de tubos propuesto.

Conocidas las demandas de ventilación, el diseño termo-hidráulico del intercambiador de calor solo depende de las restricciones constructivas y económicas. Se deben determinar tres dimensiones: longitud del tubo, diámetro del tubo y número de tubos, en el caso de configuración en paralelo

El rendimiento térmico y la caída de presión crecen con la longitud. Los tubos de diámetros más pequeños mejoran la transferencia de calor, pero causan una mayor caída de presión. La configuración en paralelo, proporciona una mejora en cuanto a la caída de presión, sin embargo, requiere de mayor superficie ocupada, esto condiciona que la instalación de los mismos se planifique y se realice simultáneamente en paralelo a la construcción de la vivienda, no permitiendo así su incorporación a una casa ya construida, más aún si el espacio es reducido.

Teniendo en cuenta que el sistema requiere poco mantenimiento y que no debe causar molestias a los habitantes de la casa, se adopta una configuración de tipo serpentina, ubicando los tubos de manera que rodeen la edificación con una longitud de tubo total igual a 30 m. Esto constituye una baja inversión en la instalación de los tubos y posibilita la disposición ocupando espacio disponible del terreno alrededor de la vivienda.

Por otra parte, un requisito previo es la determinación del diámetro de los tubos a utilizar. Según el modelo en planilla de cálculo, para una temperatura externa ambiente promedio de 29 °C y una medida de diámetro de 110 mm, se tiene una eficiencia de 97%, una caída de presión de 113 Pa y un coeficiente de transferencia de calor por convección igual a 21 W/m<sup>2</sup>K. Estos valores son aceptables para lograr la climatización de los ambientes de la casa. Por esto, se adopta un diámetro de tubo de 110 mm, una medida utilizada comúnmente en instalaciones domiciliarias y por lo tanto accesible. Se recomiendan tubos de PVC dado que presentan buena resistencia a la compresión, bajo coeficiente de fricción y no se oxidan, entre otras características adecuadas para el buen funcionamiento del sistema (Catálogo de Plasticbages).

Establecidas las principales dimensiones del sistema de tubos enterrados queda determinar el tipo de forzador de aire a elegir. Este debe ser capaz de mover aproximadamente 200 m<sup>3</sup>/h, caudal total a suministrar para lograr la climatización de los dos dormitorios, junto con la cocina-comedor, y compensar una caída de presión de casi 120 Pa. Un forzador/inyector de aire portátil monofásico

existente en el mercado, tiene las siguientes características: Motor normalizado de 1/3 HP, 2800 rpm, boca de entrada redonda de 106 mm. y boca de salida redonda de 100 mm, caudal de  $480 \frac{m^3}{h} > 200 \frac{m^3}{h}$  necesarios y presión de  $25 \text{ mm c.d.a.} = 25 \text{ mm c.d.a.} \times \frac{10 [Pa]}{1 \text{ mm c.d.a.}} = 250 \text{ Pa} > 120 \text{ Pa necesarios}$ .

Su utilización requerirá regulaciones electrónicas de velocidad o un sistema de válvulas reguladoras del caudal que deberán ponerse a punto con la instalación en funcionamiento.

## Conclusiones

El desarrollo de sistemas energéticamente sustentables para el acondicionamiento de ambientes, se encuentra aún en desarrollo en la Argentina. En este trabajo se ha evaluado la aptitud del suelo a profundidades del orden del metro, para enfriar un flujo de aire a través de un sistema de tubos enterrados, en la ciudad de Santa Fe y alrededores. Ello se analizó a través de un modelo existente en la literatura, volcado en un algoritmo basado en planilla de cálculo que fue validado reproduciendo resultados publicados.

Los resultados indican, para diferentes combinaciones y disposiciones de tubos, que el sistema de climatización por tubos enterrados es eficiente, siendo una alternativa válida a los sistemas de climatización por bomba de calor. A su vez, otras características que se destacan del sistema de tubos enterrados, son: su sencilla instalación desde el punto de vista técnico y su escaso mantenimiento ya que el único elemento móvil es el forzador.

Si bien no se ha analizado formalmente, ha quedado reflejado en el trabajo la moderada inversión inicial del sistema de tubos enterrados, debido a que requiere elementos constituyentes sencillos y duraderos, como por ejemplo los tubos de PVC. Por otro lado, la utilización de la instalación implica el consumo de energía eléctrica para el forzador, que podría incluso ser provista por un sistema asociado de captación de energía solar, lo que convertiría el aprovechamiento en energéticamente sustentable.

## Referencias

- A. Ma. Cabezas, Eficiencia energética a través de utilización de tubos canadienses con el análisis de datos de un caso real “Casa Pomaret”, Tesina presentada al Máster Universitario Oficial en Edificación de la Universidad Politécnica de Catalunya – UPC, para título de Máster en Edificación en la especialidad de Tecnología, Barcelona (2012).
- Características generales del PVC, (2018), Plasticbages Industrial, S.L., <http://www.plasticbages.com/caracteristicaspvc.html>
- M. De Paepe, A. Janssens, Thermo-hydraulic design of earth-air heat exchange, Energy and Buildings 35 (2003) 389-397.
- Soplador e inyector de aire, (2018), Atenas ventilación, <http://www.atenasventilacion.com.ar/sopladores-e-inyectores-de-aire/soplador-de-aire-portatil-monofasico-apm13.html>
- Y. A. Çengel, Transferencia de calor y masa, un enfoque práctico, Traducido de la tercera edición de: Heat and Mass Transfer. A Practical Approach, (2007) by The McGraw-Hill Companies, Inc., impreso en México.

# CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL DE SUELOS ARCILLOSOS DE LA REGIÓN A PARTIR DE ENSAYOS TRIAXIALES ESCALONADOS

Autores: Pablo Gabriel Cano, Miguel Alejandro Jacob, Luciana Dalzotto, María Luz Torres. Tutor: Ing. Oscar Daniel Rico

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Concordia – Salta 277, Concordia, Entre Ríos, Argentina. ricooscar@concordia.com.ar

## Resumen

En la región suelen utilizarse para los suelos arcillosos, correlaciones internacionalmente difundidas entre parámetros de corte como la cohesión no drenada  $C_u$  y el número  $N$  obtenido en el ensayo estándar de penetración (SPT). Sin embargo, los autores de tales relaciones solicitan “prudencia” respecto al uso de sus expresiones y recomiendan validaciones para cada zona particular.

Este trabajo pretende ser un aporte al conocimiento de las variables que permiten definir la capacidad de carga de los suelos arcillosos, en general de alta plasticidad, distribuidos en gran parte del Noreste de la Provincia de E. Ríos.

Se exponen resultados de diferentes ensayos triaxiales ejecutados en forma escalonada, no consolidada ni drenada (UU) y a humedad natural; los cuales permiten la obtención de curvas tensión – deformación y parámetros de resistencia al corte  $\phi_u$  y  $C_u$ .

Se presentan algunas relaciones obtenidas. Adicionalmente se indaga sobre la validez para estas arcillas, de las expresiones más conocidas en función de  $N$  y de la plasticidad.

## Introducción

La determinación de la resistencia al corte de los suelos se basa principalmente en datos obtenidos de pruebas en laboratorio, siendo los ensayos triaxiales los más utilizados. El dispositivo básico para la realización del ensayo es el que se muestra en la Fig. 1.

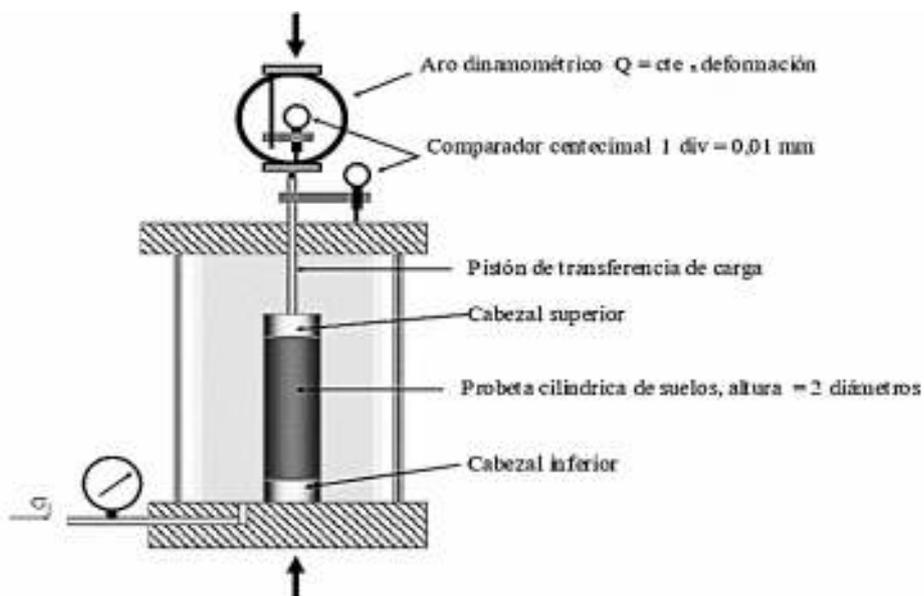


Figura N° 1.- Esquema de Cámara Triaxial

## Materiales y métodos

Se utilizaron muestras de suelos arcillosos, obtenidas mediante Ensayo de penetración SPT provenientes de distintas zonas de Entre Ríos: Chajarí, Colón, Los Charrúas, Chañar y Jubileo.

En esta primera etapa de investigación se realizaron ensayos triaxiales escalonados, sin drenar (UU), a humedad natural.

Una vez extraída la probeta se determinó la humedad natural, se la preparó para realizar el ensayo triaxial y luego de ensayadas se tomaron las humedades finales. Posteriormente para luego proceder a su clasificación, se determinaron los límites de Atterberg y se lavó por tamiz N°200, según normas IRAM.

### Instrumental

- Aparato de carga axial: constituido por sistema de pistón hidráulico o mecánico, accionado manualmente o mediante motor eléctrico por medio de engranaje de transmisión; y plataforma de carga equipada con tornillos de movimiento vertical y palanca.
- Dispositivo de medida de la carga axial: aro dinamométrico de carga en la parte superior, con su correspondiente flexímetro.
- Cámara de compresión triaxial: base metálica con apoyo central para la probeta y conexiones con válvulas de cierre a presión. Posee un cilindro de metacrilato y un cabezal también metálico atravesado por el vástago alineado con el eje de la probeta y por el cual se le transmite carga. El acople de los tres elementos constitutivos (base, cilindro y cabezal), con ajuste completamente hermético.
- Cabezales de la probeta: de material impermeable, indeformable y no corrosivo; con superficie de contacto de sección circular y plana. El cabezal inferior está acoplado a la base metálica para impedir movimientos laterales o volcamientos; el cabezal superior diseñado para recibir el extremo del vástago en áreas de contacto concéntricas. Se emplearon cabezales “ciegos”.

### Procedimiento

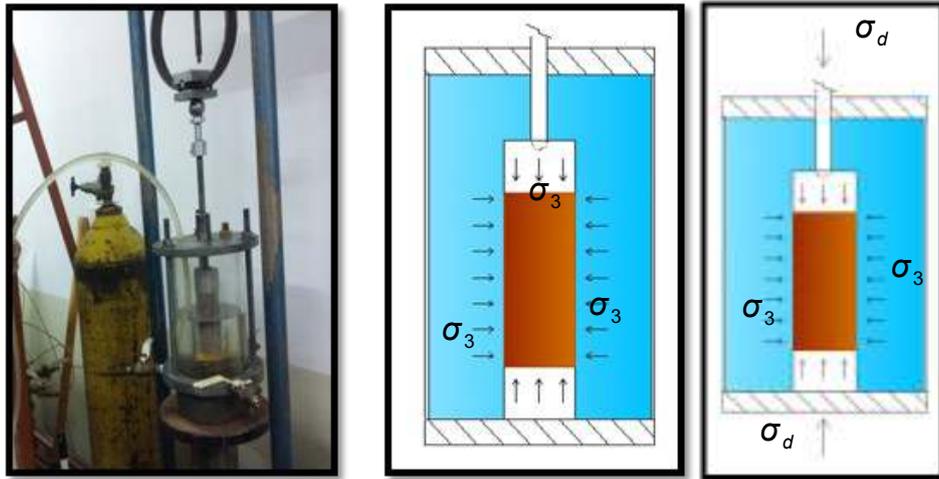
Lo primero que se hizo fue extraer cuidadosamente las muestras de suelo del interior de los tubos de muestreo, intentando producir una perturbación mínima. Posteriormente se recortan las caras transversales intentando que sean lo más paralelas posible entre sí y ortogonales al eje longitudinal del vástago de aplicación de carga. La relación altura/ diámetro de la probeta debe ser entre 2 y 2,5 (Fig. 2 y 3).



Figuras N° 2, 3 y 4: preparación de la probeta, verificación de paralelismo entre sus caras y posterior armado sobre el cabezal de la cámara.

Para el armado de la cámara, se coloca la probeta sobre el cabezal inferior y se recubre el conjunto con membrana de látex, asegurando verticalidad y hermeticidad mediante una abrazadera ajustada en el mismo cabezal (Fig. 4). Luego se sitúa el tubo de lucite, la tapa que apoya sobre el mismo y el vástago que transmitirá la carga axial, se completa con agua y se lleva a la prensa.

El proceso de carga se efectúa en dos etapas. *Etapas I*: aplicación de la presión de confinamiento  $\sigma_3$  (Fig. 5 y 6). Se trabajó con escalones de presión  $\sigma_3$  de  $1 \frac{Kg}{cm^2}$ ,  $2 \frac{Kg}{cm^2}$  y  $3 \frac{Kg}{cm^2}$ . *Etapas II*, con la presión de cámara  $\sigma_3$  aplicada (representando la presión de tapada), se introduce la tensión desviante  $\sigma_d$  a través del vástago (Fig. 7).



Figuras N° 5, 6 y 7: llenado de cámara con agua para transmitir mediante aire comprimido la presión de confinamiento, en la última figura aplicación de carga axial.



Ministerio de Educación		UNTEC		Pozo #3 - Feliciano 05-04-2107		FECHA: 5/4/2017						
Universidad Tecnológica Nacional		Facultad Regional Concordia		ENSAYO: TRAJAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO								
Pozo:	3	W (cm)	16.37	V <sub>o</sub> (cm <sup>3</sup> )	174.51	Cte. A <sub>20</sub> = 0.0485	H <sub>2</sub> O					
Muestra:	1	W <sub>o</sub> (cm)	4.63	V <sub>c</sub> (cm <sup>3</sup> )		σ <sub>3</sub>	kg/cm <sup>2</sup>					
Profundidad:	158.200	W <sub>o</sub> (cm <sup>2</sup> )	16.63	A <sub>c</sub> (cm <sup>2</sup> )		Velocidad = 30	Amp					
Horas	Flex. Q	Q	Flex. Def.	d	e	A <sub>c</sub>	σ <sub>3</sub> = σ <sub>1</sub> = σ <sub>2</sub>	T <sub>v</sub>	ΔT <sub>v</sub>	Δv	Δv/W <sub>o</sub>	U
	h	PHI	(MM.)	(CM)	(%)	(CM <sup>2</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )		(cm)	(cm <sup>3</sup> )	(%)	(Kg/cm <sup>2</sup> )
20:18	0	0.00	0	0.000	0.000	16.63	0.00					
20	1.35	90	0.010	0.095	0.56	16.64	0.08					
55	2.57	20	0.020	0.193	1.16	16.68	0.16					
85	4.12	30	0.030	0.289	1.68	16.68	0.24					
100	4.95	40	0.040	0.385	1.99	16.69	0.29					
130	6.21	50	0.050	0.482	2.37	16.91	0.37					
155	7.82	60	0.060	0.579	2.68	16.83	0.44					
175	9.44	70	0.070	0.675	2.94	16.94	0.50					
200	9.70	80	0.080	0.771	3.09	16.99	0.57					
215	10.48	90	0.090	0.868	3.23	16.89	0.62					
235	11.40	100	0.100	0.964	3.37	16.99	0.67					
265	12.85	125	0.125	1.295	3.79	17.03	0.75					
295	14.31	150	0.150	1.448	3.97	17.07	0.84					
305	15.75	175	0.175	1.808	4.12	17.12	0.92					
328	17.26	200	0.200	2.000	4.28	17.18	1.01					

Figura N°8.

Se inicia el ensayo con una tensión  $\sigma_3 = 1 \frac{kg}{cm^2}$ , mediante aire a presión conectado a la cámara e impidiendo el drenaje. Conjuntamente a la aplicación de presión de cámara  $\sigma_3$ , se aplica la carga

axial  $\sigma_d$ , tomando lecturas simultáneamente de los comparadores de deformación y de los de carga, en intervalos que permitan definir la curva tensión – deformación.

Mientras se efectúa la prueba, se controla la gráfica  $\sigma - \varepsilon$  (Fig. 8) observando los cambios en su pendiente, lo que determina un “aviso” de rotura para detener el ensayo y proceder a aplicar una tensión de confinamiento superior, en este caso  $\sigma_3 = 2 \frac{kg}{cm^2}$ . Posteriormente se opera de la misma manera para  $\sigma_3 = 3 \frac{kg}{cm^2}$ , una vez alcanzada la falla o deformaciones mayores al 20%, se da por finalizado el ensayo (Fig. 9 y 10).



Figuras N° 9 y 10: probeta luego de ensayada recubierta en látex y presentando la rotura a 45° por esfuerzos de corte.

#### IV - Resultados

En un sistema de coordenadas ortogonales se representan en abscisas deformaciones axiales  $\varepsilon$  y en ordenadas la tensión desviante  $\sigma_d = \sigma_1 - \sigma_3$ .

Se determinaron tensiones desviantes correspondientes a rotura para cada escalón de carga. (Fig. 11).

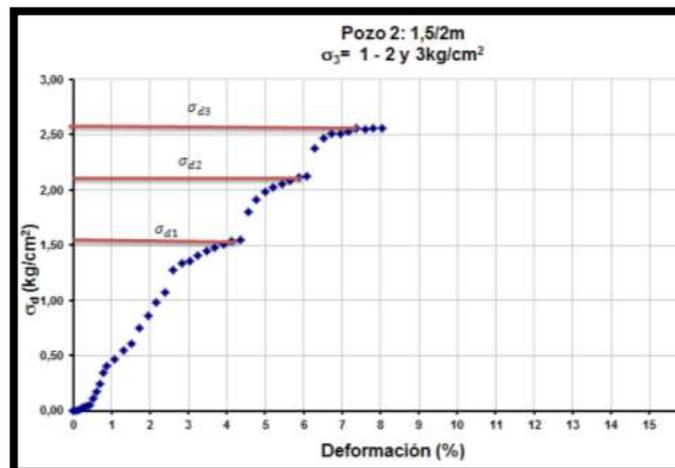


Figura N° 11: diagrama tensión – deformación obtenido del ensayo.

Con los datos obtenidos se graficaron los círculos de Mohr de tensiones de rotura (Fig. 12), para cada tensión de confinamiento aplicada (escalón de carga), definiéndose la envolvente de rotura.

Parámetros de resistencia al corte del suelo no consolidado ni drenado: Se definió la cohesión  $C_u$ , como el punto en que la misma corta al eje de ordenadas; en tanto que el ángulo que forma esa recta con el eje de abscisas indica el ángulo de resistencia al corte  $\phi_u$ .

En *Tabla 1* se presentan los valores obtenidos,  $C_u = 0,46 \frac{Kg}{cm^2}$  y  $\phi_u = 11^\circ$ , para el ensayo de *Fig.*

11

Tabla N° 1

$\sigma_3$ ll		$\sigma_d$ ll		$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_d$ ll	
$\sigma_{31}$	1	$\sigma_{d1}$	1,6 0	$\sigma_{11}$	2,60
$\sigma_{32}$	2	$\sigma_{d2}$	2,1 5	$\sigma_{12}$	3,15
$\sigma_{31}$	3	$\sigma_{d3}$	2,6 0	$\sigma_{13}$	5,60

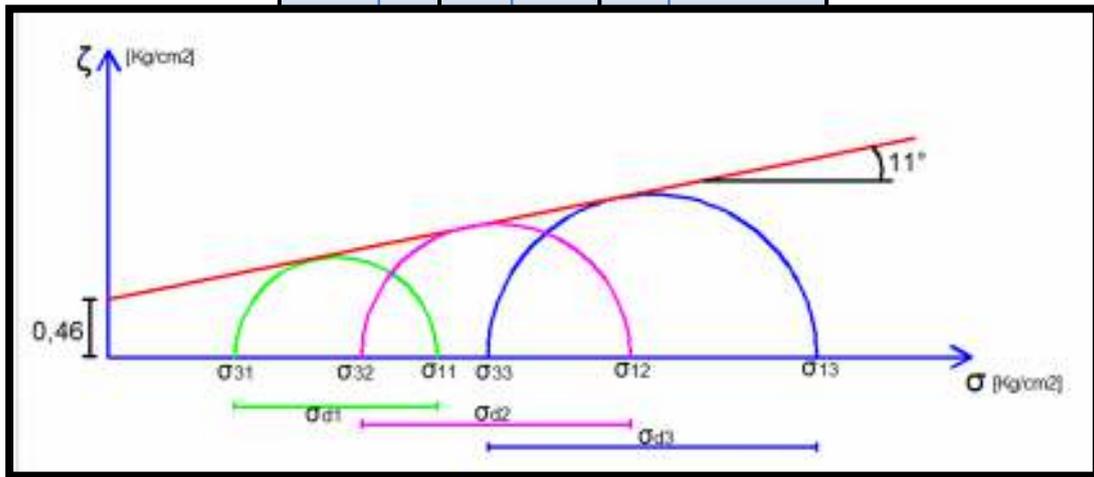


Figura N° 12: trazado de los círculos de Mohr y su envolvente.

Se presenta a continuación una tabla resumen:

Tabla N° 2

CHAJARÍ P1					CHAJARÍ P2				
Prof	Humedad	Cu	$\phi$	N	Prof	Humedad	Cu	$\phi$	N
0,50 - 1,00	17,42 %	1,78	11°	8	0,50 - 1,00	22,61 %	0,55	5°	7
1,50 - 2,00	22,28 %	0,83	12°	9	1,50 - 2,00	25,97 %	0,41	12°	10
2,50 - 3,00					2,50 - 3,00	23,56 %	0,73	9°	13
4,50 - 5,00	22,13 %	0,95	3°	12	4,50 - 5,00	18,08 %	0,76	7°	16
5,50 - 6,00	15,57 %	1,76	11°	19	5,50 - 6,00	16,14 %	1,36	7°	15
6,50 - 7,00	14,71 %	1,94	5°	16					
7,50 - 8,00	11,45 %	1,53	14°	21					

## V – Conclusión preliminar

Se ha observado una evolución de tendencia lineal, lo que permitiría considerar que existe una constante de proporcionalidad entre la cohesión no drenada y el número de golpes; resultando ello coincidente con gran parte de las correlaciones internacionalmente difundidas.

Se continuarán ensayando muestras de similares propiedades físicas, verificando la proporcionalidad antes mencionada y buscando obtener valores de referencia a nivel local.

Para una totalidad de doce ensayos de muestras provenientes de Chajarí:

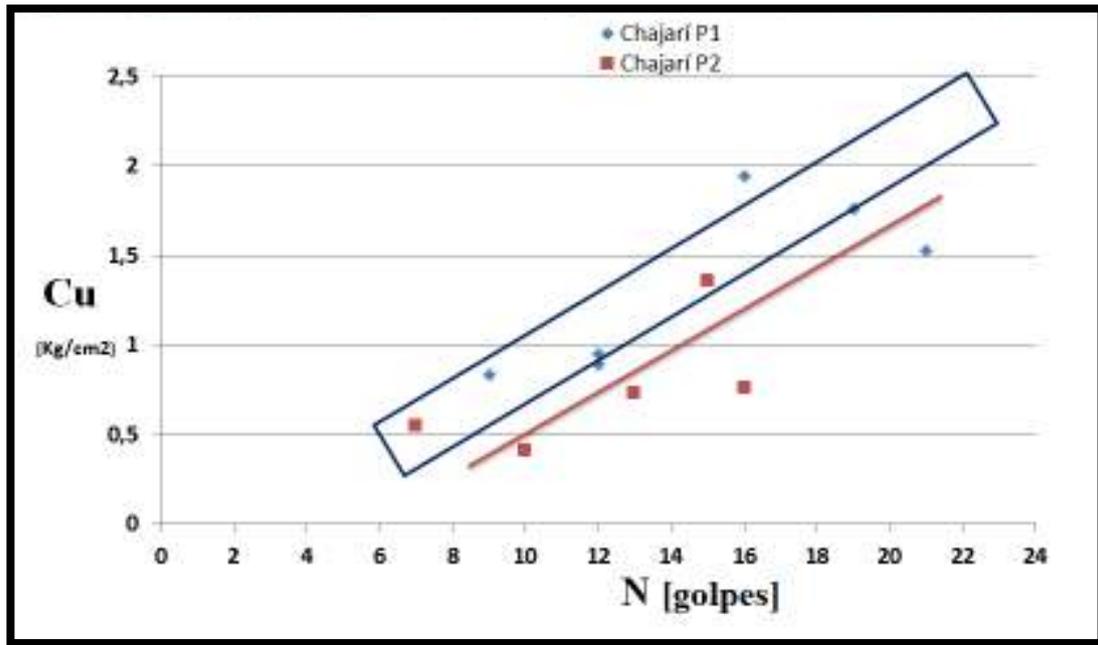


Figura N° 13

## VI - Bibliografía

- [1] Terzaghi, K., Peck, R. B., Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica, 2da edición, Ed. El Ateneo, 1955.
- [2] Stroud, M. A. "The standard penetration test in insensitive clays and soft rock," Proceedings of the 1st European Symposium on Penetration Testing, Sweden: Stockholm, vol. 2(2), 1974.
- [3] Instituto Argentino de Normalización. Norma IRAM 10529 – Mecánica de suelos. Método de ensayo de compresión triaxial en suelos cohesivos sobre probetas no consolidadas ni drenadas. Argentina, 1985.
- [4] Sabelli, A., Rodríguez, E., Rago, W. Las arcillas activas en Argentina. Diagnóstico y remediación. Primera etapa: Desarrollo básico. Informe de avance N°6: Resistencia al corte.
- [5] Leoni, A.J. Resistencia al corte. Facultad de Ingeniería U.N.L.P.

# EL USO DE AMA COMO METODOLOGÍA DE CONTROL DE LA RAS EN HORMIGONES DE LA MESOPOTAMIA CON AGREGADOS DE HORMIGONES RECICLADOS REACTIVOS

*Alberto J. Palacio, Andrea S. Pereyra, Darío M. Wendler.*

*Tutor: Fabián A. Avid.*

*GIICMA - Grupo de Ingeniería Civil, Materiales y Ambiente. UTN - Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Concordia, Concordia, E.R., ARGENTINA*

**Palabras-clave:** RAS, hormigones reciclados, AMA, mitigación.

## Resumen

La extracción de agregados naturales en la Mesopotamia, genera cavas a cielo abierto que alteran el entorno natural. Paralelamente, el aumento de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) es un condicionamiento importante del ambiente que debe ser considerado. El reciclado del hormigón como agregado fino se presenta como una solución a estas problemáticas. Las experiencias con los hormigones de la zona indican la existencia y el desarrollo de la reacción álcali- sílice (RAS), lo que debe ser considerado al tiempo de encarar su reciclado en los hormigones convencionales. En este trabajo se estudia el efecto de mitigación de las adiciones minerales activas (AMA), diferentes porcentajes según la adición, en hormigones reciclados reactivos analizados en investigaciones anteriores. En la primera etapa se usó el método acelerado de la barra de mortero según norma IRAM 1674/97. Los resultados obtenidos con este método demuestran el buen comportamiento de las AMA con estos hormigones frente al posible desarrollo de la reacción, una segunda etapa consistirá en usar el método de la Norma IRAM 1700 y su Anexo.

## Introducción

La región mesopotámica argentina es una fuente de provisión de agregados naturales para la construcción. Su extracción y utilización es intensiva debido a las características geológicas de la zona (grandes depósitos aluvionales de material meteorizado: cantos rodados, arenas de ríos y arroyos). Esto genera la proliferación de grandes cavas a cielo abierto que impactan tanto a nivel visual como ambiental. A su vez, los RCD van en franco aumento, y su consecuencia es el vertido en zonas legalmente habilitadas por los respectivos municipios o en zonas bajas sin ningún tipo de control público.

El reciclaje de RCD es una solución a esta doble problemática, debido a que se reutiliza una gran cantidad de residuos sin aprovechamiento, y se obtiene una nueva materia prima, reduciendo la cantidad de recursos naturales primarios a extraer.

Las experiencias con hormigones reciclados en la zona han sido efectuadas en forma esporádica en hormigones pobres. En un estudio hecho en nuestro laboratorio, se adicionó hasta un 70% de hormigón reciclado como agregado fino, estudiándose su incidencia estructural, midiendo las características de resistencia y módulo de ellos, resultando un buen comportamiento, sin tener en cuenta la incidencia de esta sustitución en la RAS. [1]

Las estructuras de hormigón pueden sufrir diferentes patologías. La RAS es una de ellas y es característica de los hormigones de la zona, que se halla vinculada al uso de agregados deletéreos (por presencia de ópalo) que reaccionan con los álcalis contenidos en el hormigón de cemento portland en presencia de humedad, causando inconvenientes técnicos y económicos en las obras afectadas, incidiendo en la durabilidad de las estructuras. Los hormigones reciclados afectados por la RAS o que tienen en su composición agregados potencialmente reactivos, pueden desarrollar la reacción en los nuevos hormigones, ya sea por el potencial deletéreo remanente del hormigón reciclado, por la renovación de la cantidad de álcalis de alta solubilidad por el nuevo CUC y/o por exposición de las estructuras en ambientes con humedad. [2]

En trabajos de investigación anteriores se han analizado los sitios de provisión de la Provincia de Entre Ríos y sus productos, identificando específicamente su comportamiento frente a la reacción

álcali-sílice. [3] Más adelante se estudió la reacción en basaltos de toda la Mesopotamia. [4] Finalmente se analizaron las incorporaciones de reciclados de hormigón en diferentes porcentuales de reemplazo y su comportamiento frente a la RAS. Se determinó el porcentaje efectivo de reemplazo de agregado fino para el cual las propiedades mecánicas de hormigón no presentan una variación significativa.

En función de los resultados obtenidos, dónde la presencia de esta reacción está demostrada, se pretende atender a su mitigación mediante la incorporación de AMA, materiales que proveen propiedades cementicias similares al cemento portland. Ellas imparten diversos beneficios tales como la reducción de costos y mejoras en las propiedades del hormigón fresco y endurecido.

El presente trabajo tiene como objetivo analizar la acción de las AMA para la mitigación de los efectos de la RAS en hormigones con agregados de hormigones triturados (reciclados). Para ello se incorporaron distintos porcentuales de adiciones disponibles. Se analiza el comportamiento de agregados reciclados en su valoración de la probabilidad de desarrollo de la RAS, utilizando el método de la Norma IRAM 1674/97. [5]

## Metodología

Los materiales utilizados para la elaboración de las barras de mortero para el estudio del desarrollo de la RAS (Norma IRAM 1674/97) fueron arena natural proveniente de una cantera regional y cemento de alto uso comercial en la zona (CPC40). Se utilizaron agregados finos obtenidos de la trituración de hormigones compuestos por agregado grueso canto rodado (gravas), y agregado fino silicio, materiales potencialmente reactivos frente a la RAS, que formaban parte de estructuras en altura. Tamaño de las partículas del agregado, pasante de Tamiz N° 4- abertura 4,75 mm. (Requisito operativo de la Norma IRAM 1674/97). Basados en resultados de estudios anteriores sobre la influencia del reemplazo de agregado fino por agregado reciclado en los parámetros mecánicos del hormigón, se adoptó un porcentaje de reemplazo del 50%.

La metodología experimental consistió en elaborar barras de mortero reemplazando cemento portland por tres adiciones minerales; la primera, una ceniza volante clase F, en porcentajes de 15%, 20% y 25%; la segunda, zeolita, en porcentajes de 10%,15% y 20%; y la tercera, micro sílice, en porcentajes de 5% y 10%. La Tabla 1 muestra mezclas evaluadas.

Se utilizó para medir la expansión de las barras un comparador de longitudes (Norma IRAM 1637). Se realizaron lecturas periódicamente durante 28 días. Se calculó la diferencia porcentual entre la lectura inicial de la probeta (24 h después de desmoldar) y las lecturas en cada período con respecto al largo de referencia. Se registra la expansión promedio de tres probetas, para cada mezcla, como la expansión en un período dado, aproximando al 0,01%. [6]

Tabla 1 – Mezclas evaluadas

MEZCLA	AGREGADO FINO NATURAL	AGREGADO FINO RECICLADO	ADICIÓN MINERAL	PORCENTAJE DE REEMPLAZO
<b>M1</b>	50%	50%	CENIZA VOLANTE TIPO F	0%
<b>M2</b>	50%	50%	CENIZA VOLANTE TIPO F	15%
<b>M3</b>	50%	50%	CENIZA VOLANTE TIPO F	20%
<b>M4</b>	50%	50%	CENIZA VOLANTE TIPO F	25%
<b>M5</b>	50%	50%	ZEOLITA	0%
<b>M6</b>	50%	50%	ZEOLITA	10%
<b>M7</b>	50%	50%	ZEOLITA	15%
<b>M8</b>	50%	50%	ZEOLITA	20%
<b>M9</b>	50%	50%	MICRO SÍLICE	0%
<b>M10</b>	50%	50%	MICRO SÍLICE	5%
<b>M11</b>	50%	50%	MICRO SÍLICE	10%

## Resultados

En las figuras 1,2 y 3 se grafica el desarrollo de la expansión por RAS de las diferentes mezclas, siguiendo la metodología de la Norma IRAM 1674:1997. Cada gráfica representa una AMA, con sus respectivos porcentajes de reemplazo.

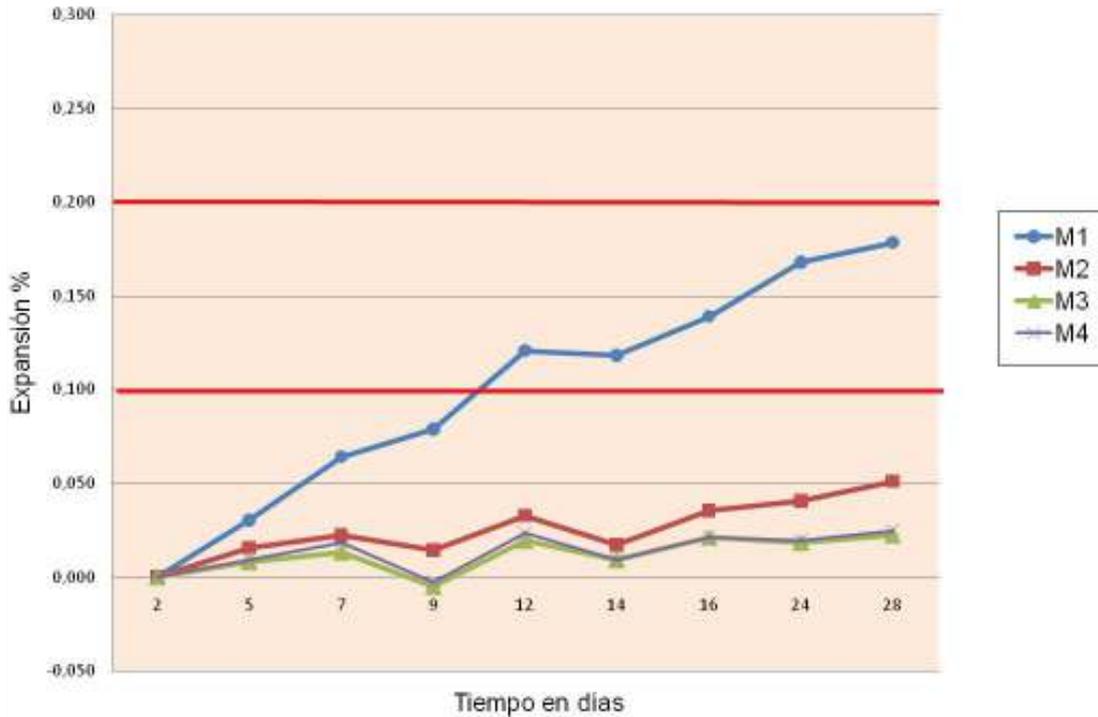


Figura 1 – Evolución de la expansión en el tiempo - Mezclas M1-M2-M3-M4

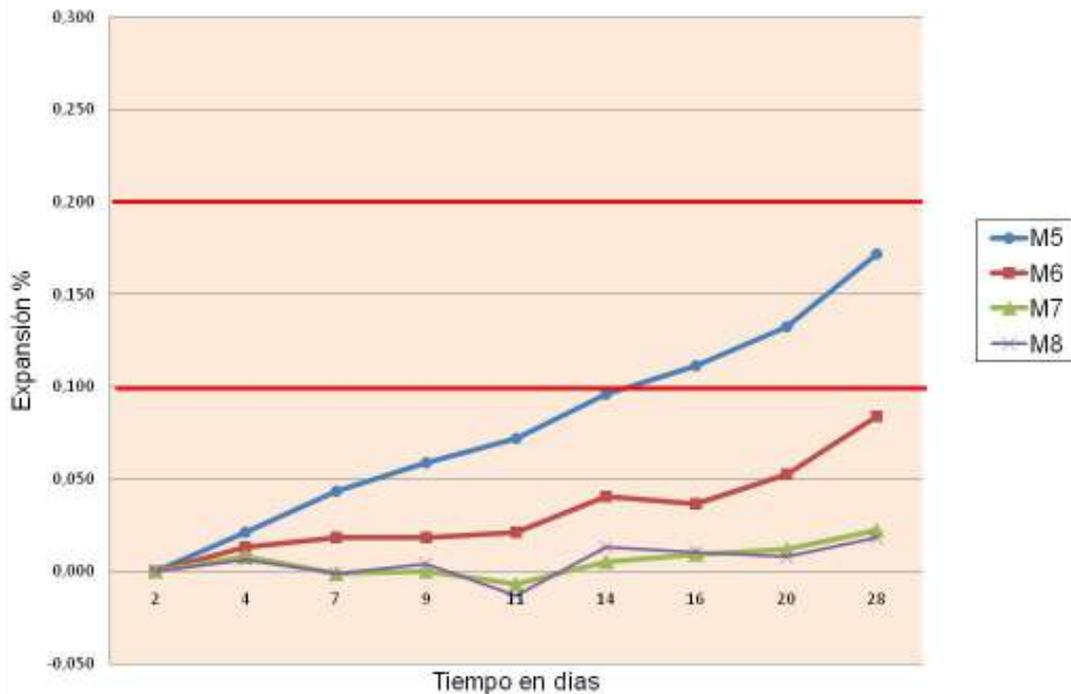


Figura 2 – Evolución de la expansión en el tiempo - Mezclas M5-M6-M7-M8

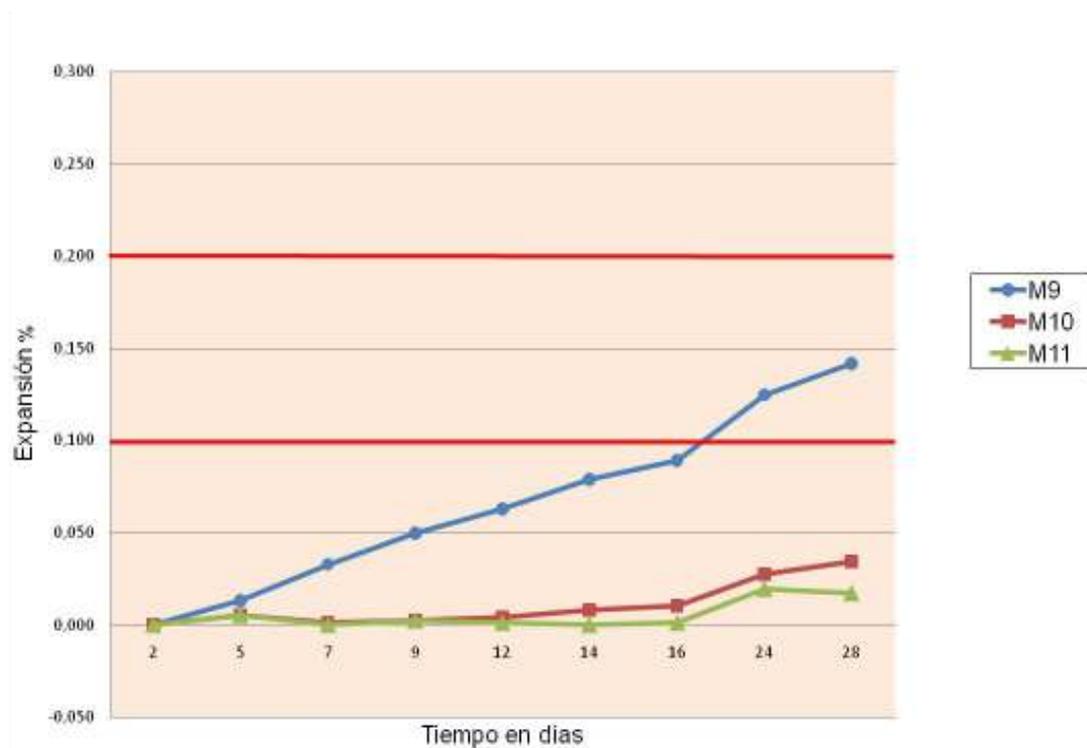


Figura 3 – Evolución de la expansión en el tiempo - Mezclas M9-M10-M11

### Discusión de los resultados

Los resultados obtenidos corroboran que estos materiales reciclados manifiestan la reacción álcali sílice en el método acelerado de la Norma IRAM 1674/97 y que la incorporación de adiciones minerales activas en hormigones con agregado reciclado mitiga la reacción.

En las gráficas se observa que el porcentaje óptimo de reemplazo de ceniza volante tipo F es del 15%, de zeolita es de 15% y de micro sílice es de 5%. Los resultados se muestran en la Tabla 2. Es importante mencionar que a pesar de que la adición micro sílice presenta un bajo porcentaje de reemplazo, en el mercado es una de las opciones más costosas, por lo que debería realizarse un análisis de costos teniendo en cuenta su efectividad.

Tabla 2 – Porcentajes óptimos

AMA	PORCENTAJE ÓPTIMO
Ceniza Volante	15%
Zeolita	15%
Micro sílice	5%

## Conclusiones

Estas tareas son un aporte necesario para el conocimiento del manejo local de agregados reciclados en la elaboración de hormigones y su relación con la RAS. En nuestro caso las experiencias desarrolladas sobre hormigones tradicionales con los agregados de la zona indican fuertemente el desarrollo de la RAS, lo que debe ser considerado al tiempo de su reciclado para poder definir su utilización aplicando las metodologías necesarias para su inhibición.

Con respecto a la mitigación de la RAS en hormigones reciclados como agregado fino, se logró demostrar que la utilización de adiciones minerales como la ceniza volante clase F, la zeolita y micro sílice es una medida efectiva, siempre y cuando se utilicen en los porcentajes adecuados. Se determinó el porcentaje óptimo de reemplazo de cada adición mineral activa estudiada con el cual se alcanza la inhibición de la reacción en hormigones con agregado reciclado. Si bien se tomaron como antecedentes los porcentajes utilizados en hormigones convencionales, se determinaron los porcentajes óptimos necesarios para este tipo de mezcla.

## Referencias

- [1]Pereyra A., Avid F. "El Control De Los Hormigones Reciclados Usados Como Agregados En Nuevos Hormigones De Cemento Portland. Método Norma Iram 1674." CYTAL 2016.
- [2] Sota J. D., Falcone D., Batic O.R . "Hormigones con agregados de hormigón reciclado afectado por RAS". Memorias. *16ª Reunión Técnica Prof. Agrim. Antonino Bonforte y 1º Concurso Nacional*, Mendoza; Argentina 8 al 10 de Noviembre de 2006. pp 7-14
- [3] J.M. Cosentino, F. Avid, P. Machado, E. Saad, J.D. Sota. "Estudio de los agregados aluvionales en explotación de la provincia de Entre Ríos frente a la Ras. Estudios Interlaboratorio." Universidad Tecnológica Nacional –Facultad Regional Concordia. 2005
- [4]Fabián Avid, José Cosentino, Gabriela Do Santos, Jorge Daniel Sota. "Paragénesis y alteraciones en basaltos usados en hormigones para grandes obras". XII CONGRESO LATINOAMERICANO DE PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN Y XIV CONGRESO DE CONTROL DE CALIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN. 2007
- [5] Alkali Silica Reaction -Minimising The Risk Of Damage To Concrete Guidance Notes And Recommended Practice (Second Edition). C.J. Munn - Cement And Concrete Association Of New Zealand (Chairman). 2003
- Diseño Y Control De Mezclas De Concreto ShKosmatka. 2010
- [6] Normas IRAM: Cemento. Agregados. Hormigón. 2015



# **ANÁLISIS DE LA INFILTRACIÓN EN HORMIGONES POROSOS CON ÁRIDOS DE LA PROVINCIA DE ENTRE RÍOS – DOSIFICACIÓN DE LAS MEZCLAS.**

Autores: Eugenio Sauré, Mario Cornaló, María Belén Rodríguez, Alberto J. Palacio  
Tutor: Jorge D. Sota.

GIICMA Grupo de Ingeniería Civil Materiales y Ambiente  
Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Concordia.  
Salta 277 – Concordia, Entre Ríos. palacioalberto27@hotmail.com - jdsota@gmail.com

## **Resumen**

Este trabajo resume los resultados de la primera etapa de un proyecto de investigación tutorado de la UTN, desarrollado en la Facultad Regional Concordia, el cual tiene como objetivo evaluar la capacidad de infiltración de diferentes muestras de hormigón poroso empleado en pavimentos. A su vez, se pretende determinar las dosificaciones óptimas para hormigones porosos en función de la razón agua-cemento y del porcentaje de vacíos interconectados que se requieren en el hormigón endurecido, con el fin de alcanzar el objetivo propuesto. A fin de facilitar el uso y reducir los costos de la solución, se emplearon materiales existentes en las zonas afectadas por la problemática del incremento de la escorrentía superficial de agua de lluvia. Se realizaron ensayos de resistencia de las mezclas elaboradas, a distintas edades. También se llevaron a cabo ensayos de caracterización de los materiales utilizados, los cuales están constituidos íntegramente por agregados de la zona, basaltos triturados y cantos rodados. En cada prueba se varió la composición del agregado y la dosificación. Los resultados permitieron caracterizar el comportamiento estructural para posteriormente, vincularlos con las propiedades hidráulicas de distintas mezclas, determinando las relaciones entre el porcentaje de vacíos en el hormigón endurecido y la resistencia a la compresión, flexión y densidad de la mezcla.

*Palabras clave:* hormigones porosos, dosificación, ensayos de resistencia.

## **Introducción**

El continuo incremento de la escorrentía del agua de lluvia, debido al avance en la urbanización de las ciudades, es una problemática actual que hace imprescindible pensar en una gestión integral y sostenible del agua pluvial. Esto es especialmente importante en la Región de la Mesopotamia Argentina en las ciudades que yacen a orillas de los ríos Uruguay y Paraná.

La solución principal son los Sistemas de Drenaje Urbano Sostenibles (SUDS), entre ellos los pavimentos permeables siendo la técnica más completa y utilizada pues proporcionan infiltración, captación, transporte y almacenamiento, al permitir controlar en origen la escorrentía superficial, laminando los flujos de aguas pluviales y ofreciendo además un servicio a la sociedad como pavimentos estéticos, cómodos y seguros [1].

Este trabajo resume los resultados de la primera etapa del proyecto de investigación tutorado (ECTUNCO0004283) de la Universidad Tecnológica Nacional, el cual se encuentra actualmente en curso en la Facultad Regional Concordia. Está siendo tutorado por la Regional Córdoba, que ha desarrollado proyectos de investigación en esta temática, en particular los trabajos realizados por Positieri et al., 2015 [2, 3]. Los antecedentes de los firmes permeables se remontan fundamentalmente a la década de 1970 [4]. Actualmente, los firmes permeables son la técnica de restauración urbana con mayor desarrollo en Estados Unidos, Inglaterra, Francia y Alemania.

Existen registros de experiencias recientes en varios países de Latinoamérica, como los trabajos de Holtz en Brasil [5] y Castro en Chile [6], donde se estudiaron métodos de diseño y análisis de los hormigones porosos. En Argentina los estudios sobre este material llevan pocos años de desarrollo. Cabe mencionar como antecedentes los trabajos de investigación de Positieri et al. [2,

3], como así también trabajos preliminares llevados a cabo por profesionales del instituto del Cemento Pórtland Argentino, como Fernández Luco et al. [7] y Hernández et al. [8]

### Materiales de ensayo

En la Tabla 1 se presentan las propiedades de los agregados empleados para realizar los pastones. Estos son los tradicionales en la industria local del hormigón elaborado y consistieron en un canto rodado 10-20 mm del Río Uruguay, proveniente de la ciudad de Concordia y basalto partido 10-20 mm con origen en la localidad de Puerto Yeruá, también en el departamento de Concordia. Se optó por la utilización de estos agregados gruesos monogranulares con el objetivo de emplear una granulometría discontinua (Figura 1). Además con el empleo de agregados de distintos orígenes se buscó evaluar la influencia de la forma de las partículas en la resistencia y porosidad de este tipo de hormigones.

Como agregado fino se empleó un pequeño porcentaje de arena gruesa de cantera también proveniente de la ciudad de Concordia, con el fin de minimizar el efecto de microfisuración por retracción de la pasta utilizada como puente de unión. Su distribución granulométrica se presenta en la Figura 2.

Como material cementicio se utilizó un Cemento Pórtland Compuesto (CPC40), utilizado normalmente en las obras de la zona.

### Propiedades de los agregados

A continuación se presentan los resultados de los diferentes ensayos de caracterización realizados sobre los agregados empleados.

Tabla 1 - Resumen propiedades de los agregados empleados.

	Agregado Fino		Agregado Grueso			
	Arena Gruesa		Canto Rodado		Basalto	
Módulo de Finura	2,59		6,68		6,60	
Absorción	0,60	%	0,89	%	1,52	%
Humedad	3,09	%	2,30	%	2,30	%
Peso Específico SSS	2,63	kg/dm <sup>3</sup>	2,61	kg/dm <sup>3</sup>	2,92	kg/dm <sup>3</sup>
PUV Suelto		kg/m <sup>3</sup>	1680	kg/m <sup>3</sup>	1640	kg/m <sup>3</sup>
PUV Compactado		kg/m <sup>3</sup>	1800	kg/m <sup>3</sup>	1790	kg/m <sup>3</sup>
Tamaño Máximo Nominal		mm	19	mm	19	mm

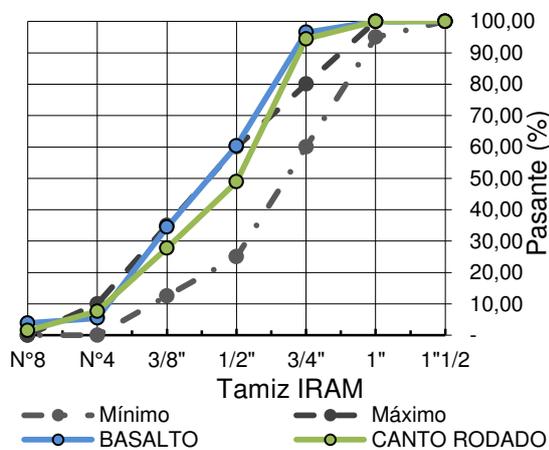


Figura 1 - Curvas granulométricas de Agregado Basáltico y Canto Rodado, según Norma IRAM 1627

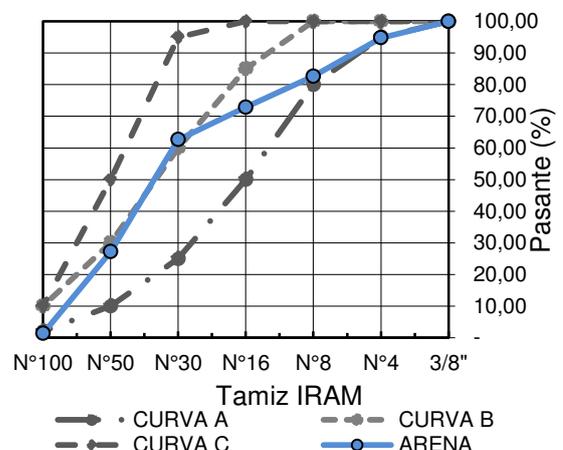


Figura 2 - Curva granulométrica de Agregado Fino, según Norma IRAM 1627.

## Diseño de mezclas de hormigón poroso

El diseño de las mezclas se llevó a cabo en el Laboratorio de Hormigón de la Regional Concordia, se realizaron seis pastones de prueba en busca de desarrollar un pastón de hormigón poroso con propiedades drenantes, estudiando la incidencia de las características de forma de los agregados y proporciones de los materiales componentes sobre las propiedades de resistencia.

Teniendo en cuenta que el hormigón poroso es un material poco conocido en la zona y con el fin de realizar una dosificación inicial que logre un equilibrio ajustado entre porosidad (permeabilidad) y resistencia, se empleó como base una mezcla ya diseñada y estudiada. El análisis de las prestaciones y el desarrollo de esta dosificación pueden encontrarse en el trabajo desarrollado por Hernández et al. [8]. Las proporciones y parámetros que definen esta mezcla (Mezcla M10), y las características relacionadas con el estado fresco y compactación se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2 - Valores de la mezcla adoptada

Mezcla M10	
Cemento [kg/m <sup>3</sup> ]	390
Vol. Pasta	248
Relación a/c	0,32
%Fino/Total Agregado	5
P.U.V. [kg/m <sup>3</sup> ]	1990
Factor de Compactación	0,94
Forma de Compactación	3 Capas 18 Gol. T99
Energ. de Compactación [kg/cm <sup>2</sup> ]	0,78
Espojamiento [%]	22

En base a esta mezcla se determinaron las proporciones de cada material a emplear en los primeros pastones. En una primera instancia se elaboraron los pastones llamados N°1, 2 y 3; para los cuales se determinaron las resistencias a compresión y flexión. En el caso de los pastones N°4, 5 y 6, además de evaluar su resistencia a compresión, se moldearon probetas prismáticas de 49x49x10 cm con el fin de evaluar las propiedades drenantes en un simulador de lluvia elaborado por el grupo de investigación. Los principales resultados del desempeño hidrológico de las muestras se describen en Sasso et al. [9]. En cada uno de los casos se determinó densidad y porosidad de las probetas moldeadas. A continuación se presentan las distintas mezclas de prueba realizadas y un resumen de los resultados obtenidos:

### *1er, 2do y 3er Pastón*

Estos primeros pastones fueron elaborados para un volumen de 100 lts. En relación a la dosificación M10, solamente se modificó el tipo de agregado grueso y la cantidad de agua; a excepción del tercer pastón en el cual se empleó un aditivo superplastificante en proporción 1% del peso del cemento. Las relaciones a/c utilizadas fueron de 0,22, 0,27 y 0,25 respectivamente. Se moldearon 6 probetas cilíndricas (15 cm de diámetro y 30 cm de altura) y 2 probetas prismáticas (vigas de 15x15x55 cm) en cada pastón, con el fin de determinar las resistencias a compresión y flexión respectivamente. En la Tabla 3 se presenta un resumen de las distintas dosificaciones realizadas.

### *4to, 5to y 6to Pastón*

En base a la dosificación M10, para estos pastones se modificó la cantidad de cemento y de agua en relación a los tres primeros, también se empleó el aditivo superplastificante en proporción 1% del peso del cemento. Se elaboraron pastones de 50 litros y además de las probetas cilíndricas se

confeccionó una probeta prismática (losa de 49x49x10 cm), con el fin de poder evaluar sus propiedades hidráulicas, según se desarrolla en Sasso et al. [9]. Las relaciones a/c utilizadas fueron de 0,25 para la cuarta dosificación, 0,26 para la quinta y de 0,28 para la sexta.

Tabla 3 – Dosificaciones para 1 m<sup>3</sup> de los pastones realizados.

Materiales [kg]	Pastón 1	Pastón 2	Pastón 3	Pastón 4	Pastón 5	Pastón 6
Agua	87	105	119	105	117	119
Cemento	390	390	390	420	420	420
Aditivo Viscocrete 6	--	--	4,21	4,20	4,20	4,20
Canto Rodado 1-2	1395	--	--	1388	--	--
Basalto 1-2	--	1567	1552	--	1371	1548
Arena Gruesa	74	75	72	73	72	74

## Resultados y discusión

Para la elaboración de las probetas se debe tener en cuenta la energía de compactación, la cual debe ser la necesaria para lograr la máxima compactación evitando la segregación de la pasta o mortero. Para este trabajo, al igual que en la mezcla patrón, se empleó una compactación manual mediante el equipo Proctor Normal (T99) utilizado para realizar el ensayo de compactación de suelos.



Figura 3 - Ensayo a compresión.



Figura 4 - Ensayo a flexión.

Se establecieron como edades de ensayo para la resistencia a la compresión y módulo de rotura a flexión, las de 28, 54 y 120 días para los tres primeros pastones. En la Figura 5 se presentan los valores promedio de resistencia a compresión para los tres primeros pastones a cada edad. En lo que respecta a los resultados de resistencia a flexión, se obtuvieron a los 120 días y los valores promedio son 1,40MPa para el primer pastón, 2,35 MPa para el segundo y 2,03 MPa para el tercero.

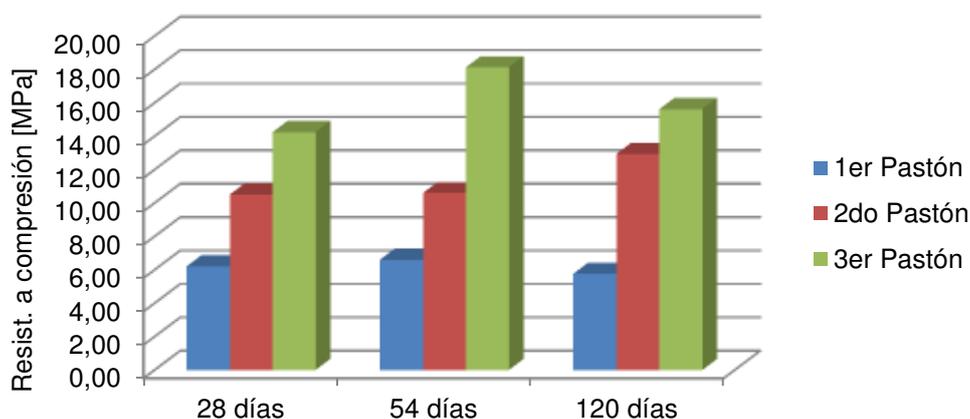


Figura 5 – Valores promedio de resistencia a compresión en MPa.

Para los pastones N° 4, 5 y 6 se consideró evaluar la porosidad obtenida y correlacionarla con la resistencia a compresión. Debido a que se trabajaron con volúmenes de 50 ts y se elaboraron las losas para determinar las propiedades hidráulicas, no se avaluó su resistencia a flexión. Los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión, determinados a los 100 días de edad son presentados en la Figura 6, y en la Figura 7 se correlacionan con los valores de porosidad para estos tres pastones. La determinación de la cantidad de vacíos se realizó por desplazamiento de volumen en balanza hidrostática.

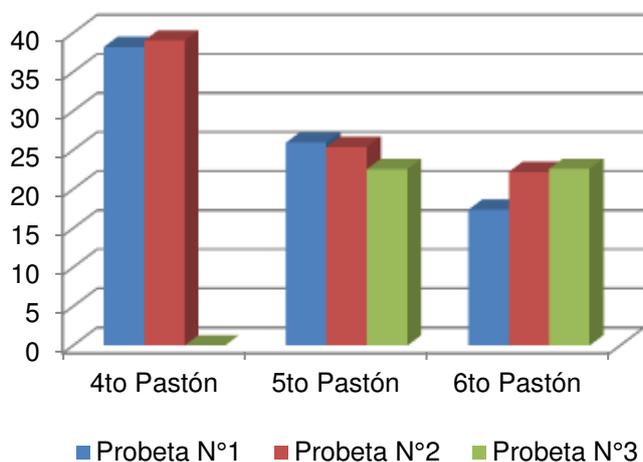


Figura 6 – Valores promedio de resistencia a compresión en MPa a la edad de 100 días.

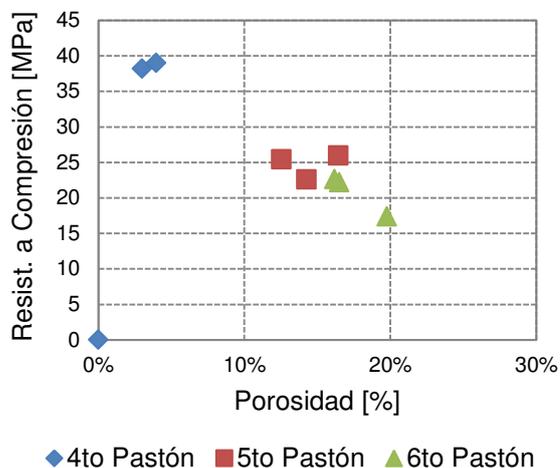


Figura 7 – Relación porosidad - resistencia a compresión.

Conforme a los resultados de ensayo que se vuelcan para los tres primeros pastones, se observa un aumento en los niveles de resistencia a compresión y de flexión en aquellas mezclas en las que se empleó el basalto 1-2 como agregado grueso. De acuerdo a lo observado también se verifica un elevado porcentaje de agregado fracturado, relacionándose este fenómeno con la forma lajosa del agregado utilizado. Esta forma angular y rugosa, así como su granulometría permiten que la trabazón sea uno de los factores preponderantes de las propiedades en estado endurecido.

Para el cuarto, quinto y sexto pastón, también se observa un menor porcentaje de falla en la interface agregado puente de unión, principalmente en el cuarto pastón, en el cual se empleó el aditivo superplastificante. Esto se justificaría por el hecho de que el aditivo aumenta la fluidez de la pasta de cemento, permitiendo que los agregados sean cubiertos de un modo más efectivo, se generen más y mejores puntos de contacto y como consecuencia aumente la resistencia estructural del hormigón.

En los resultados presentados en la Figura 7 se puede observar que la mayor resistencia y la menor porosidad corresponden al pastón 4, mientras que la menor resistencia y mayor porosidad al pastón 6, ubicándose los valores del pastón 5 en resultados intermedios.

La baja porosidad del pastón 4 se debió a que para su elaboración se empleó el canto rodado como agregado grueso, el cual posee una granulometría más completa, sumado esto al empleo del aditivo plastificante, originó un mayor contenido de pasta en la mezcla, con una porosidad media de 3,5% y una resistencia promedio de 38,6 MPa. El pastón 5, elaborado con piedra basáltica tiene una resistencia promedio de 24,7 MPa y una porosidad media de 14,4%. En el pastón 6 se obtuvo un porcentaje de vacíos de 17,5% y resistencia promedio de 20,7 MPa también elaborado con basalto triturado.

En lo que respecta a la evaluación del desempeño hidrológico, se emplearon las probetas prismáticas elaboradas (losas de 49x49x10cm). Los resultados de los ensayos realizados se

presentan en Sasso et al. [9], el cual forma parte del PID tutorado y es desarrollado por otros investigadores pertenecientes al grupo.

## Conclusiones

Los resultados preliminares permitieron caracterizar el comportamiento estructural de distintas mezclas, determinando las relaciones entre el porcentaje de vacíos en el hormigón endurecido y la resistencia a la compresión, flexión y densidad de la mezcla.

Si bien en este trabajo no se logró desarrollar una metodología de dosificación de mezclas de hormigones porosos, se realizó una primera aproximación a dicho objetivo, logrando identificar algunos factores determinantes de las propiedades de estos hormigones especiales.

Este tipo de hormigones está constituido por el esqueleto granular grueso en el que cada árido está apenas rodeado por la pasta de cemento, razón por la cual la forma de los meniscos de pasta entre áridos, y la trabazón o transmisión de los esfuerzos por contacto de los áridos son fundamentales en la resistencia de las mezclas. Por lo cual, se logró corroborar los resultados postulados por investigadores como Fernández Luco et al. [7].

Aunque las proporciones de vacíos representativas son obtenidos con un único árido, podrán ser utilizadas como punto de partida para dosificaciones en función de los requerimientos de resistencia, permitiendo obtener mezclas que cumpliendo su función permeable tengan la capacidad resistente necesaria, siendo ajustados para su uso en las zonas de la Mesopotamia.

Es propósito de los autores continuar con los ajustes de dosificación y elaboración para desarrollar un método de dosificación considerando el elevado porcentaje de vacíos. En busca de diseñar pavimentos porosos y simular su comportamiento a escala real.

## Referencias

- [1] Castro, Javier; De Solminihac, Hernán; Videla, Carlos; Fernández Bonifacio. "Estudio de dosificaciones en laboratorio para pavimentos porosos de hormigón". Revista Ingeniería de Construcción Vol. 24 N°3, Diciembre de 2009.
- [2] Weber, J.F., Positieri, M.J., Gonzalez, N. & Rautenberg, D.P., 2015. "Metodología para la Determinación en Laboratorio de la capacidad de Infiltración y almacenamiento de hormigones Porosos". La Plata, Argentina: IV Simposio sobre métodos experimentales en Hidráulica.
- [3] Positieri, M.J.; Weber, J.F.; Gonzalez, N.; Rautenberg, D.P.; Monetti, M.; Baronetto, C.E., 2015. "Análisis experimental y caracterización de pavimentos porosos y su respuesta hidrológica"- Proyecto de Investigación UTN sin incorporación al Programa de Incentivos ECUTNCO1596. Córdoba, Argentina: Universidad Tecnológica Nacional.
- [4] Aguado de Cea, Antonio; Dolz Ripollés, José; Roselli Selvas, Jordi-Joan. "Un material permeable y resistente. Aproximación al Hormigón poroso." Publicaciones de la Universidad Politécnica de Cataluña.
- [5] Holtz, F. "Uso de concreto permeável na drenagem urbana: analise da viabilidade técnica e do impacto ambiental", (2011). Dissertacao de Mestre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- [6] Castro, J. "Diseño de mezcla y construcción de pavimentos de hormigón poroso en Chile, Tesis de Magister", (2004). Pontificia Universidad Católica de Chile.
- [7] Fernández Luco, Luis; Vítola, Leonardo; Salaminci, Pablo N. "Estado del Arte en el Uso de Hormigones Porosos", (1998). XII Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito, Buenos Aires, Argentina.
- [8] Hernández, Claudio; Collura, Ariel; Mansilla, Gabriel. "Hormigón Poroso" (2008) Buenos Aires, Argentina. Publicaciones del Centro Técnico Loma Negra.
- [9] Sasso, G.M., Larenze, G., Garat, M.E., Gonfiotti S.R. & Cayecul, V., 2018. "Análisis de la infiltración en hormigones porosos con áridos de la provincia de Entre Ríos - Desempeño hidrológico". VIII Jornadas de Ciencia y Tecnología, CyTAL 2018 Villa María, Córdoba, Argentina: Universidad Tecnológica Nacional (En evaluación).

# MONITOREO DE MATERIAL PARTICULADO Y DESARROLLO DE INSTRUMENTAL, CASO DE ESTUDIO CIUDAD DE CONCORDIA, ENTRE RÍOS

Autores: Chury, Mario R. H.; Wendler, Dario M. Tutor: Sota, Jorge D.

Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Concordia – Grupo GIICMA.  
Salta 277 – Concordia, Entre Ríos. mrhchury@frcon.utn.edu.ar; jdsota@gmail.com;  
dariomartinw@gmail.com

## Resumen

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la alta carga de morbilidad derivada de accidentes cerebrovasculares, cánceres de pulmón y neumopatías crónicas y agudas, entre ellas el asma, producto de la contaminación del aire, representa un importante riesgo medioambiental para la salud en todo el mundo. Para su control se han establecido parámetros de concentraciones máximas de material particulado en el aire, ozono, dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre. La monitorización continua del material particulado (PM) es una herramienta útil que permite identificar a los generadores de dicha contaminación permitiendo realizar acciones correctivas para reducir su valor. Este trabajo se llevó a cabo en la ciudad de Concordia, provincia de Entre Ríos, donde se ubicaron equipos registradores de material particulado, diseñados en nuestro laboratorio e instalados en lugares con distintas posibilidades de contaminación a fin de conocer los valores y distribución de los contaminantes presentes. Los resultados obtenidos indican que, si bien el tipo de zona controlada incide en los contenidos, estos pueden ser ajustados con variables fáciles de implementar en poco tiempo y a costos razonables.

En cuanto a los límites internacionales tomados como referencia, la OMS establece que los valores límites de concentración para mediciones anuales y diarias son  $20\mu/m^3$  y  $50\mu/m^3$  respectivamente [1].

Palabras clave: Contaminación del aire. Material particulado. Monitorización continua.

## Introducción

La problemática ambiental en el mundo, en cuanto a contaminación atmosférica refiere, se ha extendido en este último tiempo, preocupando a investigadores de diversas ramas relacionadas en la búsqueda de soluciones.

La OMS considera riesgosas las altas concentraciones de PM<sub>10</sub>, que son partículas de tamaño menor a los diez micrómetros ( $10\mu m$ ). Estas partículas pueden provenir de distintas fuentes, como por ejemplo la combustión automotriz, algunas industrias y el levantamiento de polvo en calles no pavimentadas debido al pasaje de vehículos.

Una de las formas de determinar estas concentraciones es mediante la medición de la calidad del aire con equipos que registran la cantidad de partículas de este tamaño por unidad de volumen. La medición de concentración de PM<sub>10</sub> proveniente de un único sitio de monitoreo, no puede ser precisamente representativa de la concentración de las partículas distribuidas en sus alrededores. Para obtener concentraciones precisas con una resolución de calidad aceptable, es necesaria una alta densidad de sitios de medición, y el costo asociado con instrumentos convencionales es impráctico. A causa que este condicionamiento y que los costos de adquisición de estos sistemas son onerosos para los presupuestos disponibles en el ámbito de la universidad o del grupo de investigación, el diseño y desarrollo del mismo resulta una alternativa más atractiva y alcanzable para los fines de este trabajo, por lo que se siguió dicho camino. Además, se pretende generar un conocimiento propio en el desarrollo de equipos para esta línea de investigación.

En base a ello, se han realizado mediciones en distintos puntos de la Ciudad de Concordia, en la Ciudad de Los Charrúas y en zonas rurales ubicadas a ciertas distancias de esta última, con el fin de comparar la variación de concentraciones. Ambas localidades pertenecen a la Provincia de Entre Ríos, Argentina.

En definitiva, el propósito del presente trabajo es mostrar las mediciones de calidad del aire que

se realizaron en diferentes puntos, con el fin de estudiar si estos puntos son o no adecuados para el desarrollo de la vida humana.

## Metodología

### *Desarrollo del equipo*

El equipo desarrollado, consiste en un sensor de la firma SHARP modelo GP2Y1010AU0F [2] (Figura 1) que trabaja por el principio de reflexión de la luz, el cual es también utilizado en muchos equipos sofisticados. Para realizar la lectura es necesario la utilización de un microcontrolador que en este caso es una plataforma Arduino Uno. Las lecturas realizadas se envían cada 5 minutos vía USB a un terminal propio de esta plataforma, que luego pueden descargarse a un archivo Excel. En la (Figura 2) se puede observar el prototipo desarrollado.



Figura 1: Sensor



Figura 2: Prototipo desarrollado

### *Mediciones en la Ciudad de Concordia.*

Se miden dos puntos distanciados aproximadamente unos 200 m en línea recta, emplazados dentro de la planta urbana de la ciudad. Los dos puntos de medición cuentan con el mismo grado de urbanización, pudiéndose tomar igual la rugosidad del terreno para ambos, siendo la misma de magnitud media. A continuación, se muestra una imagen satelital del sitio (Figura 3).



Figura 3: Imagen satelital del sitio de medición. Se observan los puntos de medición.

### Intervalos de medición para Concordia:

Los intervalos de mediciones para los puntos fueron los siguientes:

- Punto 1 : 24 horas
- Punto 2 : 24 horas

Como la cantidad de horas de medición son iguales, la cantidad de registros también lo será. Luego, se compararan los promedios, para estos tiempos de medición, entre ambos puntos.

### *Mediciones en la Ciudad de Los Charrúas y zonas rurales próximas.*

Estas mediciones se realizaron en un punto dentro de la planta urbana del pueblo y en dos regiones ubicadas a unos cinco (5) y diez (10) kilómetros de la misma, las cuales no cuentan con ningún grado de urbanización. Esto lo muestra la (Figura 4).



Figura 4: Imagen satelital del sitio donde se encuentran localizados los puntos de medición

### Intervalos de medición para Los Charrúas:

Los intervalos de mediciones para los puntos fueron los siguientes:

- Punto 1 : 24 horas
- Punto 2 : 1 hora
- Punto 3: 24 horas

Dado que no se tiene coincidencia en los intervalos de medición, para poder presentar datos comparables, es que se opta por cotejar los promedios horarios de cada una de las mediciones a la hora que se ha realizado la medición en el punto 2 en Los Charrúas, denominada *hora de referencia*. Esta hora fue desde 11:35 AM a 12:35 PM. Se calculará su promedio aritmético y se hará lo mismo en los restantes puntos de medición para ambas ciudades. Además, se presentaran los promedios para 24 hs para todos los puntos, y se compararan con el promedio de la hora de referencia.

### **Resultados**

Se resolvió presentar los resultados en forma separada por ciudad, para proporcionar una visión clara de la situación en cada una. Luego, se comparan los resultados entre ellas.

Se muestran los promedios para 24 hs y para la hora de referencia definida con anterioridad.

Los resultados fueron los siguientes:

*Ciudad de Concordia:*

- Punto 1: Promedio para la hora de referencia: 55,38  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .  
Promedio para 24 hs: 50,83  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .
- Punto 2: Promedio para la hora de referencia: 82,31  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .  
Promedio para 24 hs: 86,57  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

*Ciudad de Los Charrúas:*

- Punto 1: Promedio para la hora de referencia: 60,00  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .  
Promedio para 24 hs: 58,90  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .
- Punto 2: Promedio para la hora de referencia: 46,15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .
- Punto 3: Promedio para la hora de referencia: no se registraron valores por encima del límite de detección.  
Promedio para 24 hs: no se registraron valores por encima del límite de detección.

Los datos promedios de las variables meteorológicas influyentes en la estabilidad atmosférica, medidas según las posibilidades, se muestran en la (Tabla 1) para ambas localidades.

Tabla 1: Valores promedio de las variables meteorológicas influyentes

CIUDAD	PUNTO	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD (%)	VELOCIDAD DEL VIENTO (Km/h)	DIRECCION DEL VIENTO PREDOMINANTE
CONCORDIA	1	19,56	84,08	4,83	SW
	2	13,18	64,33	11,12	WNW
LOS CHARRUAS	1	25,36	59,70	10,83	N
	2	22,72	49,50	7,77	NE
	3	22,90	71,86	7,45	NNE

La forma de mostrar la variación de la concentración es mediante gráficos, lo que se hace desde la (Figura 5) a la (Figura 8).

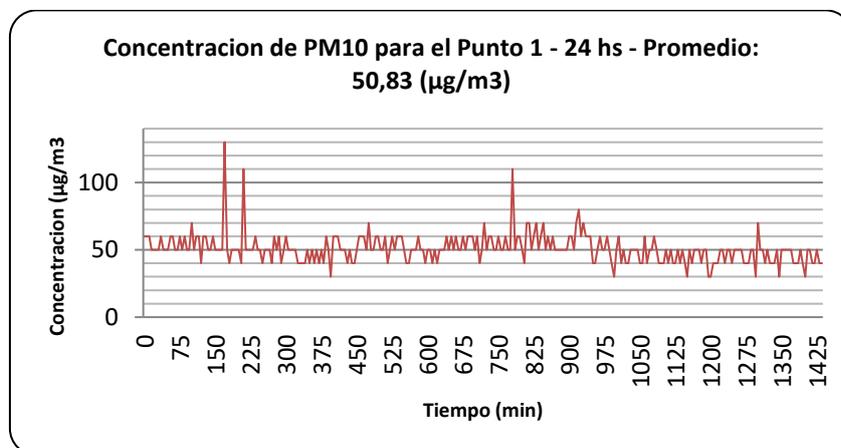


Figura 5: Medici3n en Punto 1 – Concordia

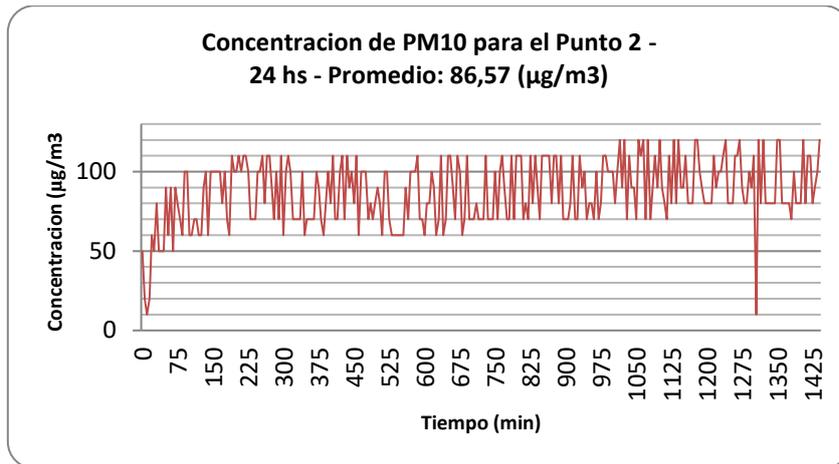


Figura 6: Medición en Punto 2 – Concordia

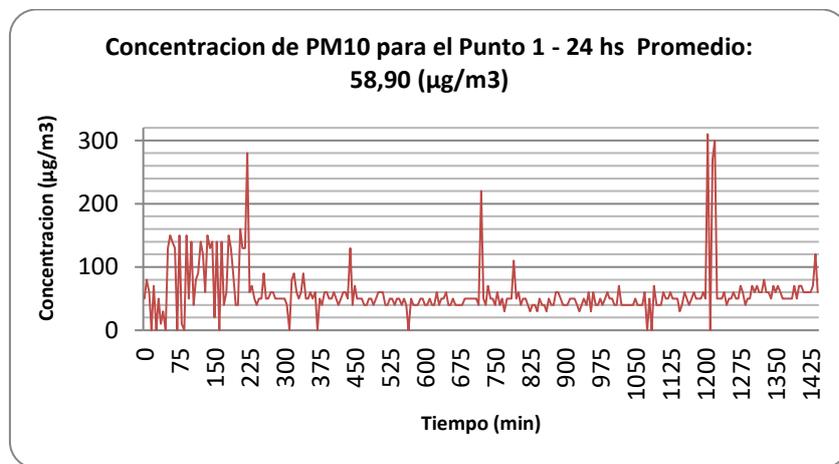


Figura 7: Medición en Punto 1 – Los Charrúas

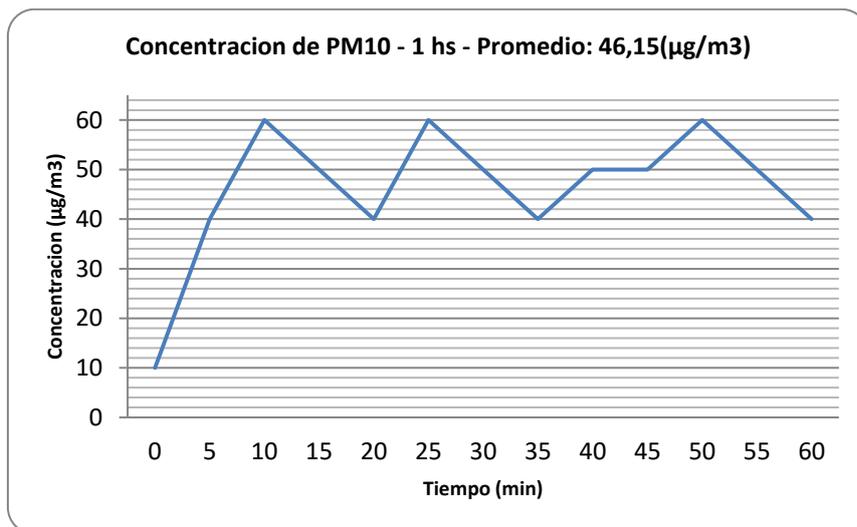


Figura 8: Medición en Punto 3 – Zona rural

Se vuelcan los resultados en la (Tabla 2):

Tabla 2: Resumen de las mediciones realizadas

Ciudad	Punto	Concentraciones promedio ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	
		Hora de referencia	24 hs
Concordia	1	55,38	50,83
	2	82,31	86,57
Los Charrúas	1	60,00	58,90
	2	46,15	-
	3	0,00	0,00
<b>Límites de la OMS</b>		-	50

### Consideraciones finales

- Las concentraciones promedio presentan grandes diferencias entre sí. El punto 2 es en el que se observan los mayores valores, los cuales se pueden adjudicar a su mayor caudal de tránsito y a la mayor velocidad de viento promedio respecto al punto 1. Esta última arrastra contaminantes provenientes de otras fuentes de emisión que se encuentren en correspondencia con su dirección promedio. Otro factor importante es el menor porcentaje de humedad que se presentó en el día de medición del punto 2, lo que no permite la aglomeración de las partículas en tamaños mayores a los 10  $\mu\text{m}$ , por lo cual se registra un mayor número de PM10.
- Como puede observarse, para la ciudad de Los Charrúas, la concentración promedio para la hora de referencia, decae a medida que la medición se hace distante del Punto 1, que es el que mayor proporción de PM10 recibe por parte de las actividades económicas generadoras.
- En base a lo anterior, se puede inferir que la concentración promedio para 24 hs, tendrá el mismo comportamiento.
- Los valores de referencia dados por la OMS indican que ninguno de los valores medidos en los puntos, para el lapso de 24 hs, cumple con ellos.
- El equipo de medición desarrollado ha mostrado un funcionamiento óptimo.
- En base a lo anterior, se establecerá un plan de acción de mediciones en distintos puntos de la Ciudad de Concordia, realizándolas en días de meteorologías distintas, para obtener así una correlación entre las variables meteorológicas y las variables referidas a las fuentes de emisión, y el comportamiento de la variación de la concentración. Esto permitirá, luego de un tratamiento estadístico, obtener curvas que aproximen el nivel de concentración en base a las variables de entradas mencionadas.

### REFERENCIAS

- [1] OMS. Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Recuperado de [http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/69478/1/WHO\\_SDE\\_PHE\\_OEH\\_06.02\\_spa.pdf](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/69478/1/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf)
- [2] SHARP. Application note of sharp dust sensor GP2Y1010AU0F. Recuperado de [http://www.sharp-world.com/products/device-china/lineup/data/pdf/datasheet/gp2y1010au\\_appl\\_e.pdf](http://www.sharp-world.com/products/device-china/lineup/data/pdf/datasheet/gp2y1010au_appl_e.pdf)

## **SOBRE EL COMPORTAMIENTO DE LAS ARCILLAS ACTIVAS DE ENTRE RÍOS CON CANTIDADES VARIABLES DE ARENAS**

Autores: María S. Bassini - Jorge S Fink – Mauro Linare- Juan C. Racedo Caceres. Tutor: Ing. Oscar Rico.

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Concordia – Salta 277, Concordia, Entre Ríos, Argentina. ricooscar@concordia.com.ar

### **Resumen**

La provincia de Entre Ríos cuenta con suelos muy activos con elevado contenido de finos, superiores al 95% de pasante por el tamiz N° 200. Es ampliamente conocido el comportamiento que presentan los mismos ante variaciones en el contenido de humedad, numerosas investigaciones han aportado conocimientos sobre las características de estos materiales.

En nuestra región se encuentran además, estratos que naturalmente presentan una fuerte matriz arcillosa con una importante fracción de partículas de mayor tamaño, compuestas en general por arena fina, en cantidades que llegan hasta un 60% de retenido por la malla de 0,074 mm. El comportamiento ante variaciones de humedad en estos suelos de alta plasticidad genera incertidumbre respecto a la estabilidad de su volumen y sumado a esto, existe escasa información sobre su potencial de expansión-retracción.

Este trabajo se ha desarrollado con arcillas altamente activas y finos superiores al 95%, a las cuales se incorporaron cantidades variables de arena, pretendiendo repetir las condiciones naturales existentes para los suelos en cuestión, sobre ellos se analizó la expansión libre y la presión de expansión.

Se buscó contribuir al conocimiento sobre el comportamiento de estos suelos involucrados particularmente en fundaciones de estructuras livianas u obras viales.

### **Introducción**

Son bien conocidos al momento de diseñar fundaciones, los inconvenientes que se generan en algunas regiones de la provincia de Entre Ríos, donde los sustratos superiores del terreno natural están gobernados por los denominados suelos potencialmente activos, comúnmente conocidos como “expansivos”.

Con la presente investigación se buscó identificar el potencial de actividad en suelos arcillosos entrerrianos que tienen todas las características de plasticidad de los potencialmente activos, pero presentan cantidades variables de arenas de hasta 60 %.

Se estudió el comportamiento de los suelos activos a medida que se les fue añadiendo arena y de esta manera, se examinó la proporción necesaria de material granular que debe contener el suelo para que los problemas de expansión-retracción no resulten significativos a las fundaciones superficiales.

Se vinculó la “dosificación” con las propiedades índice de estos suelos, para lograrlo se analizaron curvas de tendencias que permitieran relacionar valores de hinchamiento con cuantías crecientes de arena incorporada, en situaciones controladas de laboratorio.

### **Metodología de trabajo**

Se procedió a la toma de muestra del suelo “base”, procedente de la ciudad de Feliciano, provincia de Entre Ríos. El mismo se muestreó manualmente a profundidades entre 0,50m y 1,00m; descartando el primer horizonte de material orgánico y obteniendo la fracción de interés a estudiar (basamento de viviendas y obras viales).

A la muestra obtenida se le determinaron las propiedades índice: plasticidad y porcentaje de material pasante por el tamiz N° 200, valores que sirvieron para proceder a su clasificación según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), ver la Tabla N° 1.

Tabla N° 1: Caracterización del material.

Nombre de ensayo	Valor obtenido	Norma utilizada
Límite líquido	79 %	IRAM 10.501
Límite plástico	22 %	IRAM 10.502
Índice de plasticidad	57	IRAM 10.502
Pasante tamiz N°200	98,4%	IRAM 10.507
Clasificación SUCS	CH	IRAM 10.509
Análisis hidrométrico	46% arcilla	IRAM 10.512

También se realizó a la muestra el análisis hidrométrico, con el fin de conocer la cantidad de la fracción arcilla que compone la muestra, obteniéndose la curva granulométrica de la Figura N° 1.

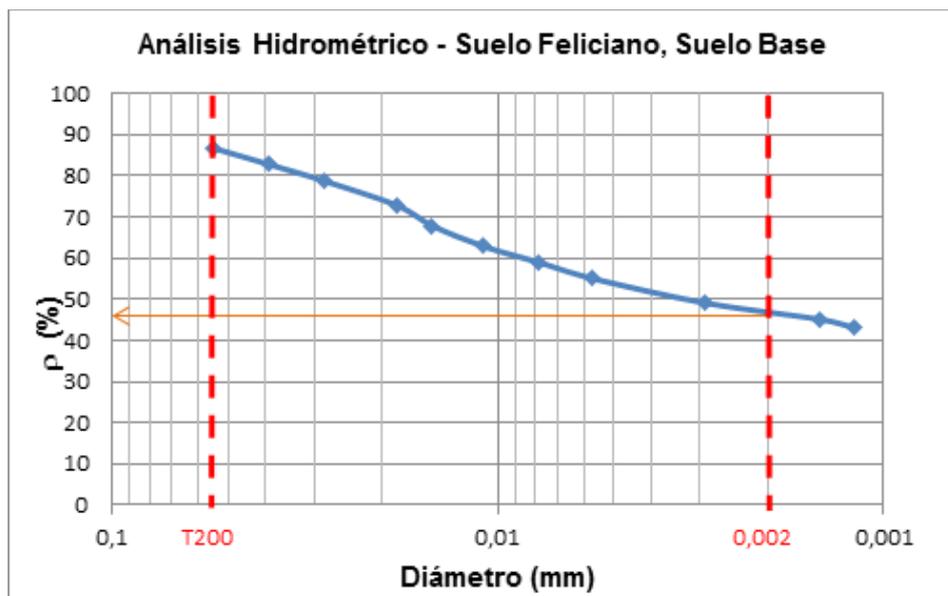


Figura N° 1 – Análisis hidrométrico muestra de “Feliciano”

A la fracción de arena utilizada para incorporar al suelo base se obtuvo del arroyo “Yuquerí”. A la misma se le realizó el ensayo de granulometría, según norma IRAM IRAM 10.507, obteniendo la curva representada en la figura N°2. Antes de ser incorporada al material base se la fraccionó por lo retenido en el tamiz N° 200 (0,075 mm) y el pasante por el tamiz N° 40 (0,425 mm).

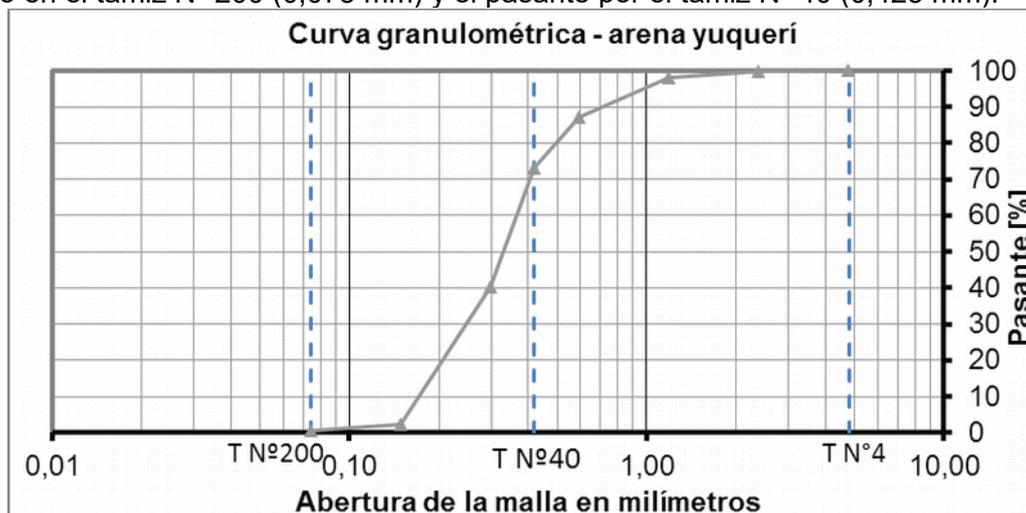


Figura N°2: Granulometría de la arena “Yuquerí”

Para la obtención del suelo “mezcla” se sumergió el material base, dejándolo macerar durante una semana, luego se agregó la arena mezclando mecánicamente y se secó en estufa a 60°C. Una vez seca y verificada la no segregación de los granos de arena, se tamizó por malla N° 40. Las mezclas fueron elaboradas con los siguientes porcentajes de arena - éstos referidos al peso total de la muestra de suelo seco-: 5%; 10%; 20%; 30%, 40%, 50% y 60%. Obtenida cada mezcla, se procedió a la determinación de los valores índice: límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad. En la figura N° 3 se puede observar la variación de plasticidad de los distintos suelos-mezclas.

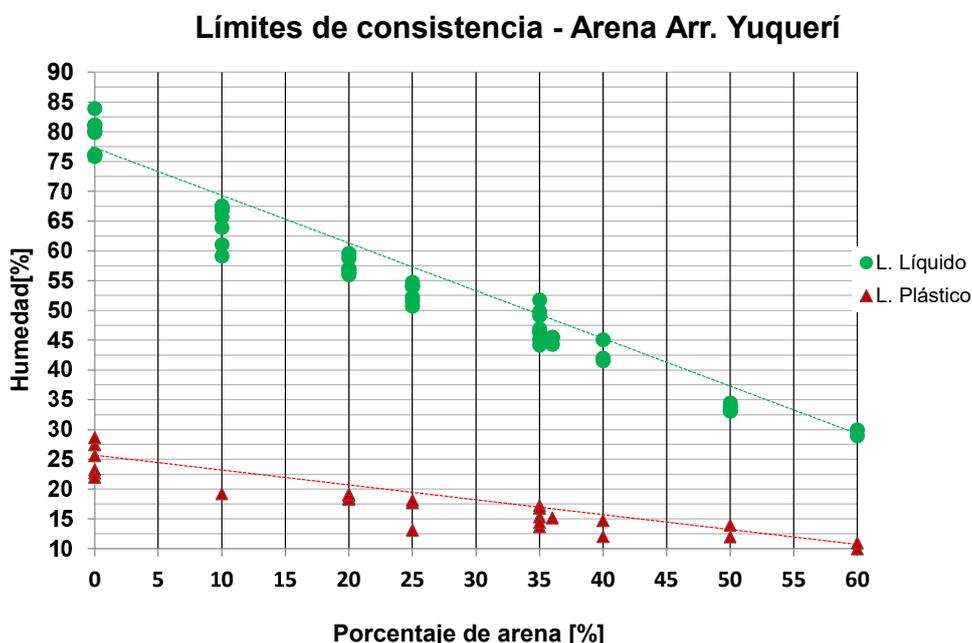


Figura N° 3: Variación de los límites de consistencia con el porcentaje de arena “Arroyo Yuquerí”. Se realizó el ensayo de compactación para cada una de las muestras, obteniéndose la densidad máxima y humedad óptima, según norma de Vialidad Nacional VN- E5 – 93(I). La tabla N° 2 refleja los valores obtenidos y en la Figura N° 4 las curvas Proctor obtenidas.

Tabla N° 2: Variación de la densidad seca y la humedad óptima con el porcentaje de arena.

Arena [%]	Dens. Seca Máx [t/m <sup>3</sup> ]	Hum. Óptima [%]	L. Plástico [%]
0	1,43	29,1	24,2
10	1,48	26,7	19,2
20	1,50	26,5	18,7
25	1,52	25,0	17,9
30	1,65	20,3	16,4
35	1,60	22,6	15,5
40	1,67	20,0	13,1
50	1,72	17,7	12,3
60	1,79	16,8	11,7

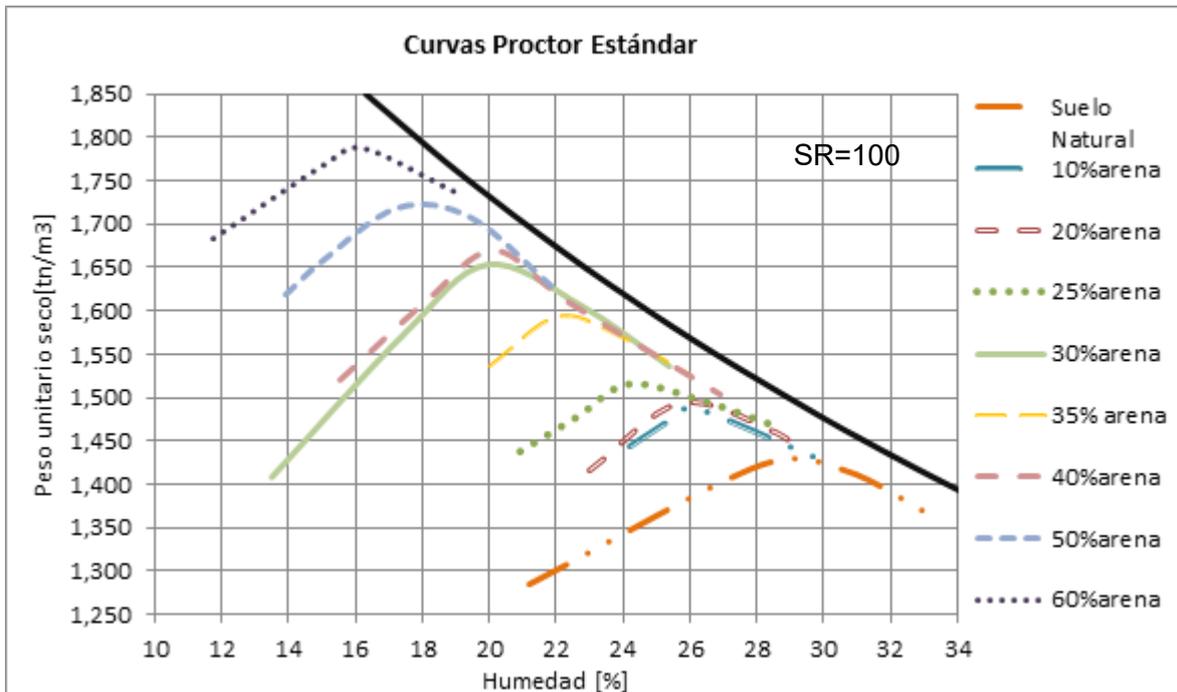


Figura N°4: Curvas Proctor de los diferentes suelos mezcla.

Posteriormente, se realizaron ensayos de Expansión Libre y Expansión Bajo Presión Controlada en equipo consolidómetro. Para ello, se prepararon series de probetas con humedad 2% por encima del LP, compactadas estáticamente (con pistón hidráulico) hasta alcanzar el 95% de la densidad máxima obtenida según el ensayo Proctor T99. Éstas fueron compactadas en molde cilíndrico de 100 mm de altura y 70 mm de diámetro, posteriormente se cortaron y tallaron manualmente hasta alcanzar una altura de 25 mm y 63 mm de diámetro (dimensiones del aro edométrico).

En la figura N° 5 se puede observar la máxima expansión experimentada por cada muestra con cantidades variables de arena y a diferentes presiones.

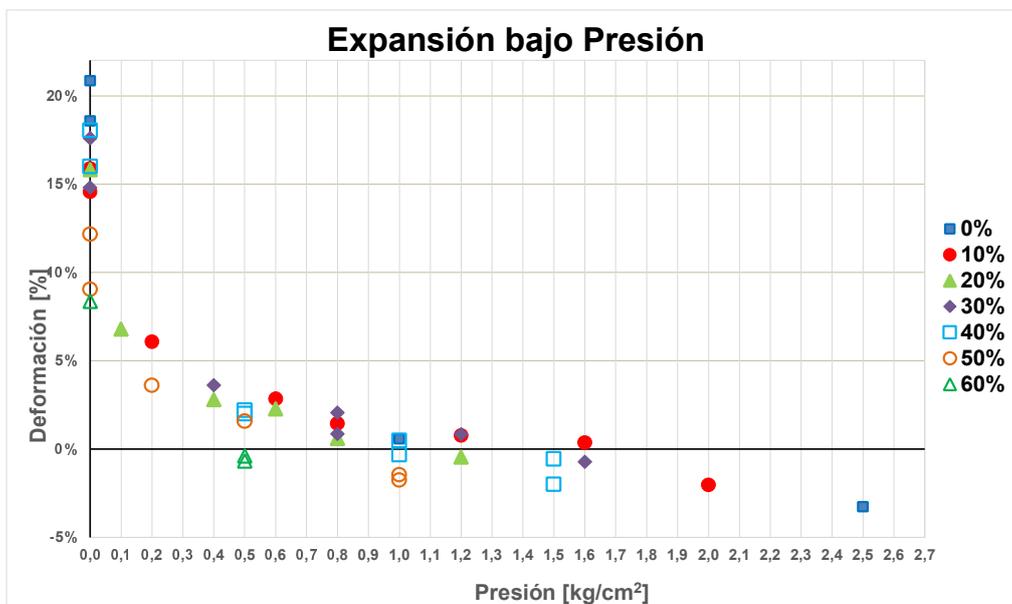


Figura N°5: Expansión bajo presión

Adicionalmente a los ensayos de expansión se realizaron ensayos de “Retracción libre o contracción volumétrica de Briaud”. Dicho ensayo tiene como finalidad la obtención del coeficiente

de retracción del suelo para poder verificar el comportamiento de este frente a la variación de humedad, consecuencia del ambiente al que está expuesto.

La humedad inicial utilizada como base fue de aproximadamente 10% por encima del LP, se compactó estáticamente (con pistón hidráulico) en molde cilíndrico de 150 mm de altura y 70 mm de diámetro, hasta alcanzar el 95% del Próctor T99. Al igual que en el ensayo anterior, se confeccionaron probetas de a pares.

En la figura N° 6 se puede observar la variación del volumen de la probeta con respecto a la variación de la humedad para diferentes contenidos de arena.

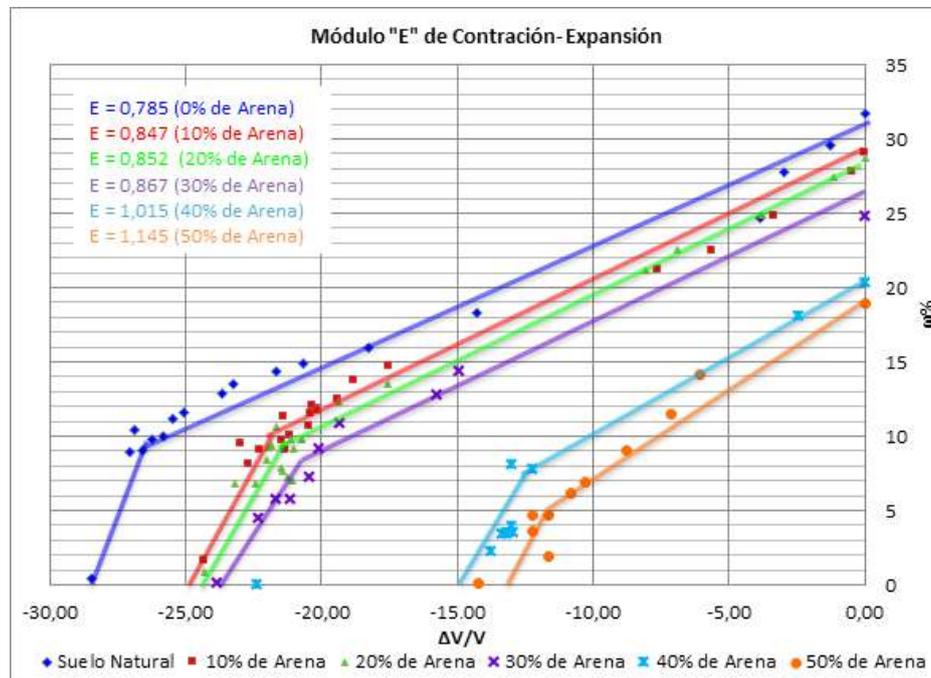


Figura N°6: Ensayo de Briaud, Módulo "E"

## Conclusiones

- 1) El incremento del contenido de arena reduce todos los parámetros de consistencia. Los menores valores de límite líquido e índice plástico se obtienen con el aumento de las proporciones de arena en las mezclas de suelo, lo que se explica por la disminución en el contenido porcentual de finos que contribuyen a la plasticidad de dicho suelo.
- 2) Adicionalmente, los resultados obtenidos muestran una reducción del Índice de Actividad de los suelos con el incremento de la fracción arenosa.
- 3) Con el aumento del contenido de arena del suelo, la densidad máxima lograda se incrementa y disminuye la humedad óptima de compactación. Los resultados obtenidos muestran la mejora en la estabilidad del suelo expansivo con el aumento de su fracción granular, aunque la eficacia de este efecto de "estabilización" en la mezcla recién se hace considerable para porcentajes elevados de arena.
- 4) La Expansión Libre y la Presión de Expansión del suelo mezcla disminuyen con el incremento del porcentaje de arena agregada. Aunque, recién para contenidos elevados de arena en el suelo, del orden del 40% o superiores, se logran neutralizar-reducir los efectos expansivos a valores inocuos para las cimentaciones superficiales.
- 5) En cuanto a los parámetros definidos por Briaud – el Módulo de Contracción-Expansión "E" muestra un sensible aumento con el incremento de la fracción arena en el suelo.

## **Bibliografía**

- Barbagelata, "Avances en la predicción de presiones de expansión en arcillas activas de la provincia de Entre Ríos", 8vo Congreso Argentino– Neuquén, 1985.
- Briaud J. L.; Zhang Xiong; Moon S., "The Shrink Test–Water Content Method for Shrink and Swell Predictions", Journal of Geotechnical and Geo-environmental Engineering, Vol. 129, No.6, ASCE 2003.
- Codevilla Mauro, "Arcillas Expansivas Del Gran Buenos Aires" - Facultad de Ingeniería. Universidad de Buenos Aires, 2008.
- Fabri, Anselmo - Ing. Perini. "Suelos expansivos de la provincia de Santa Fe" - 7mo Congreso Argentino – Rosario, 1983.
- Iriondo; Barbagelata, "Mapa geotécnico de la provincia de Entre Ríos con énfasis en los suelos expansivos", 8vo Congreso Argentino– Neuquén, 1985.
- Micucci Carlos A. et al, "Arcillas Activas en Entre Ríos - Diagnóstico y Remediación". G.I.A.A., U. T. N. Facultad Regional Concordia, 2004/05.
- Micucci Carlos A. et al, "Contribución al Conocimiento de las Arcilla Activas". G.I.A.A., U. T. N. Facultad Regional Concordia, 2006.
- Skempton, A.W., The colloidal "Activity" of clays. Proceedings of the 3rd International Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering 57-60, 1953.

## **SOBRE EL COMPORTAMIENTO DE LOS SUELOS POTENCIALMENTE ACTIVOS ESTABILIZADOS PARA SU USO EN LA INGENIERÍA VIAL**

AUTORES: Ing. Oscar Rico, Ing. Ma. Emilia Medina, María de los Ángeles Castañeda, Ing. Alexis Colicelli.

TUTOR: Ing. Alejandro García.

Email: ricooscardaniel@gmail.com, memiliamedina@gmail.com, memiliamedina@gmail.com, acolicelli@gmail.com

*GIICMA, Laboratorio de Geotecnia, Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Concordia, Salta 277, Concordia, Entre Ríos, Argentina.*

### **Resumen**

Los movimientos generados por los fenómenos de expansión retracción del suelo y los estados tensionales agresivos para las estructuras viales, en general se intentan controlar con la incorporación de sustancias que puedan combinarse químicamente con el terreno existente y eliminar la actividad del material arcilloso. Con éste trabajo se propuso ampliar el grado de conocimiento en el tema de los suelos de la región noreste de la provincia de Entre Ríos. Se planteó la necesidad de ponderar cualitativa y cuantitativamente los aditivos a incorporar vinculando esa “dosificación” con las propiedades índice de estos suelos.

Con muestras de suelo de dos localidades, ejecutando ensayos de laboratorio en situaciones controladas, se obtuvieron curvas de tendencia que permitieron relacionar porcentajes de “hinchamiento” y “valor soporte relativo”, con cantidades crecientes de adiciones para distintas condiciones iniciales de densificación.

Palabras claves: Arcillas activas, Estabilización química.

### **Introducción a la problemática regional**

Son bien conocidos los inconvenientes que se generan, en algunas regiones de la Provincia de Entre Ríos, al momento de diseñar pavimentos urbanos o rurales cuando los sustratos del terreno natural están gobernados por los denominados suelos potencialmente activos, comúnmente conocidos como expansivos.

Es frecuente observar en los pliegos licitatorios de obras públicas para la región indicar que la subrasante deberá ser tratada o mejorada con cal, cemento u otras adiciones, especificando un porcentaje fijo de aditivo; sin indicar la cantidad necesaria y suficiente para contrarrestar los fenómenos de expansión-retracción, si se pretende solo la mejora o también la estabilización de éstos suelos.

Además, es usual no observar información alguna sobre cómo deberá tratarse dicha situación. Tampoco se especifican claramente los ensayos necesarios para controlar la mejora en las propiedades físicas de los suelos y para verificar la efectividad del tratamiento efectuado.

A partir de ésta realidad regional, se planteó la necesidad de ponderar la cantidad necesaria de aditivos a incorporar e incluso vincular dicha “dosificación” con las propiedades índice de estos suelos.

### **Objetivos**

En el presente trabajo se pretenden establecer criterios básicos que permitan definir el tipo de agente estabilizante más plausible, las proporciones del mismo y el grado de densificación necesario en los paquetes estructurales, para la fundación de pavimentos desarrollados sobre las arcillas activas del noreste de la Provincia de Entre Ríos; para lograrlo se buscó hallar curvas de tendencia que permitan relacionar los valores de hinchamiento con cantidades crecientes de adiciones y con distintas condiciones iniciales de densificación, ejecutándose ensayos de laboratorio en situaciones controladas.

## Materiales

Se optó por comenzar el trabajo con suelo de localidades previamente analizadas <sup>[1]</sup> y donde, al momento de planificar la investigación, se encontraban ejecutando obras viales, lo que resultó facilitador de logística para obtención de muestras.

Se comenzó con el suelo de San José de Feliciano, región al norte de la provincia. Influyó en esta selección la proximidad a los tramos de la RN N° 127, la que presentaba serios inconvenientes relacionados con el objeto de esta investigación.

Posteriormente se extendió el área de estudio hacia el centro-norte de la provincia, incorporando muestras del ejido de San Salvador, al momento de extraerlas estaban dando inicio las obras de la Autovía RN N° 18.

## Caracterización

Es fundamental conocer el potencial de expansión que alcanzan estos suelos, por lo tanto se comenzó con la ejecución de ensayos de caracterización física.

Se efectuaron los siguientes ensayos de rutina para cada una de las muestras de suelos: Límites de Atterberg (VN E3 65, ASTM-D 4318-05); Tamizado por vía húmeda, lavado Tamiz N° 200 (VN E1 65); Hidrometrías (Norma ASTM-D422);

Con estos valores se logró cuantificar el potencial de expansión según los criterios y gráficos propuestos por Skempton (1953) <sup>[2]</sup>.

Tabla 1- Resumen de las propiedades físicas e índice de Skempton de las muestras.

Propiedad	San José de Feliciano	San Salvador	
		M1	M2
Límite Líquido	72%	47%	58%
Índice de Plasticidad	50	29	39,7
Pasante Tamiz N°200	97,80%	97	98,40%
Clasificación SUCS	CH	CL	CH
Clasificación HRB	A 7-6 (55)	A 7-6 (31)	A 7-6 (42)
% de Arcilla	53,50%	S/hidrometría	36%
Índice de Skempton	0,93	S/hidrometría	1,1

## Análisis mecánico de las muestras

Según la clasificación HRB (VN E4-84), estos suelos pertenecen al grupo denominado A7-6 (con I.G. comprendidos entre 40 y 60), se caracterizan por presentar muy bajo aporte estructural al momento de cuantificarlos desde el punto de vista vial.

Se llevaron adelante ensayos de compactación por el método dinámico propuesto por Proctor (VN N° E5-93) y ensayo de Valor Soporte Relativo (VSR), método dinámico simplificado, según la Norma (VN-E5-67).

La normativa indica para el Ensayo de VSR, indica que el suelo luego de compactado debe permanecer sumergido durante 4 días para medir el porcentaje de expansión. En nuestro caso el suelo natural compactado entre el 94% a 100% de la densidad máxima, se mantuvo sumergido hasta que el desarrollo de la expansión no indicara un incremento significativo. En esas condiciones extremas, de saturación e hinchamiento, se determinó el VSR; con sobrecarga de ensayo equivalente a la tapada del paquete vial característico (10 lbs.).

El plazo de sumergencia de las muestras, de acuerdo al grado de compactación y la procedencia que permitió el completo hinchamiento, fluctuó entre 20 días a un máximo de 60 días.

La normativa vigente para la preparación de la muestras, indica compactación dinámica con 12, 25 y 56 golpes por capa. Se optó disminuir la Energía, debido que la densificación alcanzada con 56 golpes, excede al 100% de la máxima del Proctor estándar. Se trabajó densificando con 8, 12 y 25 golpes por capa.

Aclaración: de la ciudad de San Salvador se utilizó inicialmente una muestra denominada M1, la que contenía betas de material blancuzco de origen calcáreo, probablemente ese material redujo significativamente la actividad del suelo. Debido a estas características de la muestra denominada San Salvador M1, que arrojó baja plasticidad y expansión (levemente superior al 2%), fue descartada y se procedió con una segunda muestra con propiedades más acorde a los fines de esta investigación.

En Tablas 2 y 3, se presentan los resultados obtenidos para cada ensayo:

Tabla 2- Resumen de las propiedades mecánicas – San José de Feliciano.

Próctor T-99		Valor Soporte Relativo				
Humedad	Densidad	Humedad de moldeo	Peso U. Seco gr/cm <sup>3</sup>	% Densidad Máx. T99	VSR	Energía
32,37	1,392					
35,49	1,322	28,00	1,403	96,43	1,32	8 golpes
29,97	1,437	25,00	1,416	97,32	3,15	12 golpes
22,20	1,348	27,91	1,457	100,14	5,89	25 golpes

Tabla 3- Resumen de las propiedades mecánicas – San Salvador M2.

Próctor T-99		Valor Soporte Relativo				
Humedad	Densidad	Humedad de moldeo	Peso U. Seco gr/cm <sup>3</sup>	% Densidad Máx. T99	VSR	Energía
21,94	1,457					
27,70	1,425	24,00	1,415	94,33	1,3	8 golpes
31,20	1,371	24,00	1,475	98,33	2,1	12 golpes
18,91	1,368	24,00	1,510	100,67	3,5	25 golpes

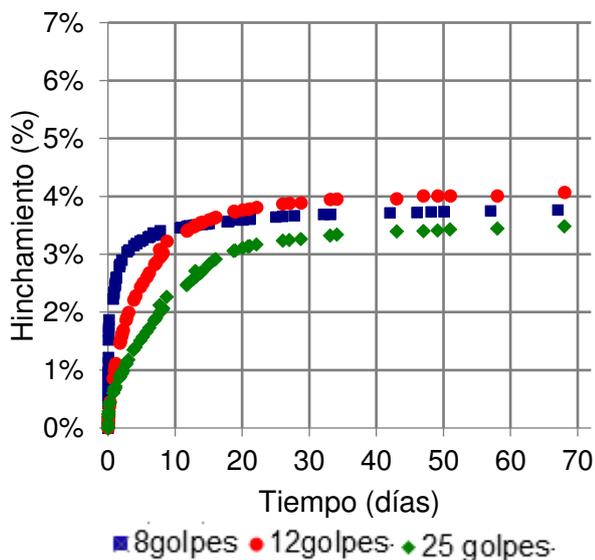


Fig. 1- Curva hinchamiento vs. Tiempo San José de Feliciano.

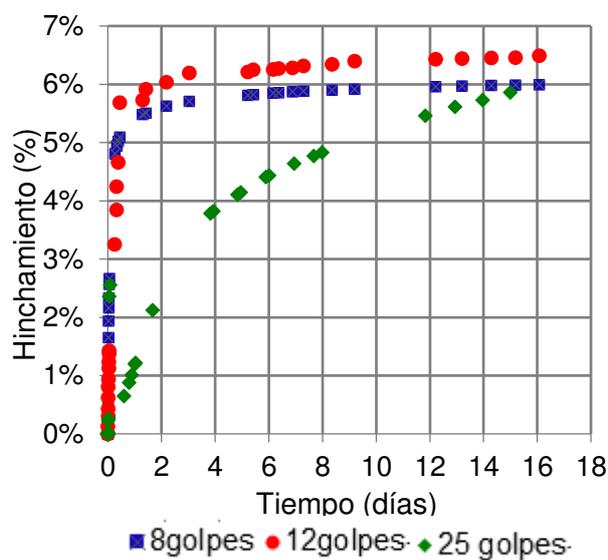


Fig. 2- Curva hinchamiento vs. Tiempo San Salvador – M2.

### Análisis de estabilización química

Cuantificada la problemática, es sabido que se puede mejorar el comportamiento expansivo y adicionalmente el VSR con la adición de sustancias o agentes químicos.

La técnica de estabilización química más difundida es la incorporación de cal. Desde el punto de vista de la mejora y estabilización de suelos, la calidad de la misma se caracteriza a través del denominado porcentaje de Cal Útil Vial (CUV).

También existen productos químicos que se comercializan en estado líquido y se adicionan al suelo conjuntamente con el agua de riego.

Como primer objetivo se propuso obtener el porcentaje óptimo de cal que permitiese disminuir significativamente las características expansivas del suelo, para lo cual se realizaron las pruebas con distintos porcentajes de cal.

La cal utilizada para los ensayos fue del tipo cal hidratada  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , en polvo de origen comercial (Normas IRAM 1626 y 1508) y con un contenido del 68% de CUV - valorada mediante el Ensayo de Cal Útil Vial según Método Potenciométrico propuesto por DNV (Sección K.IV del P.E.T.G. VN – Ed. 1998).

Cabe aclarar que a efectos poder comparar los resultados con los ensayos Proctor del mismo suelo sin adiciones, se aplicó el ensayo VN-E5-93 referente a Compactación de suelos (que especifica 25 golpes por capa); en lugar del ensayo VN-E19-66 correspondiente “Compactación de mezclas de suelo-cemento y suelo-cal”, que para el caso de suelo-cal especifica mayor energía de compactación (35 golpes por capa).

Por otro lado se realizaron los ensayos correspondientes utilizando un estabilizante químico comercial, del cual contábamos con antecedentes de pruebas y la dosificación necesaria suministrados por el fabricante.

En los siguientes gráficos se resumen los resultados obtenidos:

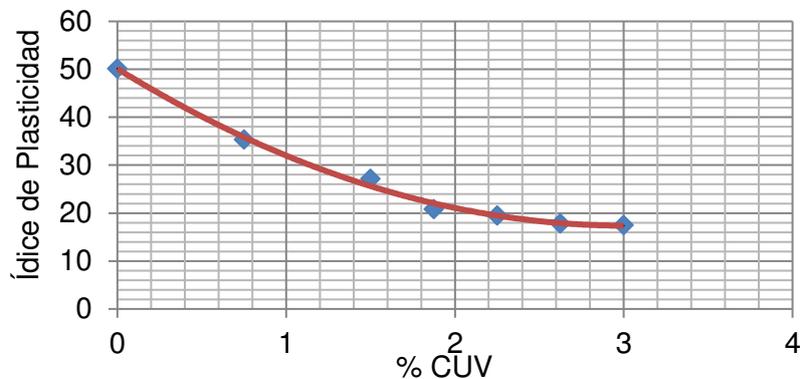


Fig. 3- Variación del IP en función del porcentaje de CUV. San José de Feliciano.

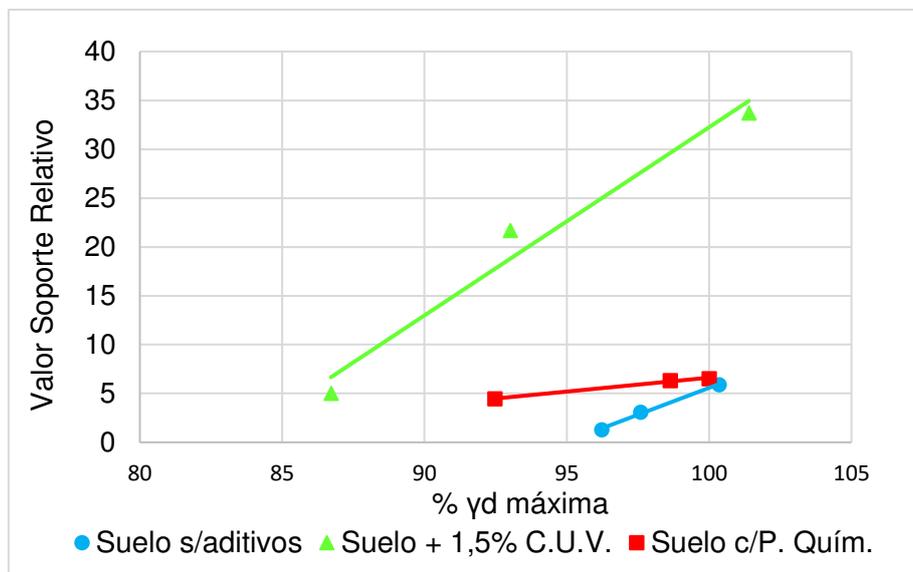


Fig. 4- Valor soporte relativo vs porcentaje densidad máxima. San José de Feliciano.

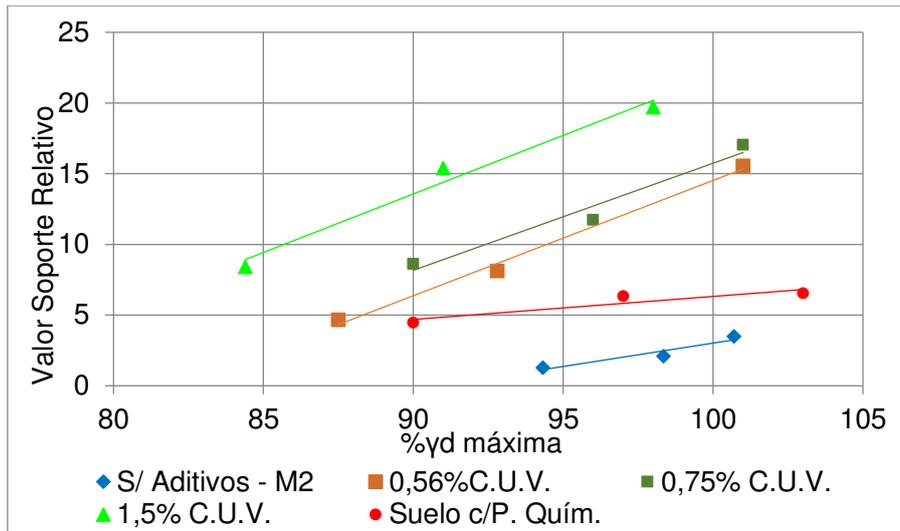


Fig. 5- Valor soporte relativo vs porcentaje densidad máxima. San Salvador M2.

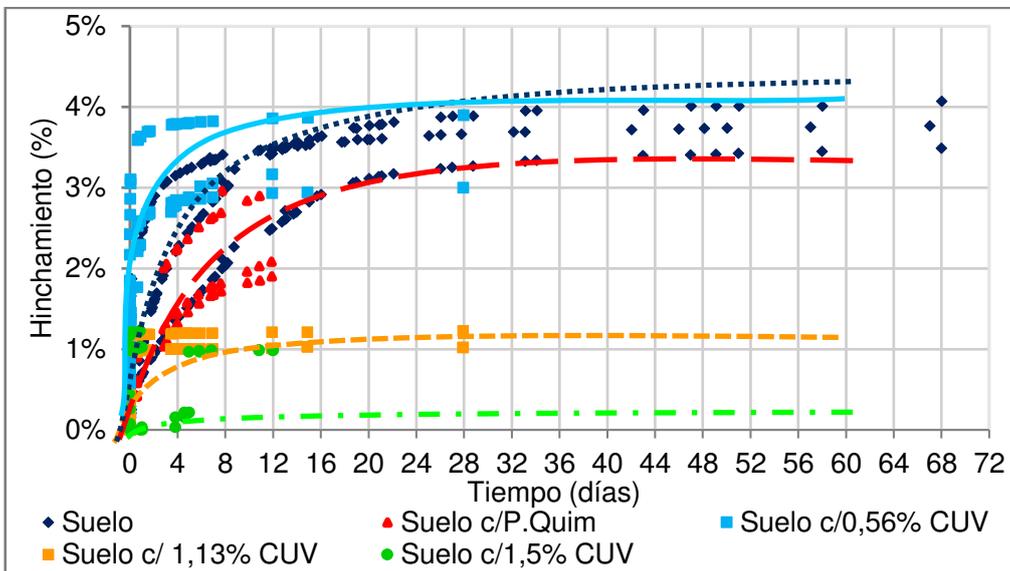


Fig. 6- Curva hinchamiento vs tiempo San José de Feliciano.

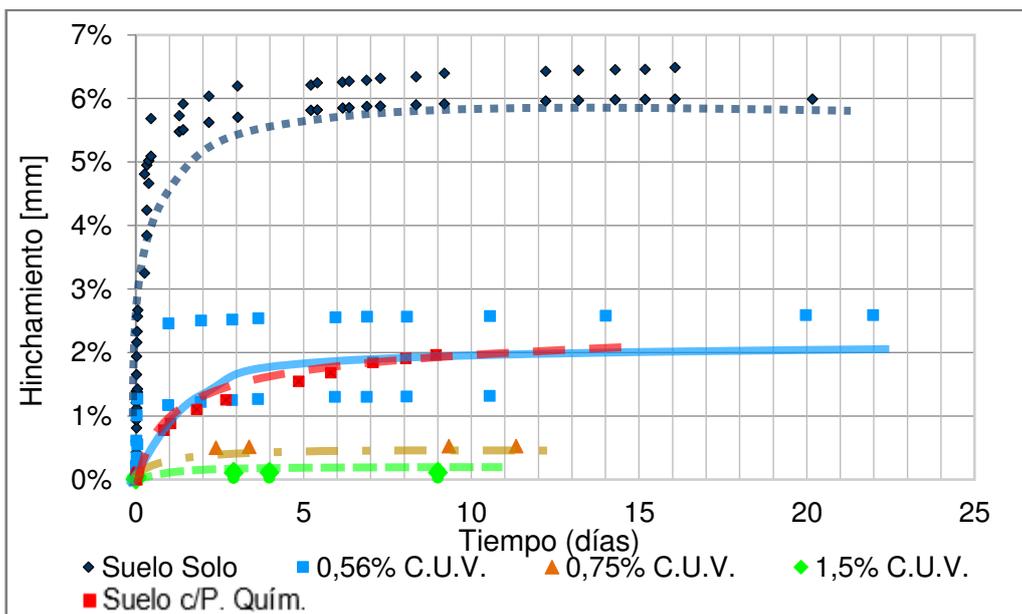


Fig. 7- Curva hinchamiento vs tiempo San Salvador M2.

Finalmente se logró obtener una curva donde puede cuantificarse el porcentaje de CUV que permite controlar completamente la expansión para un periodo de tiempo suficientemente extenso, con la muestra en inmersión.

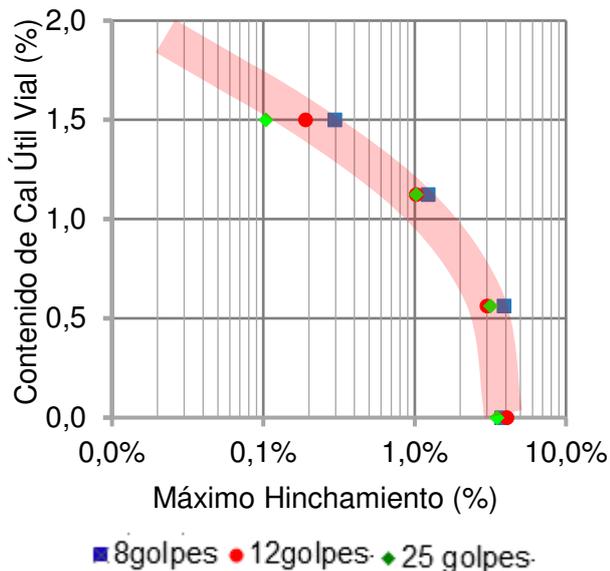


Fig. 8- Curva % CUV vs. Hinchamiento máximo. San José de Feliciano.

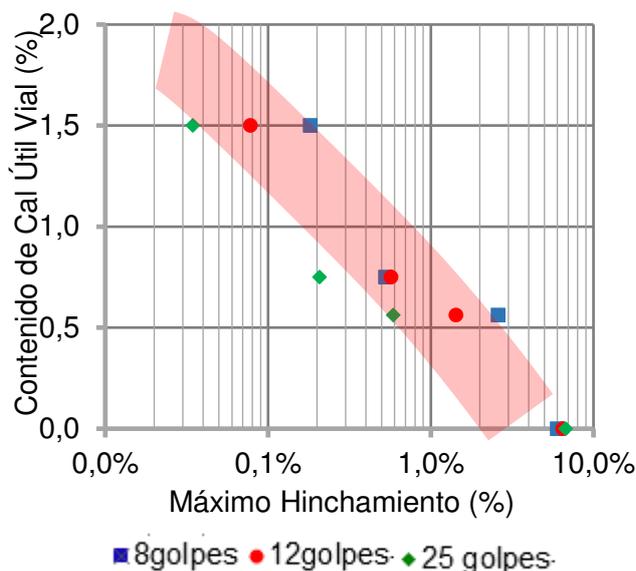


Fig. 9- Curva % CUV vs. Hinchamiento máximo. San Salvador M2.

## Conclusiones

Sobre el suelo natural:

El valor final de hinchamiento máximo medido a largo plazo, es prácticamente independiente de la densificación inicial de la muestra. En el corto plazo (4 días), las muestras de mayor densidad alcanzan menor expansión.

El hinchamiento a 4 días, previsto en el ensayo normalizado, es significativamente menor al máximo alcanzado a largo plazo. No pareciendo ser indicativo de la expansión potencial para este tipo de suelos.

Sobre el suelo tratado con cal:

La proporción de cal necesaria para eliminar completamente la expansión es poco dependiente del grado de densificación inicial.

En los suelos estudiados, una cantidad de CUV del orden del 1,5 % al 1,6 %, logra controlar el hinchamiento.

Se observa un marcado incremento del VSR con el aumento del porcentaje de cal incorporado.

## Referencias bibliográficas y marco normativo

[1] Carlos A. Micucci, et. Al. Contribución al Conocimiento de las Arcilla Activas. G.I.A.A., U.T.N. Facultad Regional Concordia. Año 2006.

[2] Skempton, A.W. 1953. The colloidal "Activity" of clays. Proceedings of the 3rd International Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering.

Normas de Ensayos de la Dirección Nacional de Vialidad.

IRAM y ASTM- Normas de Ensayos.

PETG - D.N.V. - Pliego de Especificaciones Técnicas Generales de la Dirección Nacional de Vialidad, Ed. 1998.

# VARIACIÓN DE COMPUESTOS BIOACTIVOS E INDICADORES DE COLOR DURANTE EL ALMACENAMIENTO DE UNA SALSA VEGETAL ENVASADA EN DISTINTOS MATERIALES.

**Autores:** Ing. Cecilia G. GIMÉNEZ<sup>1</sup>, Carolina DÍAZ<sup>1</sup>, Miliana PENZO<sup>1</sup>, Noelia DUARTE<sup>1</sup>.  
**Tutor:** Dra. Carola Andrea SOSA<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Grupo de Investigación en Biotecnología y Alimentos (BIOTEC), Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Resistencia. French 414. Resistencia-Chaco.  
E-mail: ceciliagimenez25@gmail.com

## Resumen

El contenido de compuestos benéficos para la salud (bioactivos) presentes en los alimentos, puede sufrir cambios en función del envase que se utilice y de las condiciones de almacenamiento. Asimismo, pueden generarse componentes responsables del pardeamiento que pueden afectar al color de los mismos. En el presente trabajo, se estudió el comportamiento de los componentes bioactivos (polifenoles y carotenoides totales) de una salsa vegetal, envasada en diferentes materiales PET (Tereftalato de polietileno), PP (Polipropileno) y PE (Polietileno), durante 50 días de almacenamiento, a 25 °C. Además, se determinó el desarrollo de pardeamiento (pigmentos pardos), en las mismas condiciones. Los resultados mostraron que los polifenoles totales no presentaron una tendencia definida durante el almacenamiento en PET y PE. Sin embargo, para PP se observó una disminución del 53.3% de dichos compuestos, durante el mismo periodo. Los carotenoides totales no presentaron variación durante el almacenamiento, con valores promedios de 71.33±0.91 (µgβ-caroteno/g) para PET y PE, y 41.02±0.17 (µgβ-caroteno/g) para PP. Las salsas envasadas en PET desarrollaron un menor pardeamiento (97.94% menor) que las envasadas en PE y PP.

**Palabras claves:** salsa vegetal, bioactivos, pigmentos pardos, envases, almacenamiento.

## Introducción

Actualmente, no hay dudas que la alimentación forma parte de uno de los eslabones principales para la prevención de múltiples patologías. Aunque éstas presenten una etiología multifactorial que incluye factores genéticos, clínicos y ambientales, se ha concluido que efectivamente la dieta desempeña un papel determinante en el desarrollo de diversas enfermedades. Es así que, en los últimos años se evidencia una tendencia mundial a incrementar el consumo de frutas y hortalizas, especialmente por su riqueza en todo tipo de nutrientes. En este aspecto, la elaboración de productos derivados de vegetales es una opción para favorecer dicho consumo.

Los frutos de *Cucurbita moschata*, D. (zapallo anco) y del *Capsicum annuum*, L. (pimiento rojo), son producidos en grandes cantidades en la región del NEA Argentino. Poseen un apreciable contenido en sustancias bioactivas, principalmente carotenoides, polifenoles, ácido ascórbico, y fibra. Estas materias primas están disponibles durante todo el año y constituyen un material provechoso para elaborar productos de alto valor agregado.

Un ejemplo de esto, es la preparación de salsas a partir de la mezcla en diferentes proporciones de estos frutos, que se pueden utilizar para aderezar carnes, pastas, pan y otras preparaciones culinarias. Se las puede considerar como alimentos nutritivos ya que contienen en su matriz un apreciable contenido en carotenoides y polifenoles, ambos con una demostrada capacidad antioxidante. (Gong *et al.*, 2017). Se debe tener en cuenta que, estas sustancias como así también las características organolépticas (especialmente el color), pueden verse afectadas debido al material de envase que se utilice, como así también a las condiciones de almacenamiento en las cuales se las disponga.

Por lo mencionado anteriormente, para la conservación de las cualidades del alimento, el material del envase es esencial, ya que las diferentes características de permeabilidad pueden alterar las concentraciones de los compuestos bioactivos presentes. Por ello, es importante lograr una atmósfera dentro del recipiente que alcance un equilibrio adecuado y requerido para la conservación del producto en cuestión (Català *et al.*, 2009). Numerosos estudios científicos han reportado significativos resultados sobre los efectos del material de envase y condiciones de almacenamiento sobre la calidad y vida útil de una extensa gama de alimentos, tales como el aceite de oliva (Kanavouras *et al.*, 2006), entre otros.

En el presente trabajo se estudió la variación de los componentes bioactivos, Polifenoles Totales (PFT) y Carotenoides Totales (CT), de una salsa vegetal envasada en diferentes materiales, durante 50 días de almacenamiento, a 25°C. Asimismo, se analizó el cambio de color mediante el desarrollo de pigmentos causantes de pardeamiento (PIGP), en iguales condiciones. Se analizó el comportamiento del producto envasado en Tereftalato de polietileno (PET), Polipropileno (PP) y Polietileno (PE).

## **Materiales y Métodos**

### **1. Preparación de la salsa vegetal**

Los vegetales se lavaron con agua corriente, se retiraron los tejidos no comestibles y se sanitizaron con una solución de hipoclorito de sodio ( $10\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , durante 3 minutos), y posteriormente se enjuagaron. El tejido comestible del zapallo se cortó en láminas de 15 mm de espesor y luego, se expusieron a una corriente de vapor de agua durante 20 minutos.

Por su parte, los pimientos se envolvieron con un film de aluminio y se introdujeron en estufa a 180°C, durante 1 hora. Posteriormente, los vegetales se molturaron en un molino desintegrador de alta velocidad (marca ARCANO modelo FW100), a 24000 rpm durante 6 y 3 segundos, respectivamente. Los purés de zapallo y pimiento obtenidos, se mezclaron en partes iguales y se adicionaron diferentes aditivos en cantidades adecuadas. Finalmente, la salsa se envasó en contenedores de PET, PP y PE, y se almacenó a 25°C. Cada 10 días de almacenamiento, se extrajeron las muestras y se determinó el contenido de PFT, CT y PIGP, por un periodo total de 50 días.

### **2. Determinación de Polifenoles Totales**

Se aplicó el método espectrofotométrico de Folin Ciocalteu. (Tang *et al.*, 2015). Se pesaron 10 g de muestra y se molturaron con 30 mL de metanol frío. Se dejó reposar 20 minutos y se centrifugó durante 20 minutos. Se filtró el sobrenadante y se obtuvo un extracto metanólico del material vegetal. Luego, a 150  $\mu\text{L}$  del extracto, se agregó 1550  $\mu\text{L}$  de agua destilada, y se hizo reaccionar con 100  $\mu\text{L}$  del reactivo de Folin. Luego de 5 minutos, se agregaron 200  $\mu\text{L}$  de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  al 10%. Se agitó la mezcla vigorosamente y se dejó reposar 1 hora en oscuridad. Finalmente, se utilizó un patrón de ácido clorogénico ( $0.0001\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ ) y se leyó la absorbancia a 760 nm mediante un espectrofotómetro marca PERKIN ELMER LAMBDA 25 UV-visible. Los resultados se expresaron en mg de ácido clorogénico/100g de muestra.

### **3. Determinación de Carotenoides Totales**

Se realizó por espectrofotometría visible. Inicialmente, se molturaron 10 g de muestra con 25 mL de acetona pre-enfriada, se filtró con vacío y lavó el residuo hasta decoloración total del mismo. Se tomó un volumen del extracto acetónico y se extrajo con igual volumen de éter de petróleo. Se separó la fase etérea y se leyó la absorbancia a 450 nm con un espectrofotómetro marca PERKIN ELMER LAMBDA 25 UV-visible, frente a un blanco de éter de petróleo. Los resultados se expresaron en  $\mu\text{g } \beta\text{-caroteno/g}$  de muestra.

#### 4. Determinación de Pigmentos Pardos

Para la evaluación de PIGP, se pesaron 5 g de la muestra y se molturaron con 25 mL de alcohol etílico absoluto. Se dejó reposar 15 minutos y se filtró con vacío durante 7 minutos. El filtrado se centrifugó durante 15 minutos a 2500 rpm con una CENTRÍFUGA ARCANO 80-2B CENTRIFUGE. Luego, se midió el volumen del extracto alcohólico obtenido y se diluyó a un volumen final de 50 mL con etanol. Se realizó la lectura de la absorbancia a 320 nm mediante un espectrofotómetro marca PERKIN ELMER LAMBDA 25 UV-visible, frente a un blanco de alcohol etílico. Los resultados se expresaron en unidades de absorbancia (uA)/g de muestra.

#### Resultados y discusión

Las salsas envasadas en diferentes materiales exhibieron, al inicio del ensayo, un contenido apreciable de PFT de  $79.77 \pm 0.08$ ,  $100.20 \pm 0.88$  y  $72.08 \pm 0.50$  (mg de ácido clorogénico/100g de muestra) para PET, PP y PE respectivamente. Estos compuestos están relacionados con el sabor, aroma y color de la mayoría de los alimentos, y presentan importantes beneficios para la salud debido principalmente a su actividad antioxidante (Gong *et al.*, 2017).

Durante el periodo de almacenamiento estudiado, no se observó una tendencia definida en la variación de estos compuestos (Fig. 1), especialmente en los envases de PET y PE. Sin embargo, las salsas envasadas en PP presentaron una disminución de estos compuestos desde valores iniciales de  $100.20 \pm 0.88$  hasta  $46.8 \pm 0.74$  (mg de ácido clorogénico/100g de muestra), a los 50 días de almacenamiento. Este comportamiento puede explicarse por la inestabilidad de los polifenoles frente a la presencia de oxígeno molecular presente al momento del envasado (Mc Evily *et al.*, 1992), o intercambiado a través del envase. También, debería tenerse en cuenta la acción de ciertas enzimas no desactivadas durante la cocción de los vegetales, que pueden causar la oxidación de estos componentes (Kuklinski, 2003).

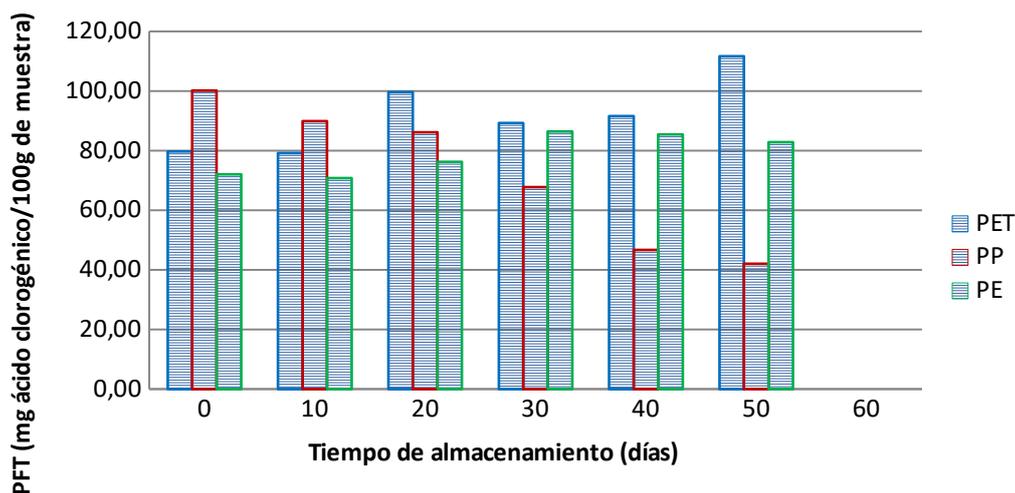


Fig. 1. Variación en el contenido de PFT de una salsa vegetal envasada en PET, PE y PP, durante el almacenamiento a 25°C.

Por otra parte, se registró un importante contenido de carotenoides totales en todas las muestras ensayadas. Cabe destacar, que estos componentes son importantes desde el punto de vista nutricional, ya que algunos de ellos tienen actividad de pro-vitamina A, como el  $\beta$ -caroteno (Pereira *et al.*, 1999), además de ser responsables del color de la mayoría de frutas y vegetales, especialmente zanahoria y zapallos.

Como se puede observar en la Fig. 2, los niveles de CT se mantuvieron sin variación durante 40 días de almacenamiento, para PET y PE, mientras que al finalizar el mismo se produjo una disminución del 23.69% y 15.44%, para cada uno de los envases mencionados. Esto puede

explicarse considerando el grado de degradación de los carotenoides durante el almacenamiento del producto, principalmente si se realiza a temperaturas elevadas y en empaques aireados o permeables al oxígeno, lo que favorece además las reacciones de degradación enzimática (Song *et al.*, 2018). Caso contrario a lo observado, para el caso de PP los valores de dicho parámetro se mantuvieron en un rango de  $41.02 \pm 0.17$  ( $\mu\text{g}\beta\text{-caroteno/g}$  de muestra), a lo largo de todo tiempo estudiado (50 días), indicando una mejor conservación de dichos compuestos.

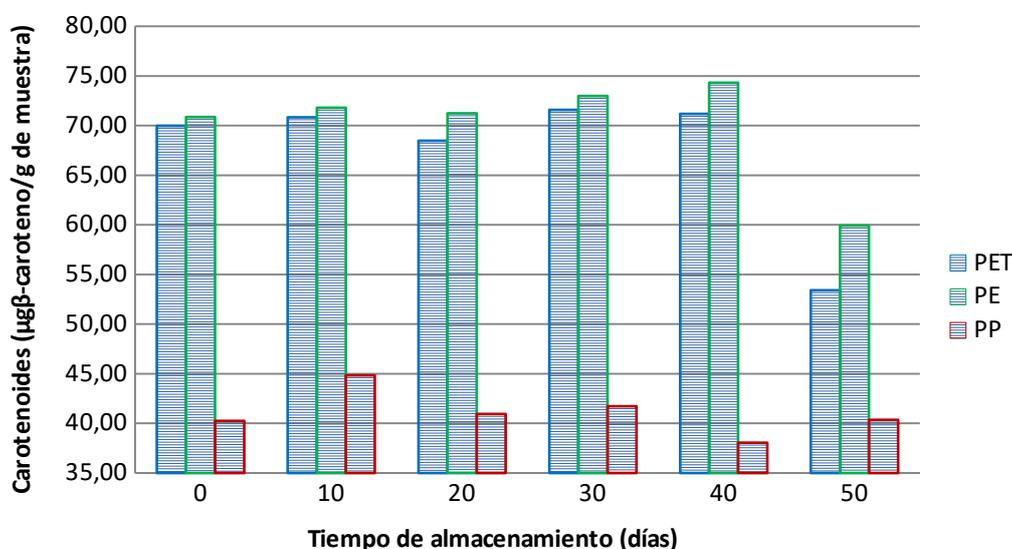


Fig. 2. Variación en el contenido de CT de una salsa vegetal, envasada en PET, PE y PP, durante el almacenamiento a 25°C.

Como se mencionó anteriormente, además de analizar el comportamiento de los compuestos bioactivos presentes en las salsas, se consideró importante detectar los cambios de color debido al desarrollo de pigmentos indicadores de pardeamiento. Los mismos son compuestos de colores oscuros (marrones a negros) que pueden producirse como consecuencia de reacciones químicas y bioquímicas durante la manipulación, elaboración o en condiciones de almacenamiento. Entre ellas, la reacción de Maillard, que comprende una serie de reacciones complejas de condensación entre azúcares reductores y aminoácidos, dando lugar a la formación de característicos polímeros pardos (melanoidinas) (Labuza *et al.*, 2005).

Durante el almacenamiento de las salsas vegetales, se pudo visualizar el desarrollo de pigmentos pardos (Tabla N°1), en los tres materiales de envase utilizados. Asimismo, para PP y PE, el incremento encontrado fue de un 141.81% y 140.5% respectivamente; mayor al envase PET el cual presentó un incremento de sólo un 3.0%, aproximadamente. En presencia de oxígeno, la reacción de pardeamiento oxidativo es catalizada por las enzimas polifenoloxidasas (PPO), las cuales actúan hidroxilando los compuestos fenólicos presentes en los tejidos vegetales. Posteriormente, estos compuestos se oxidan a o-quinonas, que posteriormente se condensan y reaccionan para producir pigmentos pardos, denominados genéricamente melaninas (Mujica *et al.*, 2012) (Parzanese, 2011)

Tabla 1. Variación en el contenido de PIGP de una salsa vegetal envasada en PET, PE y PP, durante el almacenamiento a 25°C.

	Material	Tiempo de almacenamiento (días)					
		0	10	20	30	40	50
PIGP (uAbs/g de muestra)	PET	0,70±0,007	0,54±0,008	0,48±0,005	0,49±0,007	0,66±0,006	0,72±0,003
	PP	1,10±0,011	0,57±0,004	1,10±0,012	0,58±0,006	0,55±0,0011	2,66±0,013
	PE	0,42±0,003	0,49±0,003	0,49±0,005	0,64±0,002	0,85±0,007	1,01±0,004

Valor promedio ± Desvío Estándar.

## Conclusiones:

El estudio del comportamiento de una salsa vegetal envasada en diferentes materiales plásticos, durante 50 días de almacenamiento a 25°C, permitió observar que cuando se utilizaron envases de PET y PE, se mantuvieron los niveles de los compuestos bioactivos, tanto de CT como de PFT, lo que podría suponer un menor intercambio de oxígeno entre el producto y el ambiente, y por ende una mejor preservación nutricional del producto.

Sin embargo, los tres materiales estudiados mostraron una tendencia creciente al desarrollo de pardeamiento, en el siguiente orden PP > PE > PET, lo que indicó un cambio en el color de las salsas durante el periodo estudiado.

Consecuentemente, se podría suponer que las salsas envasadas en PET exhibieron un mejor comportamiento con respecto a los parámetros de calidad medidos, en las condiciones de almacenamiento establecidas en el presente trabajo.

## Referencias

Català, Ramon, Pilar Hernandez Muñoz, Gracia Lopez Carballo, y Rafael Gavara. 2009. "Materiales para el envasado de frutas y hortalizas con tratamientos mínimos". *HORTICULTURA INTERNACIONAL. Instituto de Agroquímica y tecnología de alimentos*, 60–66.

Gong, Er Sheng, Shunjing Luo, Tong Li, Chengmei Liu, Guowen Zhang, Jun Chen, Zicong Zeng, y Rui Hai Liu. 2017. "Phytochemical profiles and antioxidant activity of processed brown rice products". *Food Chemistry* 232. Elsevier Ltd:67–78. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.148>.

Kanavouras, A., y F. A. Coutelieris. 2006. "Shelf-life predictions for packaged olive oil based on simulations". *Food Chemistry* 96 (1):48–55. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.01.055>.

Kuklinski, C (2003). *Nutrición y bromatología. Barcelona: Omega. ISBN 84- 282-1330.*

Labuza, Theodore P, Amar Kaanane, Catherine Davies, Amunziata Lapolla, Rosaria Aronica, Michele Battaglia, Massho Garbeglio, et al. 2005. *Ascorbic Acid as the Principal Reactant Causing Browning in an Orange Juice Model System Maldi Mass Spectrometry in the Evaluation of Glycation Level of  $\gamma$ -Globulins in Healthy and Diabetic Subjects. The Maillard Reaction in Foods and Medicine*. Vol. 51. Woodhead Publishing Limited. <https://doi.org/10.1016/B978-1-85573-791-4.50107-6>.

McEvily, A. J.; Iyenger, R.; Gross, A. T (1992). Inhibition of polyphenol oxidase by phenolics compounds. *Phenolic Compounds in Food and Their Effects on Health II. Antioxidants and Cancer Prevention*, Huang, M., Ho, C., Lee, C. Y., Eds., ACS Symposium Series 507, American Chemical Society, Washington, DC 318.

Mujica, María V, Marisela Granito, y Naudy Soto. 2012. "Variación de los compuestos fenólicos de *Phaseolus vulgaris* L. durante el almacenamiento y su relación con el endurecimiento". *Bioagro* 24 (3):163–74.

Parzanese, Magali. 2011. "Vegetales mínimamente procesados". *Secretaria de Agricultura Ganadería Y Pesca de Argentina*, 30–39.

Pereira, Maricilda R, Jaime Amaya-Farfan, Delia Rodríguez-Amaya. 1999. "b -Carotene content of Brazilian forti ® ed pasta" 10 (July 1998):81–85.

Song, Jiangfeng, Qiuyu Wei, Xiaoping Wang, Dajing Li, Chunquan Liu, Min Zhang, y Lili Meng. 2018. "Degradation of carotenoids in dehydrated pumpkins as affected by different storage conditions". *Food Research International* 107 (February):130–36. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.02.024>.

Tang, Yao, Xihong Li, Bing Zhang, Peter X. Chen, Ronghua Liu, y Rong Tsao. 2015. "Characterisation of phenolics, betanins and antioxidant activities in seeds of three *Chenopodium quinoa* Willd. genotypes". *Food Chemistry* 166. Elsevier Ltd:380–88. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.06.018>.

## **BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA (BTC) ESTABILIZADOS CON CAL. EVALUACIÓN DE SU RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y EROSIÓN HÚMEDA.**

Ariel González, Depto. de Ingeniería Civil – UTN Facultad Regional Santa Fe  
Santiago Cabrera, Depto. de Ingeniería Civil – UTN Facultad Regional Santa Fe  
Juan P. Sosa, Depto. de Ingeniería Civil – UTN Facultad Regional Santa Fe  
Pablo Costamagna, Laboratorio de Geotecnia – UTN Facultad Regional Venado Tuerto

### **Resumen**

El Bloque de Tierra Comprimida o BTC es un mampuesto de fábrica producido mediante la compresión de tierra empleando prensas especialmente diseñada para dicha tarea. Si bien el material de base lo constituye la tierra, se admite la adición de estabilizantes para mejorar las características físicas del bloque, aumentando su resistencia a la compresión y al intemperismo. Es objetivo de este trabajo contrastar las propiedades mecánicas de los BTC estabilizados mediante el empleo de cal con la de sus homólogos estabilizados con cemento, a fin de evaluar la factibilidad de reemplazar de manera total o parcial a este último en la fabricación de los BTC, lo cual reduciría significativamente el impacto ambiental y consumo energético asociado a la fabricación de estos bloques.

Los resultados obtenidos hasta el momento indican que, a pesar de que la resistencia a compresión de los BTC estabilizados con cal es significativamente menor a la de los bloques consolidados con cemento, su resistencia al intemperismo es igual, e incluso superior a la de sus homólogos mejorados con cemento.

### **Introducción**

El Bloque de Tierra Comprimida o BTC es un mampuesto fabricado mediante el prensado de tierra contenida dentro de un molde, empleando para ello prensas mecánicas o hidráulicas, de accionamiento manual para bajas demandas de producción o automáticas para sistemas industrializados (Fontaine, 2009). Según Julián Salas (1995), el BTC puede ser considerado como un salto tecnológico respecto al tradicional adobe, el cual, sin dejar de mirar por el espejo retrovisor, logra integrarse de manera más acorde a los contextos productivos vigentes en la actualidad, empleando en su proceso de fabricación maquinaria especializada.

Las ventajas generales del BTC, en comparación con otros mampuestos de fábrica, como el tradicional ladrillo cerámico o el bloque de hormigón, podrían resumirse en su regularidad de forma (presentando caras lisas y aristas vivas) y su alta densidad - generada por la compresión efectuada durante su fabricación - la cual los hace más resistente a la erosión y a la acción del agua -; además, la posibilidad de ser reciclado prácticamente en su totalidad (Roux, 2012).

En cuanto a la producción del bloque en sí, posee características que la hacen más económica y ambientalmente amigable si se la compara con la fabricación de otros materiales semejantes. Para empezar la energía utilizada en la producción de estos bloques es mucho menor que en cualquier otro mampuesto similar; además, si bien se le adicionan algunos aditivos estabilizantes como la cal o el cemento, estos representan un porcentaje muy bajo de su composición (Bestraten, 2011). Otra ventaja es que no se precisa de mano de obra altamente calificada para su elaboración, y su costo de fabricación es menor al de sus pares “tradicionales” (como el ladrillo cerámico común o hueco y el bloque de hormigón) teniendo en cuenta la poca energía utilizada en su producción, y que su fabricación se hace aprovechando los recursos del sitio (Vázquez, 2001). Si bien el material de base para estos bloques es la tierra, la misma admite la incorporación de estabilizantes minerales (generalmente cal o cemento Portland) que permitan mejorar las características físicas del mismo, aumentando su resistencia a la compresión, al intemperismo y reduciendo las fisuras provocadas por la retracción de la arcilla (Roux, 2010).

### **Empleo de la cal como estabilizante**

Diversos aditivos han sido empleados en la estabilización de los BTC: desde sustancias naturales como la sábila de mucilago (Roux, 2010), la caseína y la celulosa (Vissac, 2017) hasta derivados del petróleo, como lo son las emulsiones asfálticas. Sin embargo, desde los orígenes del BTC, el estabilizante por excelencia ha sido el cemento portland, tal es el caso que en numerosas regiones del país y de Latinoamérica suele llamarse a los bloques de tierra comprimida como

“bloques de suelo cemento”, jerga muy influenciada por los ingenieros de caminos.

A pesar de las buenas prestaciones que poseen los BTC estabilizados con cemento, debe considerarse que, además del elevado costo económico de éste, su fabricación requiere de elevados procesos de transformación térmica (superándose los 1400°C), liberando además enormes cantidades de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. Es por este motivo que en el laboratorio de geotecnia de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe (UTN FRSF), en el marco de una tesis doctoral financiada por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET) y de un Proyecto de Investigación y Desarrollo homologado por Rectorado de la UTN, se está evaluando el desempeño de BTC estabilizados con aditivos no cementicios, dándole mayor preponderancia a los aportes potenciales de la cal - dado el menor impacto ambiental que presenta en contraste con el cemento - ya que la utilización de ésta en la estabilización del suelo, y especialmente de suelos finos, data de épocas muy antiguas y se mantiene vigente en la actualidad, como lo demuestra el anteproyecto de norma mexicana NMX C 508, particularmente abocada a los procedimientos de ensayo y control para BTC estabilizados con cal (ONCCE, 2014).

Se ha demostrado reiteradas veces que la acción de la cal en la estabilización del suelo arcilloso puede advertirse en 2 etapas: en una primera etapa, casi inmediata a la incorporación de la cal, se produce una reducción del índice de plasticidad del suelo por incremento de su límite plástico, lo cual lo vuelve menos sensible a los efectos perjudiciales del agua y particularmente a los cambios volumétricos. Ya en edades más avanzadas se produce un significativo aumento de la resistencia mecánica del suelo, lo cual se atribuye a la formación de nuevos compuestos cementantes (silicatos de calcio y aluminatos de calcio hidratados) al recombinarse los iones de calcio aportados por la cal con los minerales arcillosos del suelo (Dyiamond, 1971).

## **Objetivos**

El objetivo general de las investigaciones llevadas a cabo por el laboratorio de geotecnia de la UTN FRSF, dentro de las cuales se enmarca este trabajo, es el siguiente: Reemplazar por cal al cemento portland empleado en la estabilización de los Bloques de Tierra Comprimida, de manera total o parcial. Para ello, se proponen como objetivos particulares los siguientes:

1. Evaluar la resistencia a compresión de los BTC estabilizados con cal;
2. Evaluar la resistencia a erosión húmeda de los BTC estabilizados con cal;
3. Contrastar los resultados de los ensayos realizados sobre los BTC de suelo-cal con los de sus homólogos estabilizados con cemento.

## **Materiales y métodos**

### *Hipótesis*

*La resistencia a compresión e intemperismo de los bloques de tierra comprimida estabilizados con cal es igual a la de sus homólogos estabilizados con igual proporción de cemento.*

### *Metodología*

Para evaluar la hipótesis planteada se produjeron diversas series de BTC, cada una de ellas estabilizadas con cal o cemento en diversas proporciones, realizándose sobre ellas 3 ensayos diferentes: Resistencia a la compresión, resistencia a erosión húmeda por caída de agua y resistencia a la erosión por pulverizado de agua a presión. Finalmente, se comparan los resultados obtenidos.

### *Producción de los Bloques de Tierra Comprimida*

Para el desarrollo de este trabajo, fueron confeccionadas 10 series distintas de BTC empleando tierra de la zona, estabilizada con cemento portland (CPC 40 marca Holcim) y cal hidráulica (marca Casique) en diversas proporciones. Así mismo, en la fabricación de los mismos fueron empleadas 3 prensas diferentes: 2 de accionamiento manual (CINVA RAM y ALTECH GEO 50) y 1 de accionamiento hidráulico (Eco Brava). Las dimensiones de los bloques producidos por las prensas manuales fueron de 14 x 29 x 7.5 cm, mientras que los bloques elaborados por la prensa hidráulica fueron de 14 x 25 x 7.5 cm; todos ellos macizos.

La tierra empleada en la fabricación de los BTC provino de la comuna de Monte Vera, lindante con la ciudad de Santa Fe, y puede clasificarse según el sistema SUCS como un limo arcilloso de baja plasticidad (CL ML) con bajos contenidos de arena fina (un 25%).

Para evaluar la resistencia mecánica y al intemperismo de los BTC estabilizados con cal y cemento portland, sobre éstos se realizaron 3 tipos de ensayos: resistencia a compresión simple, erosión acelerada por caída de agua y erosión por pulverizado de agua a presión. A continuación se explican los procedimientos empleados en cada ensayo.

#### *Resistencia a compresión*

El procedimiento adoptado para determinar la resistencia a compresión simple de los bloques de tierra comprimida fue el estipulado por la norma española UNE-EN 772-1.

La preparación de las probetas se realiza cortando de manera transversal cada bloque en dos partes iguales, sobreponiendo las dos mitades correspondientes de cada uno por la cara a pegar - previamente humedecida - y teniendo cuidado de invertirlas, es decir que la cara de una quede en el mismo plano de la sección de corte de la otra. Se pegan las dos mitades empleando una capa de mortero 10 mm de espesor, el cual está constituido por una mezcla de tierra y cemento con medidas de 1 parte de cemento por 4 partes de tierra, de manera que el ensayo se pueda hacer después de 48 horas de curado.

Una vez endurecido el mortero se miden las dimensiones de la superficie superior e inferior de las probetas, calculando para cada una de ellas la superficie promedio. Se ubica la probeta sobre el plato de carga, verificando que la misma se encuentre perfectamente centrada; se aplica la carga de manera continua y sin movimientos bruscos a una velocidad constante de 0.02 mm/s hasta alcanzar la rotura de la probeta. Se registra la máxima carga soportada durante el ensayo y luego se divide por la sección bruta de la probeta, obteniendo así la tensión de rotura, en Kg/cm<sup>2</sup>.

Para la realización de estos ensayos se utilizó un gato hidráulico tipo "botella" con 20 t de capacidad, una celda de carga con apreciación de 5 kg y capacidad máxima de 20 t; un pórtico de carga y dos suplementos metálicos empleados para transmitir de manera uniforme las cargas aplicadas sobre las caras de contacto. En las Figuras 1 y 2 puede apreciarse el instrumental empleado durante la ejecución del ensayo y la falla de una probeta.



Fig. 1. Ensayo de resistencia a compresión simple



Fig. 2. Rotura de una probeta tras ser ensayada a compresión

#### *Erosión acelerada por caída de agua*

Tanto el equipo como el procedimiento empleados para la realización de este ensayo fueron los establecidos por la norma española UNE 41410, según el cual, se deja caer una corriente continua de agua sobre el bloque a través de un tubo de cristal de 5 mm de diámetro, conectado a un tanque de agua de nivel constante, cuya cabecera se encuentra a 1.5 m sobre la cara expuesta de la probeta, la cual se mantiene inclinada 27° respecto a la horizontal.

Una vez alcanzado el régimen estacionario del equipo de ensayo, se corrobora que la distancia entre la cara expuesta del bloque y el conducto de descarga sea de exactamente 100 cm. La probeta debe colocarse de manera tal que el lado expuesto a la corriente de agua sea una de las caras laterales. A partir de este momento comienza a correr el tiempo de ensayo, el cual culmina luego de 120 minutos. Finalmente, en la Figura 3 puede apreciarse la realización de este ensayo y el equipo empleado para el mismo.

#### *Erosión por pulverizado de agua a presión*

Para la realización de este ensayo fue empleado un equipo desarrollado íntegramente por el laboratorio de geotecnia de la UTN FRSF, el cual consta de una bomba de agua de 1 HP de potencia, una llave de cierre esférico que permite regular la presión del agua erogada y un pulverizador de agua. Dentro del recinto hermético se dispone de una base móvil que permite regular la distancia entre la probeta y el pulverizador de agua; en la Figura 4 puede apreciarse el equipo empleado. Los parámetros del ensayo (tiempo de exposición, distancia y presión) fueron los estipulados por la norma india IS 1725.

Antes de colocar la probeta dentro del equipo debe corroborarse que la presión de agua erogada por el mismo sea la adecuada (1 bar). Luego, se introduce la probeta dentro del equipo, ajustando la posición de la base de apoyo hasta que la distancia entre la cara expuesta del bloque y la fuente de agua presurizada sea de exactamente 20 cm. Al igual que en el ensayo de erosión acelerada por caída de agua, la probeta debe colocarse de manera tal que el lado expuesto al chorro de agua presurizado sea una de las caras laterales. A continuación, se acciona el dispositivo presurizador de agua y comienza a correr el tiempo de ensayo, el cual es de 120 minutos. En la Figura 4 puede apreciarse la realización de este ensayo.



Fig. 3: Realización del ensayo erosión por caída de agua SEAT



Fig. 4: Ensayo de erosión por caída de agua SEAT en progreso

Siguiendo los métodos de evaluación del nivel de resistencia a la erosión estipulados por las normas de ensayo empleadas, se determinó la máxima profundidad alcanzada por el patrón de erosión generado en cada probeta empleando un calibre con apreciación de 0.05 mm.

Además de evaluar el nivel de resistencia a la erosión húmeda de las probetas ensayadas por los métodos descritos, se empleó un método de evaluación gráfica desarrollado por el laboratorio de geotecnia de la UTN FRSF, mediante el cual se contrastan los “dibujos de erosión” ocurridos sobre la cara expuesta de cada probeta tras ser ensayadas con patrones de comparación normalizados; motivo por el cual, una vez determinada la máxima profundidad alcanzada por la erosión, se registró de manera fotográfica el patrón de erosión generado en cada una de ellas siguiendo un riguroso protocolo: se coloca la probeta sobre una base blanca, inclinándola 15° respecto a la horizontal. Se posiciona la cámara sobre la probeta (a 15 cm de la misma) y se toma la fotografía activando el flash de la cámara (ver imágenes de la Tabla 1).

## Resultados

En la Tabla 1 se exponen los patrones de erosión generados sobre cada serie de probetas tras la realización de los ensayos de erosión húmeda, mientras que en las Tablas 2 y 3 se resumen los resultados de los mismos, según la proporción y tipo de estabilizante empleado.

Tabla 1. Resumen gráfico de los ensayos de erosión

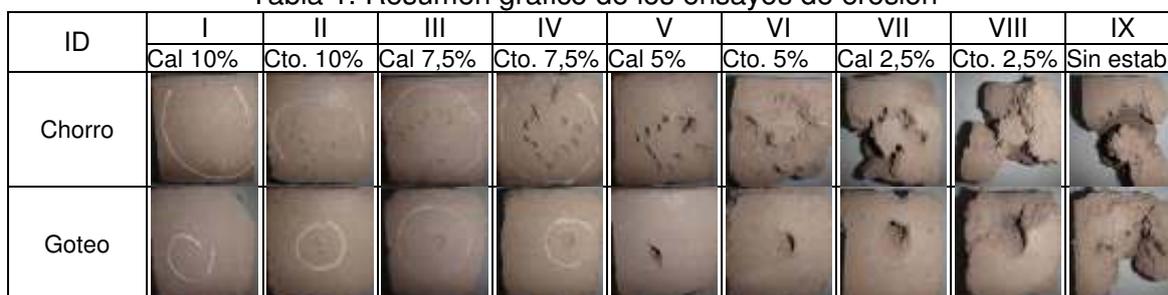


Tabla 2. Erosión por pulverizado de agua a presión. Resultados

ID	Estabilizante		N° de probetas	Prof. de erosión (mm)	
	Tipo	(%)		Prom.	Desv.
I	Cal	10,0	4	1,8	0,4
II	Cemento	10,0	4	4,5	1,7
III	Cal	7,5	5	2,4	0,5
IV	Cemento	7,5	5	8,6	1,2
V	Cal	5,0	3	22,0	3,0
VI	Cemento	5,0	4	24,0	4,7
VII	Cal	2,5	5	60,0	15,0
VIII	Cemento	2,5	5	68,0	18,0

Tabla 3. Erosión por caída de agua. Resultados

ID	Estabilizante		N° de Probetas	Prof. de erosión (mm)	
	Tipo	(%)		Prom.	Desv.
I	Cal	10,0	5	0,20	0,40
II	Cemento	10,0	4	2,50	0,87
III	Cal	7,5	3	1,00	0,82
IV	Cemento	7,5	4	2,75	0,43
V	Cal	5,0	3	15,00	8,16
VI	Cemento	5,0	4	20,00	4,64
VII	Cal	2,5	3	44,3	8,1
VIII	Cemento	2,5	3	41,7	8,6

Finalmente, en la Tabla 4 se exponen los resultados de los ensayos de resistencia a compresión realizados sobre cada serie de probetas.

Tabla 4. Resultados de los ensayos de compresión

Estabilizante	Porcentaje	Prensa	N° de probetas	$\sigma$ media [Kg/cm <sup>2</sup> ]	Sd [Kg/cm <sup>2</sup> ]
Cemento	10 %	Hidráulica	32	13.4	4.59
Cemento	10 %	Manual	6	16.37	6.65
Cal	10 %	Hidráulica	12	4.24	1.12
Cal	10 %	Manual	10	4.15	2.36

## Discusión de resultados

En la Tabla 2 puede apreciarse como, todas las probetas estabilizadas con cal resistieron mejor el ensayo de erosión por pulverizado de agua a presión que sus homólogas estabilizadas con el mismo porcentaje de cemento, presentando profundidades de erosión menores. Así mismo, en la Tabla 3 se observa el mismo patrón en las probetas ensayadas a erosión acelerada por caída de agua<sup>(\*)</sup>.

En las Tablas 1 y 2 puede observarse además la gran incidencia que posee en la resistencia la erosión húmeda (para ambos ensayos) la cantidad de estabilizante empleado durante la fabricación de los BTC, y como, para porcentajes inferiores al 5%, su influencia es prácticamente nula. Esto puede apreciarse mejor en las figuras de la Tabla 1, en la cual pueden contrastarse los patrones de erosión de las probetas estabilizadas con 5 y 2.5% de cal y cemento con aquellas que elaboradas solo con tierra, sin estabilizante alguno.

(\*)Con excepción de las series V y VI, estabilizadas con 5% de cal y cemento, respectivamente. Respecto a los resultados obtenidos tras realizar los ensayos de resistencia a compresión, en los cuales únicamente fueron ensayadas probetas estabilizadas con 10% de cal y cemento, puede apreciarse claramente como, independientemente del tipo de prensa empleada en la elaboración de los BTC, la resistencia de los bloques elaborados con cal es tan solo 1/3 (o menor) que la resistencia de los BTC estabilizados con igual proporción de cemento.

## Conclusiones

Tras evaluar y discutir los resultados de los ensayos realizados, y atendiendo a los objetivos particulares de este informe, se refuta la hipótesis originalmente planteada y se arriba a las siguientes conclusiones:

1. La resistencia a erosión húmeda de los BTC estabilizados con cal es un 15% superior a la de los BTC estabilizados con igual proporción de cemento.
2. La resistencia a compresión de los BTC estabilizados con 10% de cal es inferior al 30% que la de los BTC estabilizados con un 10% de cemento.

Actualmente en el laboratorio de geotecnia de la UTN FRSF se continúa trabajando en la temática, intentando corroborar los resultados obtenidos hasta el momento y realizando nuevos ensayos que permitan evaluar el desempeño de los Bloques de Tierra Comprimida estabilizados con cal, particularmente con la realización de ensayos de absorción de agua por capilaridad e inmersión y en la determinación de la resistencia a compresión de los bloques saturados.

## Referencias

- Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR) (2011). Norma UNE 772-1: Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 1: Determinación de la resistencia a compresión. Madrid.
- Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR) (2008). Norma UNE 41410: Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo. Madrid.
- Bestraten S; Hormías E. & Altemir A. (2011). Construcción con tierra en el siglo XXI. Revista Informe de la Construcción, Vol. 63, nº 523. Madrid.
- Diamond, S. & Kinter, E. (1971). Mecánica de la estabilización del suelo – cal. Una revisión interpretativa. Revista Carreteras. V. 12, n 55. Madrid.
- Fontaine L. & Anger R. (2009). Batir en terre. Du grain de sable à l'architecture. Francia: Belin.
- Indian Standard (IS) (1982). Standard IS: 1725 – 1982: Specification for soil based blocks used in general building construction. New Delhi.
- Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, s.c. (ONCCE) (2014). Anteproyecto de norma mexicana NMX C 508: Industria de la construcción. Bloque de tierra comprimida estabilizado con cal. Especificaciones y métodos de ensayo. México D.F.
- Roux, R. (2010). Los Bloques de Tierra Comprimida (BTC) en zonas húmedas. México, D.F.: Plaza y Valdés S.A.
- Roux, R. & Espuna, J. (2012). Bloques de Tierra Comprimida adicionados con fibras naturales. México D.F.: Plaza y Valdés S.A.
- Salas, J. (1995). Habiterra: exposición Iberoamericana de construcción de tierra. Bogotá, Escala.
- Vázquez Espi, M. (2001). Construcción e impacto sobre el ambiente: El caso de la tierra y otros materiales. Revista Informes de la construcción. V. 52, n 471, p. 29 – 43. Madrid.
- Vissac, A., Bourges, A. & Gandreau, D. (2017). Argiles & Biopolymères. Les stabilisants naturels pour la construction en terre. Grenoble, CRAterre.

# MODERNIZACIÓN DE FRESADORA CNC SUPERMILL

Gonzalo González

Tutor: Ing. Pedro S. Giraudó, Ing. Huber G. Fernández

Departamento de Ingeniería Mecánica – Laboratorio de Metalurgia y Materiales  
Facultad Regional Villa María – Universidad Tecnológica Nacional  
Avda. Universidad 450 – (5900) Villa María (Córdoba)

## Resumen

Durante los meses de julio, agosto y setiembre de 2017 llevé a cabo un proyecto para el departamento de Mecánica de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Villa María como parte del programa de prácticas internacionales IAESTE. Dicho proyecto consistió en la puesta en funcionamiento y modernización de una fresadora de control numérico con la que cuenta el departamento para fines didácticos.

En primer lugar se contextualizara, brevemente, la tecnología a la que se hace referencia en este artículo, para poder entender mejor la gran utilidad de este tipo de herramientas en una facultad de ingeniería. Seguidamente, se describirán los componentes del sistema y sus características más relevantes, y se explicarán las modificaciones realizadas sobre el equipo, las cuales implican cambios en la electrónica de control del dispositivo y en el software de operación.

En los últimos apartados se mostrará un ejemplo de uso sencillo como demostración práctica de las capacidades del sistema.

**Palabras clave:** Fresa. CNC. Arduino.

## Introducción

“El verdadero progreso consiste en renovarse.” Alejandro Vinet (1797-1847) Literato y teólogo suizo.

La posibilidad de automatizar la fabricación de piezas o elementos con gran precisión resulta muy útil tanto en procesos industriales, a nivel doméstico o como en este caso en un laboratorio universitario de investigación. Además, la posibilidad de utilizar una máquina CNC durante el proceso de aprendizaje facilita la asimilación de los conceptos relacionados con el mundo de los procesos de fabricación, la automatización de procesos industriales y la electrónica e informática involucradas en estos aspectos, por lo que disponer de una fresadora CNC en un laboratorio universitario es una gran ventaja para sus usuarios. A fin de adaptar la máquina existente a la tecnología actual se sustituyó el módulo electrónico de control para poder utilizar programas más modernos y sofisticados con los que poder realizar más operaciones. Para ello se utilizó un módulo Arduino que aparte de ser útil en la modernización de la electrónica de la fresadora, aporta la opción de seguir desarrollando y diseñando mejoras para la máquina una vez que este proyecto finalice que conlleva una continuidad en la función didáctica de la máquina y abre la puerta a infinidad de proyectos y posibilidades de adaptación del sistema. En la Figura 1 se puede apreciar la fresadora en cuestión.

A continuación se explicarán los diferentes componentes del sistema actualizado para ofrecer una visión general del funcionamiento actual de la fresadora SUPERMILL.



Figura 1. Fresadora CNC SUPERMILL

### Descripción de los componentes del sistema

A grandes rasgos los componentes de la máquina pueden diferenciarse en elementos mecánicos y elementos electrónicos. Como elementos mecánicos se incluyen los tres ejes metálicos con transmisión por varilla roscada y la máquina herramienta (fresa) con transmisión por correa. La fresadora no dispone de una base para fijar la pieza sino que cuenta con unos ríles donde se pueden insertar fijaciones ( como torinillos) para anclar el bloque o tabla en el cual se va a mecanizar la pieza. En lo que se refiere a elementos electrónicos, el sistema consta de tres motores paso a paso para accionamiento de los ejes, un motor de corriente alterna para accionamiento de la fresa una placa Arduino Uno R3 con un Shield CNC V3 y tres Controladores DRV8825 (uno para cada motor paso a paso). Por último también es importante conocer el software que controla este dispositivo y las diferentes herramientas necesarias para crear un modelo informático para el mecanizado de elementos con la fresa.

### Ejes

La fresadora consta de tres ejes metálicos superpuestos. Esta es una distribución muy robusta que favorece a la reducción de las vibraciones. El área de trabajo de la fresa queda determinada por las medidas de los ejes y sus restricciones de movimiento. En este caso el espacio de trabajo es un cubo de aproximadamente 25x21x20cm. Se considera que las dimensiones del área de trabajo son relativamente grande tratándose de una herramienta didáctica, por lo que se pueden llegar a mecanizar elementos de dimensiones considerables.

### Transmisión

Para transmitir el movimiento de los motores a los ejes, este sistema utiliza varillas roscadas. Cada eje cuenta con una varilla roscada fijada al eje del motor y una tuerca fija a la estructura que convierte el movimiento giratorio del motor (y la varilla roscada) en un movimiento de traslación lineal. Al tratarse de una máquina norteamericana, estas varillas han sido fabricadas en pulgadas y su paso es de 0.05in. Es muy importante conocer el paso de rosca de estas varillas ya que es un dato necesario para poder calcular la relación de transmisión (los pasos del motor por milímetro de avance), unidad que se explicará más adelante.

### Fresa

La fresa es accionada por un motor independiente de 0,2 Hp a 115V ac y 2.9A de corriente, tal y como esta indicado en su etiqueta. Según el montaje actual el motor es controlado en forma manual mediante un variador de velocidad que el operario (alumno o profesor) debe ajustar según la necesidad del trabajo a realizar. El motor



Figura 2. Motor, transmisión y fresa

transmite la potencia la herramienta mediante un sistema de correa y poleas que permite variar la relación de transmisión según la necesidad

### Motores paso a paso

Para realizar movimientos precisos cada eje consta de un motor paso a paso. Los motores utilizados en este sistema son del modelo POWERMAX II de la marca Pacific Scientific. Las características más importantes de estas unidades son: paso a paso bipolares, con un step de 1.8°. Esto significa que cada paso del motor el rotor gira 1.8°, por lo tanto necesita de 200 pasos para completar una vuelta. Este dato, junto con el paso de rosca de la varilla roscada de la transmisión son valores esenciales para ajustar el funcionamiento de este sistema.

Este modelo de motor en particular tiene 8 pines de salida (ver. Figura 3), uno para cada borne de las 4 bobinas que forman su estator, por lo que su conexionado puede hacerse de diferentes maneras. Las posibles configuraciones de conexionado se muestran en las tablas 1 y 2.

Actualmente los motores están conectados en paralelo dado que así se consigue reducir a resistencia interna del motor y aumentar las RPM.

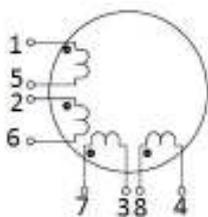


Figura 3. Pines de salida motor p.a.p.

PARALELO	
PIN	CONEXIÓN DRIVER
1,2	A+
5,6	A-
7,8	B+
3,4	B-

Tabla 1. Conexión PARALELO.

SERIE	
PIN	CONEXIÓN DRIVER
1	A+
2,5	PUENTE
6	A-
7	B+
3,8	PUENTE
4	B-

Tabla 2. Conexión SERIE

### Descripción de la electrónica

El sistema electrónico que conforma esta máquina está constituido básicamente por 3 componentes: Placa Arduino Uno R3, Shield CNC V3 Y Controladores DRV8825 (3 unidades).

Arduino es hardware libre, muy versátil y popular, utilizado para un sinnúmero de proyectos de robótica y automatización. A raíz de la popularización de las impresoras 3D y los sistemas CNC en general durante los últimos años, se ha convertido en un recurso muy utilizado y por lo tanto se dispone de gran cantidad de información, lo que resulta muy útil al trabajar con esta plataforma. Por otro lado se trata de un elemento muy económico y facilita la instalación de los componentes al disponer de módulos específicos para el desarrollo de maquinaria CNC, por lo que se escogió este como el hardware a utilizar en este proyecto.

Las características de la placa utilizada se muestran en la tabla a continuación:

Microcontrolador	ATmega328
Tensión de funcionamiento	5V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12V
Voltaje de entrada (límites)	6-20V
Pines Digitales de I/O	14 (6 proporcionan salida PWM)
Pines de entrada analógica	6
Corriente DC por Pin I/O	40 mA
Corriente DC por Pin 3.3V	50 mA
Memoria Flash	32 KB
SRAM	2 KB (Atmega328)
EEPROM	1 KB (Atmega328)
Velocidad del reloj	16 MHz

Tabla 3. Características placa ARDUINO UNO [1].

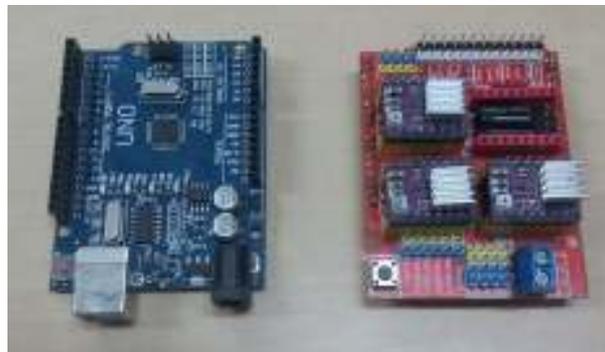
Para utilizarse la placa debe conectarse a una computadora mediante el cable USB que tiene incorporado para enviar los comandos de ejecución y poder realizar el mecanizado de la pieza en cuestión.

El CNC Shield es simplemente un adaptador para la placa Arduino que facilita el conexionado electrónico entre la placa y los controladores de los motores. Este es un elemento prescindible del sistema pero ayuda a compactar el circuito y proporciona una estructura más sencilla y con menos trabajo para ensamblar.

La tensión de alimentación de los motores debe conectarse a la placa CNC Shield y esta puede variar entre 12 y 36V, por el momento se está utilizando una fuente de 12V.

Los controladores de los motores son el modelo DRV8825 de Pololu [2]. Este componente se encarga de regular la corriente de los pulsos que se envían al motor para que este se mueva.

En lo que se refiere a su instalación la primera vez que se instalan debe regularse la corriente de salida de estos a 0.8A que es la intensidad que soportan los motores paso a paso de la máquina. Los controladores instalados en la máquina ya están regulados por lo que no es necesario realizar ningún cambio.



**Figura 4.** Izquierda placa ARDUINO UNO; Derecha CNC Shield y controladores DRV8825 montados (uno para cada eje).

### Software utilizado

La fresadora en si y su electrónica necesitan de un firmware para interpretar la información que le envía la PC y convertirla en señales para los motores. Actualmente el sistema tiene instalado el firmware GRBL [3] ; un controlador de código abierto muy popular que le otorga gran versatilidad a la fresadora ya que está en continuo desarrollo y ofrece un gran número de posibilidades de expansión para la fresadora; desde el control de elementos como la velocidad de giro de la fresa o el suministro de refrigerante y también la incorporación de un 4º eje.

A partir de aquí todos los demás software utilizados deben ser instalados en la PC que vaya a utilizarse para controlar la operación. Para poder establecer comunicación entre la placa electrónica de control de la fresa y la PC es necesario utilizar un software de control, que en este caso es Grbl Controller. Existen muchos software de control de código fuente abierta debido a la popularidad de estas maquinas por lo que se podría escoger cualquier otro. Sin embargo hay que tener en cuenta que el software de control y firmware deben ser compatibles.

A parte del programado de la fresadora, para poder realizar un mecanizado se necesita tener un código en lenguaje G para que la fresadora realice los movimientos y trazados necesarios para crear la pieza o componente. Por lo tanto lo primero que se debe hacer es realizar el diseño que se quiere mecanizar. Para ello se puede utilizar un programa CAD como AutoCad o eDrawings, aunque en este caso en particular se utilizó el programa Aspire. Este se trata de un programa del que se necesita una licencia para poder utilizarlo, sin embargo existen muchos otros programas como Inkspace, que en este caso es gratuito.

Una vez creado el diseño con el programa de modelización se tiene que convertir en un trazado de herramienta. En el caso particular de las pruebas realizadas con la fresadora se utilizó Aspire para que hacer el trazado de ruta por vectores. En función del software utilizado también es necesario introducir la herramienta que se utiliza para que los cálculos de trayectoria sean

correctos. La Figura 5 muestra un trabajo realizado por la fresadora actualizada. El mismo consistió en mecanizar sobre un bloque de madera, el logo de la Universidad Tecnológica Nacional.



**Figura 5.** Logo de la UTN realizado sobre un bloque de madera por la fresadora actualizada .

### **Posibles desarrollos a futuro**

Al terminar el período de intercambio las metas fijadas para la modernización de la fresadora se alcanzaron pero mientras se realizaba el proyecto iban surgiendo nuevas líneas de desarrollo que no podrían completarse en ese momento aunque se contemplaron como una oportunidad para otros estudiantes de continuar con el proyecto comenzado. A continuación se hará un breve resumen de aquellas propuestas que resultaron más interesantes con el objetivo de animar otros estudiantes a continuar con el desarrollo de esta herramienta.

- **Sensores de final de carrera:** diseñar un aislamiento que los proteja del ruido eléctrico generado por el motor de la fresadora. Mejorar los soportes y diseñar algún tipo de carcasa para evitar que se llenen de virutas, etc. Si los sensores de final de recorrido funcionan correctamente se puede establecer un ciclo de homming para centrar la herramienta y establecer un punto de inicio predeterminado para agilizar la mecanización de componentes. Actualmente se dispone de sensores tipo switch para instalarlos al sistema, aunque se podría mejorar el rendimiento del sistema sustituyéndolos con sensores inductivos sellados para evitar problemas de viruta.
- **Aspiradora y refrigeración para la herramienta:** hasta la fecha solo se han mecanizado piezas en madera pero sería un proyecto interesante diseñar algún sistema de aspirado para ayudar a que el funcionamiento de la máquina sea más limpio y sencillo de limpiar y un sistema de refrigeración para la herramienta y así poder mecanizar elementos de metales blandos como aluminio por ejemplo.
- **Regulación de velocidad de la herramienta:** sería muy útil poder encender y apagar el motor de la fresa directamente con el software de control, a demás de poder regular la velocidad mediante el código de mecanizado, por lo que se considera que una línea para la continuación de este proyecto se centraría en el motor de la fresa y su control desde el software. Cabe indicar que la electrónica instalada contempla el control de este elemento por lo que tiene puertos específicos designados para esta función.

- 4º eje: este eje ampliaría la complejidad de las piezas que se pueden producir en la fresa por lo que sería una buena ampliación de la maquina. el problema es que se Grbl de momento solo puede operar 3 ejes, aunque al ser un software libre está en desarrollo.
- ETC, las posibilidades de desarrollo de esta herramienta son muy amplias y por lo tanto se anima a los estudiantes a proponer nuevas líneas de desarrollo para el proyecto.

## **CONCLUSION**

La modernización de la fresadora SUPERMILL se ha llevado a cabo desde un punto de vista más bien electrónico, asegurando alargar la vida de esta herramienta tan versátil y ampliando las posibilidades de desarrollo del sistema.

Al tener como objetivo la puesta a punto de esta herramienta con fines pedagógicos, se considera que el hecho de que pueda interpretar trayectorias de trazado por si mismo la convierte en una buena herramienta de soporte para asignaturas de procesos de fabricación, automatización de la producción y demás materias. Por otro lado el hecho de que se haya utilizado una plataforma de fuente abierta en continuo desarrollo abre la puerta a que los estudiantes que se involucren en este proyecto puedan realizar un aprendizaje mucho más extenso ampliando las capacidades de la maquina a la vez que amplían su conocimiento en mecánica industrial y herramientas automatizadas.

## **AGRADECIMIENTO**

Al Ing. Pedro S. Giraud (UTN-FRVM), Ing. Huber G. Fernandez, Dr. Ing. Eldo José Lucioni (UTN-FRVM), Ing. Eduardo Cerrutti (UTN-FRVM), Ing. Javier Gonella (UTN-FRVM) y a todos los becarios del Laboratorio de Metalurgia y Materiales por el apoyo prestado para la elaboración del trabajo y el buen trato durante mi estancia en Argentina.

## **REFERENCIAS**

- [1] "Introduction to ARDUINO Board" <https://www.arduino.cc/en/Reference/Board>.
- [2] "DRV8825 Stepper Motor Driver Carrier, High Current" <https://www.pololu.com/product/2133>.
- [3] "GRBL" <https://github.com/grbl/grbl>.

# CARACTERIZACIÓN ESPECTROSCÓPICA Y PROPIEDADES SUPERFICIALES DE PRECURSORES DE QUIMIOSENSORES SOPORTADOS EN SÍLICE MESOPOROSA

Vanina A. Guntero<sup>(1,2)</sup>, Cristián A. Ferretti<sup>(1,3)</sup>, Pedro M. Mancini<sup>(1)</sup>, María N. Kneeteman<sup>(1)\*</sup>

(1) IQAL (UNL-CONICET), Laboratorio Fester – QUÍMICA ORGÁNICA (FIQ)

(2) UTN Facultad Regional San Francisco

(3) INCAPE (UNL-CONICET)

\* mkneeteman@fiq.unl.edu.ar

## Resumen

En este trabajo se presenta la preparación y caracterización de un material híbrido mesoporoso compuesto por un precursor de sensor químico, la *bis*-vainillina (BVA), anclada sobre el material Santa Barbara Amorfo (SBA-15) por medio de un proceso asistido por microondas. Se tuvo como objeto evaluar sus propiedades superficiales para luego aplicarlo a sistemas más complejos. El producto obtenido fue estudiado por espectroscopia infrarroja (FTIR), espectroscopia ultravioleta-visible (UV) y de fluorescencia. Se les realizó análisis de determinación de carbono, adsorción-desorción de nitrógeno y porcentaje de liberación de la BVA en distintos medios. Los resultados obtenidos confirman la exitosa inmovilización de la BVA en el material mesoporoso. Se destaca como característica de este sistema la posibilidad de liberar la molécula orgánica incrustada en SBA-15, dependiendo del medio líquido en el que esté suspendido.

## Introducción

Los tamices mesoporosos periódicos son materiales atractivos para una serie de aplicaciones industriales y comerciales debido, en parte, a su gran área superficial y al tamaño de poro controlable (Kizzire et al., 2017). El empleo de materiales porosos, tales como la sílice mesoporosa, permiten la construcción de composites con varios tipos de sustancias huésped, como por ejemplo moléculas orgánicas o polímeros (Li et al., 2007).

La sílice SBA-15 se destaca por su notable estabilidad, la cual conduce a una mejor dispersión, biocompatibilidad y funcionalización (Akhter et al., 2017). La sílice podría actuar como soporte para quimiosensores fluorescentes o cromogénicos, desarrollando así nanosensores no tóxicos, recuperables y biocompatibles (De La Rosa-Romo et al., 2016). La combinación de la SBA-15 con precursores de sensores químicos representa un especial interés para alcanzar ese objetivo. Además este sistema se podría utilizar para hospedar o liberar las moléculas orgánicas, según la aplicación futura deseable (Goscianska et al., 2017).

La síntesis del quimiosensor precursor se realizó con vainillina (4-hidroxi-3-metoxibenzaldehído), el componente natural principal de la vainilla (Araújo et al., 2010). La vainillina tiene una amplia gama de aplicaciones en la industria alimentaria como aditivo, en perfumería como agente aromático, como agente antiespumante y precursor químico para productos farmacéuticos (Zabkova et al., 2007). Mediante acoplamiento oxidativo de la vainillina se obtuvo la *bis*-vainillina (BVA), la cual es un precursor de sensores químicos para la detección de cationes metálicos. En especial, en este trabajo se evaluaron las condiciones de inclusión de la BVA en SBA-15 a través de un proceso asistido por microondas.

## Experimental

### *Síntesis del precursor de quimiosensores*

El Figura 1 muestra la vía sintética utilizada para la preparación de BVA (2) mediante acoplamiento radicalario, utilizando  $\text{FeSO}_4$  y  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$  a una solución acuosa de vainillina (1) siguiendo la bibliografía (Costero et al., 2015).

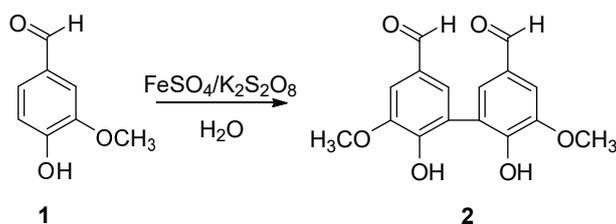


Fig. 1. Vía sintética utilizada para la preparación de BVA.

### Síntesis de SBA-15

La sílice mesoporosa SBA-15 se preparó mediante hidrólisis y condensación de un tensioactivo no iónico de acuerdo a la bibliografía (Wang et al., 2016). Se disolvió el copolímero de tribloque P123 Pluronic (4 g) a temperatura ambiente en una solución acuosa de HCl 3,1 M (350 ml). La mezcla se agitó a 35 °C hasta que el surfactante se disolvió completamente. Se añadió en el siguiente orden a la solución: Polietilenglicol 400 (10 g), tetraetil ortosilicato (TEOS, 22,5 ml), y la mezcla resultante se agitó vigorosamente a 40 °C durante 24 h. La mezcla de reacción obtenida se transfirió a un horno de microondas y se mantuvo a 100 °C durante 12 h en condiciones estáticas. El producto resultante se filtró, se lavó con agua y se secó a 80 °C durante la noche. El surfactante se eliminó por calcinación a 550 °C durante 5 h en aire.

### Anclaje de BVA en SBA-15

La molécula BVA se ancló a SBA-15 por un proceso asistido por microondas, en un microondas Anton Paar Monowave 300. Para tal propósito, se colocó BVA (0,15 g) en un vial de 30 ml de capacidad, y se agregó SBA-15 (1,5 g). Luego se añadió una solución de etanol:agua (50:50 v/v) (18 ml). La reacción se realizó a 70 °C, 1200 rpm, durante 20 min. Posteriormente, se dejó enfriar, y el material resultante se secó a 80 °C durante 5 h. Este método resulta ser altamente eficiente y práctico, disminuyendo los tiempos de anclaje, preservando las propiedades de la molécula BVA.

### Caracterización de los precursores y materiales

La adquisición de los espectros  $^1\text{H}$  and  $^{13}\text{C}$  NMR se realizó en un espectrómetro DPX-300 (300 MHz). Los ensayos FTIR se llevaron a cabo en un espectrofotómetro Shimadzu FTIR Prestige-21. Se realizaron las pastillas con las muestras a analizar utilizando KBr como aglutinante (1% en peso). La absorbancia se determinó mediante un espectrofotómetro Perkin Elmer Lambda 20. Los estudios de fluorescencia se realizaron en un espectrofotómetro Perkin Elmer F7000.

La adsorción-desorción de nitrógeno para determinar el área específica de los materiales se efectuó a la temperatura del nitrógeno líquido (-196 °C) en un equipo Quantachrome NOVA-1000. Previo al análisis las muestras se desgasificaron a 100 °C durante 10 h. Las determinaciones de las áreas superficiales se evaluaron usando el método Brunauer, Emmett y Teller (BET)(Brunauer et al. 1938), mientras que las distribuciones de tamaño de poro se calcularon usando el algoritmo Barret-Joyner-Halenda (BJH) (P. et al. 1951) en las ramas de adsorción de las isotermas.

Se realizaron pruebas de liberación de BVA para determinar la cantidad de BVA liberada en los siguientes medios líquidos: agua, DMSO/agua (1:99 v/v), etanol/agua (50:50 v/v) y DMSO. La cantidad de BVA liberada se determinó mediante espectrofotometría UV-vis a  $\lambda = 308$  nm.

La determinación de carbono se realizó a los fines de conocer el grado de inmovilización de las moléculas, en un equipo LECO CHN628 Series Elemental Determinators.

## Resultados

### Caracterización del precursor, SBA-15 y compuesto

Los resultados obtenidos de la caracterización de la BVA fueron:

Rendimiento: 75%. IR (KBr,  $\text{cm}^{-1}$ ): 3264,2 (OH); 1674,2 (C=O); 1587,4 ( $\text{C}=\text{C}_{\text{Ar}}$ ).  $^1\text{H}$  NMR (DMSO- $\text{d}_6$ , 300 MHz): 3,83 (s, 6H,  $\text{OCH}_3$ ); 7,36 (d, 2H,  $\text{C}_{\text{Ar}}\text{-H}$ ); 7,32 (d, 2H,  $\text{C}_{\text{Ar}}\text{-H}$ ) 9,71 (s, 2H, CHO).  $^{13}\text{C}$  NMR (DMSO- $\text{d}_6$ , 300 MHz): 192 (CHO); 148 (C-4); 129 (C-6); 128 (C-1); 125 (C-5); 110 (C-2). Las propiedades texturales de la SBA-15 y BVA-SBA se presentan en la Tabla 1. Como puede observarse la inclusión de BVA en SBA-15 solo reduce el área superficial, mientras que el diámetro medio del poro y el volumen del poro casi no se modificaron.

Tabla 1. Propiedades texturales de la SBA-15 y del compuesto BVA-SBA.

Material	Área específica ( $\text{m}^2/\text{g}$ )	Diámetro de poro promedio (Å)	Volumen de poro ( $\text{cm}^3/\text{g}$ )
SBA-15	420	83	0.77
BVA-SBA	387	89	0.78

La Figura 2 muestra las isotermas de adsorción-desorción de nitrógeno obtenidas para la SBA y BVA-SBA, las cuales permitieron determinar el área específica de los materiales. Como se puede observar las isotermas son tipo IV, características de materiales mesoporosos, según la clasificación IUPAC (Thommes et al. 2015). La Figura 3 muestra los espectros FTIR correspondientes a SBA, BVA y BVA-SBA. En el espectro de SBA se puede observar un pico cercano a  $1635 \text{ cm}^{-1}$ , la cual es asignada a vibraciones de flexión del agua absorbida. Las bandas de Si-O-Si aparecen como tres picos: un pico amplio y fuerte centrado a  $1084 \text{ cm}^{-1}$ , dos picos estrechos cerca de  $850$  y  $465 \text{ cm}^{-1}$ , asociados con la red de sílice condensada. Las señales que aparecen en los materiales sintetizados alrededor de  $3400 \text{ cm}^{-1}$  son atribuidas a estiramientos vibracionales de grupos -OH. Para explorar el compuesto BVA-SBA como precursor de sensores químicos se realizaron estudios de espectroscopia UV y de fluorescencia.

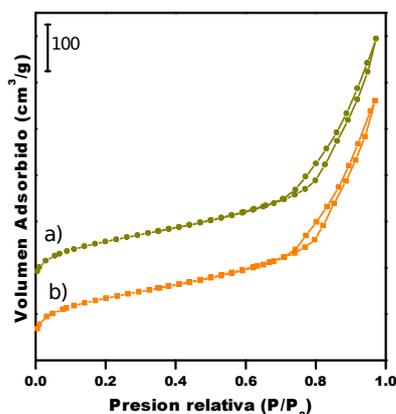


Fig. 2. Isotermas de adsorción-desorción de nitrógeno (a) SBA-15, (b) BVA-SBA.

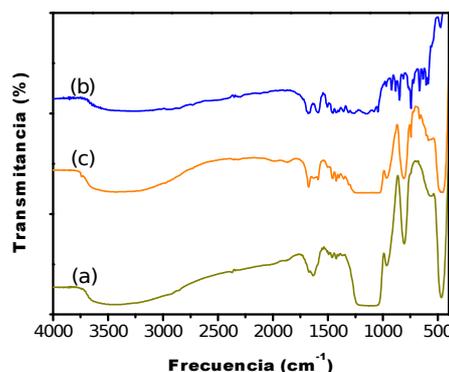


Fig. 3. Espectro IR de (a) SBA-15, (b) BVA y (c) BVA-SBA.

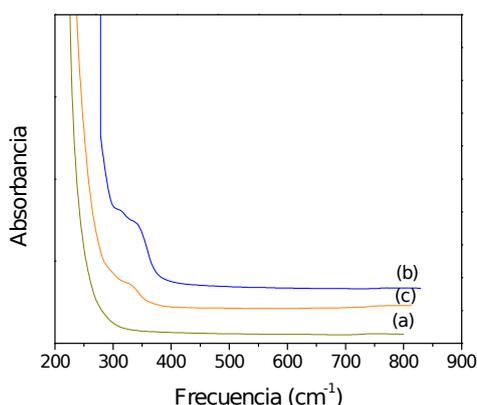


Fig. 4. Curvas de absorción UV obtenidas para (a) SBA, (b) BVA y (c) BVA-SBA.

La Figura 4 muestra los espectros de absorción. Como se puede observar la sílice mesoporosa SBA-15 no mostró absorbancia, mientras que, la de la BVA mostró absorbancia a  $\lambda = 308$  nm y la BVA-SBA lo hizo a  $\lambda = 320$  nm. En relación a los espectros de fluorescencia, la SBA-15 no mostró fluorescencia, mientras que BVA mostró una ligera banda de excitación a 601 nm (con banda de emisión fija a 400 nm). El compuesto de BVA-SBA dio una respuesta de fluorescencia a la misma banda de excitación que el precursor libre, siendo la intensidad del primero menor debido a la menor cantidad de BVA presente en el material final. Estos resultados indican que la interacción de la molécula de BVA con el material SBA sería de naturaleza electrostática (puentes de hidrógeno) entre los grupos OH de la sílice de la BVA, ya que no hay corrimientos sustanciales de las bandas características de BVA al anclarse sobre SBA.

En relación a pruebas de liberación de BVA, se realizaron en distintos solventes y a tiempos de 0,5 y 2,5 h. La cantidad de BVA liberada se determinó midiendo la absorbancia ( $\lambda = 290$  nm) luego de transcurrido el tiempo establecido. La Tabla 2 muestra los resultados obtenidos en diferentes medios ensayados. Se puede observar que medios acuosos no favorecen la liberación de BVA, mientras que si lo hacen medios orgánicos, siendo el DMSO el que mayor porcentaje de liberación produjo. Además se obtuvo mayor porcentaje de liberación al tiempo de 2,5 h.

Tabla 2. Resultado de liberación de BVA del composito BVA-SBA en diferentes medios.

Liberación de BVA (%)		
Medio líquido	0,5 h	2,5 h
Agua	2,67	4,85
Etanol:agua	5,31	6,87
DMSO:agua	15	70
DMSO	50	99

La cantidad de BVA anclada en la sílice mesoporosa se determinó mediante análisis de carbono. El resultado mostró que el contenido de BVA es del 7,070% p/p.

## Conclusiones

Se ha preparado un nuevo material híbrido mesoporoso BVA-SBA mediante un proceso asistido por microondas. La caracterización espectroscópica y propiedades superficiales confirmaron que la estructura ordenada de la SBA-15 puede mantenerse después de la inclusión de la molécula invitada de BVA. Se destaca además la propiedad de estos sistemas de posibilitar la activación de las moléculas incrustadas según el medio líquido en el que se suspenda. Estos hallazgos muestran la potencial aplicación que presentan estos materiales en el desarrollo de sensores químicos para la detección de cationes metálicos en diferentes medios.

## Referencias

- Akhter, H. et al., 2017. Fabrication of hydrazine sensor based on silica-coated  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  magnetic nanoparticles prepared by a rapid microwave irradiation method. *J. of Alloys and Comp.*, 698, pp.921–929.
- Araújo, J.D.P., Grande, C.A. and Rodrigues, A.E., 2010. Vanillin production from lignin oxidation in a batch reactor. *Chem. Eng. Res. and Des.*, 88, pp.1024–1032.
- Barret, E.P., Joyner, L.G., and Halenda, P.P., 1951. The Determination of Pore Volume and Area Distributions in Porous Substances. I. Computations from Nitrogen Isotherms. *T. Vol. and A. Dist. in Porous Sub.*, 73(1948), pp.373–380.
- Brunauer, S., Emmett, P.H. and Teller, E., 1938. Adsorption of Gases in Multimolecular Layers. *J. Am. Chem. Soc.*, 60, pp.309–319.
- Costero, A.M. et al., 2015. 5,5'-Bis-vanillin derivatives as discriminating sensors for trivalent cations. *Tetra. Letters*, 56 (26), pp.3988–3991.

- De La Rosa-Romo, L.M. et al., 2016. Flavone functionalized magnetic nanoparticles: A new fluorescent sensor for Cu<sup>2+</sup> ions with nanomolar detection limit. *Sens. and Act., B: Chem.*, 233, pp.459–468.
- Goscianska, J., Olejnik, A. and Nowak, I., 2017. APTES-functionalized mesoporous silica as a vehicle for antipyrine–adsorption and release studies. *Colloids and Surfaces A: Phy. and Eng. Asp.*, 533, pp.187–196.
- Kizzire, D.G. et al., 2017. Studies of the mechanical and extreme hydrothermal properties of periodic mesoporous silica and aluminosilica materials. *Microp. and Mesop. Mat.*, 252, pp.69–78.
- Li, L.L. et al., 2007. Optical sensors based on functionalized mesoporous silica SBA-15 for the detection of multianalytes (H<sup>+</sup> and Cu<sup>2+</sup>) in water. *J. of Mat. Chem.*, 17(42), pp.4492–4498.
- Thommes, M. et al., 2015. Physisorption of gases, with special reference to the evaluation of surface area and pore size distribution (IUPAC Technical Report). *Pure Appl. Chem.*
- Wang, A. et al., 2016. Synthesis of different-sized SBA-15 nanoparticles and their fluoride release performances from poly(methyl methacrylate) dental restorative resin. *New J. of Chem.*, 40, pp.9781–9787.
- Zabkova, M., Borges da Silva, E.A., and Rodrigues, A.E., 2007. Recovery of vanillin from Kraft lignin oxidation by ion-exchange with neutralization. *Sep. and Purif. Tec.*, 55, pp.56–68.



# CARACTERIZACIÓN Y SÍNTESIS DEL *BIS*-EUGENOL A PARTIR DEL EUGENOL OBTENIDO POR MÉTODOS CONVENCIONALES DE EXTRACCIÓN

P. Colombero<sup>(1)</sup>, M. Racca<sup>(1)</sup>, V. A. Guntero<sup>(1,2)</sup>, C. A. Ferretti<sup>(2,3)</sup>, M. N. Kneeteman<sup>(2)\*</sup>

(1) Productos Naturales, UTN Facultad Regional San Francisco. Av. de la Universidad 501, (2400) San Francisco, Córdoba, Argentina.

(2) IQAL (UNL-CONICET), Laboratorio Fester – QUÍMICA ORGÁNICA (FIQ). Santiago del Estero 2829, (3000), Santa Fe, Argentina.

(3) INCAPE (UNL-CONICET). Colectora Ruta Nac. 168, Km 0, Paraje El Pozo, (3000) Santa Fe, Argentina.

\*Email: mkneeteman@fiq.unl.edu.ar

## Resumen

En el presente trabajo se aplicaron las técnicas de destilación por arrastre de vapor, hidrodestilación y extracción Twisselman a la matriz clavo de olor, a los fines de obtener su correspondiente aceite esencial y aislar del mismo su componente mayoritario, el eugenol. Se compararon los diferentes métodos en relación al rendimiento de aceite esencial y rendimiento de eugenol. El producto obtenido se caracterizó mediante espectroscopia infrarroja, resonancia magnética nuclear y cromatografía gaseosa; y se utilizó como punto de partida para la síntesis del *bis*-eugenol.

## Introducción

*Eugenia caryophyllata* comúnmente conocido como clavo de olor, es un árbol de tamaño medio (8-12 m) de la familia Mirtaceae la cual se caracteriza por habitar en ambientes principalmente tropicales [1]. El clavo de olor representa una de las principales fuentes vegetales de compuestos fenólicos, siendo el eugenol el componente mayoritario, seguido por pequeñas cantidades de acetato de eugenilo y el terpenoide  $\beta$ -cariofileno [2, 3]. Posee propiedades importantes tales como agente antibacteriano, antifúngico, antiséptico, analgésico y antioxidante. Debido a esto se lo utiliza como conservante y saborizante en la industria alimenticia, pesticida, y en la industria farmacéutica [4].

Se conoce una gran cantidad de métodos de extracción convencionales, entre los que se pueden mencionar, destilación por arrastre de vapor (DAV), hidrodestilación (HD), extracción Soxhlet, Extracción Twisselman (ET), entre otros. Los parámetros de extracción tienen influencia sobre el proceso de extracción controlando el transporte de analitos desde la matriz hasta el fluido. En general, estos parámetros incluyen el disolvente de extracción, el volumen del disolvente, la temperatura, el tiempo, las presiones del sistema y las características de la matriz (incluido el pH, el contenido de agua y el contenido total de materia orgánica)[5].

En esta primera etapa de investigación se evaluaron diferentes alternativas para obtener el fitoquímico mayoritario del clavo de olor. Para este fin se utilizaron tres métodos de extracción convencionales: DAV, HD y ET. Al aceite esencial (AE) se le aplicaron técnicas de separación y purificación para aislar el fenol. Se tuvo como objetivo encontrar el mejor rendimiento de eugenol de manera que una vez aislado y caracterizado se lo utilizó como precursor para la síntesis de sistemas bifenílicos por medio de reacciones de acoplamiento radicalario. El objeto de esta

síntesis radica en su posterior funcionalización para que tales sistemas actúen como quimiosensores [6].

## **Materiales y métodos**

### *Materia vegetal*

Las muestras de clavo de olor se secaron en estufa a 40 °C hasta pesada constante. Se molieron en un mortero y almacenaron en bolsas de plástico protegidas de la luz. En los distintos métodos aplicados de extracción se utilizó la misma matriz vegetal.

### *Destilación por arrastre de vapor*

El equipo de destilación consistió en dos balones, uno donde se generó el vapor y el otro donde se colocó la muestra (30 g), un refrigerante, un tubo Florentino y un recipiente colector. Con una manta calefactora se procedió a calentar el agua contenida en el primer balón con el fin de generar vapor, que posteriormente entró en contacto con la muestra (dispuesta en el otro balón), arrastrando así los vapores hacia el refrigerante, donde fueron condensados y separados posteriormente en el tubo Florentino. De esta manera el aceite esencial del clavo de olor se recogió en un recipiente colector. El procedimiento se realizó a 2 h, 4 h y 6 h. La elección de estos tiempos se basó en un estudio previo, en el cual, se realizaron ensayos a tiempos menores de 2 h dando como resultados muy baja cantidad de AE, y lo mismo ocurría a tiempos mayores a 6 h al observar que no había más presencia de gotas oleosas en el refrigerante.

### *Hidrodestilación*

En esta técnica se usó la misma cantidad de matriz vegetal. A diferencia de la DAV, la muestra se colocó en un balón de 500 ml junto con agua. Este método también se realizó a 2 h, 4 h y 6 h, (tiempo determinado por estudios previos al igual que la DAV).

### *Separación del eugenol del AE*

A la mezcla (AE y agua) obtenida de la DAV y HD, se le realizó un procedimiento de extracción con diclorometano con objeto de pasar el eugenol a la fase orgánica. A la fase orgánica se le agregó hidróxido de sodio al 5 % de manera que la sal del eugenol se solubilizó en agua. Se lavó esta última fase con diclorometano, a los fines de eliminar todos los componentes orgánicos que pudieron haber quedado. A la fase acuosa se la trató con ácido clorhídrico al 10% para reconstituir el fenol, y se le agregó diclorometano para extraerlo. Posteriormente se lo secó con sulfato de sodio, se filtró y evaporó el solvente obteniendo como resultado el eugenol puro.

### *Extracción Twisselman*

En la ET se pesó 30 g de la materia vegetal, a los fines de que sean comparables los resultados con los otros métodos aplicados, empleando como solvente etanol (150 ml), el cual se colocó en el Erlenmeyer que luego fue calentado mediante una manta calefactora. Los vapores generados condensaron al entrar en contacto con el refrigerante, goteando a través de la muestra hacia el solvente en ebullición. Una vez alcanzado el tiempo de extracción, el solvente se recuperó cerrando la llave de paso ubicada entre el recipiente que contiene la muestra y el condensador.

Este método también se realizó a 2 h, 4 h y 6 h, (tiempo determinado por estudios previos al igual que la DAV).

El rendimiento de AE para cada uno de los métodos se calculó mediante la Ecuación (1). Para este cálculo se tuvo en cuenta la masa de AE obtenida y la cantidad de clavo de olor utilizada.

$$\text{Rendimiento de AE (\%)} = \frac{\text{masa de AE (g)}}{\text{masa de clavo de olor (g)}} \times 100 \% \quad (1)$$

Sin embargo, un alto rendimiento de AE no asegura un mayor contenido de eugenol. Por ello se realizó posteriormente un análisis de cromatografía gaseosa (GC), de manera de caracterizar el AE y determinar el rendimiento de eugenol.

### Cromatografía Gaseosa

El AE se analizó mediante un cromatógrafo de gases Perkin Elmer Autosystem XL equipado con FID y megabore (di: 0,53 mm) PE-5% (5% fenilmetilpolisiloxano), longitud: 30 m; film: 0,5  $\mu\text{m}$ , temp. límite: 300 °C. La temperatura del horno fue programada de 80 ° a 230 °C a razón de 6 °C/min. El gas carrier usado fue nitrógeno ajustado a una velocidad de 24 ml/min. Se prepararon soluciones de las muestras en etanol. Se usó como estándar interno el salicilato de metilo. El análisis cuantitativo se realizó a través de una recta de calibrado (Ecuación 2).

$$\frac{\text{área de E (mV)}}{\text{área de MS (mV)}} = 46,191 \frac{\text{concentración de E } (\frac{\text{g}}{\text{l}})}{\text{concentración de MS } (\frac{\text{g}}{\text{l}})} + 0,415 \quad (2)$$

Con los datos obtenidos de las extracciones, se calculó el rendimiento de eugenol como se muestra en la Ecuación 3. Este indica la masa de eugenol presente en el AE.

$$\text{Rendimiento de Eugenol (\%)} = \frac{\text{masa de eugenol (g)}}{\text{masa de AE (g)}} \times 100 \% \quad 3$$

### Síntesis del bis-eugenol(5,5'-dialil-3,3'-dimetoxi-(1,1'-difenil)-2,2'-diol)

La síntesis del bis-eugenol (**2**) se realizó siguiendo la técnica de (Farias Dias, 1988), tal como se muestra en el Figura 1. Se disolvió eugenol (**1**) (18 mmol) en 60 mL de acetona y 30 mL de agua destilada. Se agregó 40 mL de hidróxido de amonio al 28 %, agitando la mezcla durante 10 min hasta desarrollo de color verde. A esta mezcla se le agregó gota a gota, durante 5 h, una solución saturada de ferricianuro de potasio. Transcurrido este tiempo, se le agregó 40 mL de hidróxido de amonio al 28 %, se dejó la reacción a reflujo durante 12 h y con agitación. La reacción se neutralizó con ácido clorhídrico al 10 %. El sólido obtenido se filtró, se lavó con agua y se secó. Se realizó una recristalización con etanol absoluto para purificar el producto.

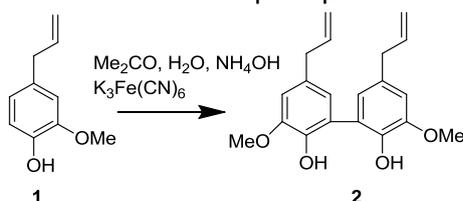


Figura 1. Vía sintética utilizada para la preparación de BEG.

El seguimiento de las reacciones se llevó a cabo por cromatografía en capa delgada (TLC). Las

determinaciones por TLC se efectuaron con placas de sílica gel UV 254 nm y placas de alúmina UV 254 nm. Fueron reveladas con lámpara UV y con solución acuosa de permanganato de potasio.

### *Caracterización del eugenol y BEG*

Tanto el eugenol como el BEG se caracterizaron mediante espectroscopia infrarroja (FTIR) y resonancia magnética nuclear (RMN). Para lo cual se utilizó un espectrofotómetro FTIR Prestige-21 Shimadzu. El eugenol se preparó en tetracloruro de carbono, y en el caso del BEG, la pastilla se realizó con KBr (Aldrich, grado FTIR). Los espectros de RMN fueron llevados a cabo en un equipo Bruker 300 empleando acetona y cloroformo deuterados como solventes.

## **Resultados**

### *Destilación por arrastre de vapor*

La Tabla 1 muestra los rendimientos de AE y eugenol obtenidos por DAV. Se puede observar que el rendimiento de AE fue máximo en un tiempo de 4 h, mientras que el rendimiento de eugenol máximo se obtuvo a las 6 h siendo este último de 49,15 %.

Tabla 1. Rendimientos obtenidos por DAV

Tiempo (h)	Rendimiento AE (%)	Rendimiento eugenol (%)
2	7,81	6,74
4	<b>8,66</b>	8,75
6	7,99	<b>49,15</b>

### *Hidrodestilación*

En la Tabla 2 se observan los rendimientos de AE y eugenol obtenidos por hidrodestilación a diferentes tiempos. En ambos casos los rendimientos máximos se obtuvieron a las 6 h, siendo el del eugenol de 35,54 %.

Tabla 2. Rendimientos obtenidos por HD

Tiempo (h)	Rendimiento AE (%)	Rendimiento eugenol (%)
2	0,50	8,01
4	1,24	17,68
6	<b>2,39</b>	<b>35,54</b>

### *Extracción Twisselman*

En la Tabla 3 se puede observar que el rendimiento de eugenol fue máximo a las 4 h, siendo este de 10,92 %.

Tabla 3. Rendimientos obtenidos por ET

Tiempo (h)	Rendimiento AE (%)	Rendimiento eugenol (%)
2	32,89	3,42
4	36,57	<b>10,92</b>
6	<b>41,60</b>	4,65

### Comparación de los métodos de extracción

La selección del método de extracción se basó en el análisis de los rendimientos de eugenol obtenidos y el costo e impacto ambiental. De los resultados presentados en las Tablas 1, 2 y 3 se observa que el mayor rendimiento se alcanza a las 6 h del proceso de DAV, siendo éste de 49,15%, y el elegido para la etapa siguiente de investigación. La HD también alcanza su máximo rendimiento a las 6 h, pero es inferior al de DAV. En ambos casos los extractos presentaron una coloración amarillenta y un olor característico a eugenol. Los extractos obtenidos por ET fueron marrones, lo cual indica la presencia de impurezas como consecuencia de la degradación térmica. El bajo resultado obtenido por este último método se explica porque el solvente utilizado puede causar hidrólisis y oxidación del compuesto de interés [7]. Esta observación junto con el bajo rendimiento de eugenol llevó a la decisión de descartar este procedimiento.

### Cromatografía Gaseosa

Cualitativamente se puede observar en el cromatograma (Figura 2) la presencia de un pico predominante a un tiempo de retención de 18,6 min correspondiente al eugenol (E), a los 12,8 min se encuentra el pico del salicilato de metilo (MS), a los 20 min el del cariofileno (C) y a los 21,9 min el del acetato de eugenilo (EA).

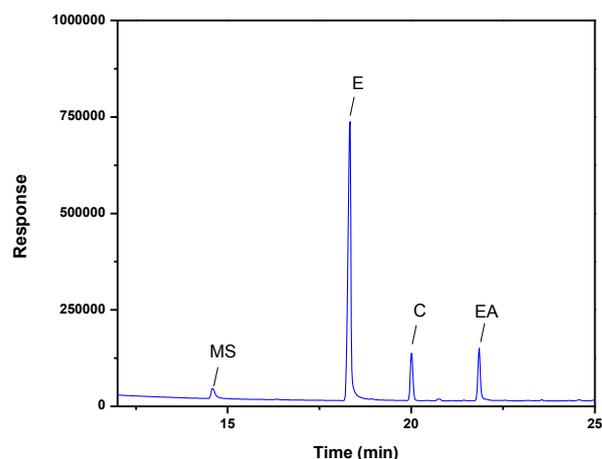


Figure 2. Cromatograma (GC) del AE de clavo de olor obtenido por DAV durante 6 h

### Caracterización del eugenol

En la figura 3, se muestra el FTIR del eugenol preparado en tetracloruro de carbono.

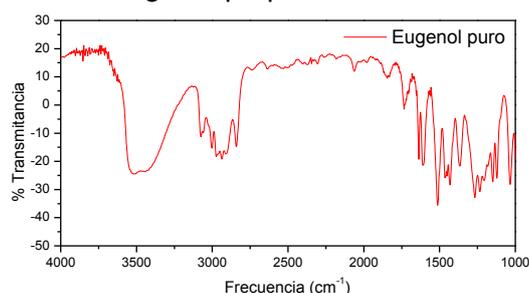


Figura 3. Espectro FTIR del eugenol

Los resultados de FTIR y RMN se detallan a continuación:

IR  $\nu_{\text{máx.}}$  ( $\text{cm}^{-1}$ ): 3500 (OH); 2885 (=CH); 2880 ( $-\text{CH}_2-$ ); 2850 ( $-\text{OCH}_3$ ); 1640 (C=C); 1590 ( $\text{C}=\text{C}_{\text{Ar}}$ ); 1470 ( $\text{C}=\text{C}_{\text{Ar}}$ ); 1370 ( $\text{C}=\text{C}_{\text{Ar}}$ ).

$^1\text{H}$  RMN (300 MHz, Acetona- $\text{d}_6$ ): 3,31 (d, 2H,  $\text{CH}_2$ ); 3,83 (s, 3H,  $\text{OCH}_3$ ); 5,02 (d, 1H,  $\text{HC}=\text{C}$ ); 5,10 (d, 1H,  $\text{HC}=\text{C}$ ); 5,97 (m, 1H,  $\text{HC}=\text{C}$ ); 6,66 (s, 1H<sub>Ar</sub>); 6,67 (d, 1H<sub>Ar</sub>); 6,79 (d, 1H<sub>Ar</sub>).

### Caracterización del bis-eugenol

Este producto se obtuvo con muy buen rendimiento, (90 %), siendo el punto de fusión de 110 °C. Los resultados del FTIR y RMN se detallan a continuación:

IR (KBr)  $\nu_{\text{máx.}}$  ( $\text{cm}^{-1}$ ): 3530 (OH); 2885 (=CH); 2880 ( $-\text{CH}_2-$ ); 2850 ( $-\text{OCH}_3$ ); 1665 (C=C); 1620 ( $\text{C}=\text{C}_{\text{Ar}}$ ); 1470 ( $\text{C}=\text{C}_{\text{Ar}}$ ); 1370 ( $\text{C}=\text{C}_{\text{Ar}}$ ).

$^1\text{H}$  RMN (Acetona-d, 300 MHz)  $\delta$ (ppm): 7,18 (s, 2H,  $\text{C}_{\text{Ar}}\text{-H}$ ); 6,76 (s, 1H,  $\text{C}_{\text{Ar}}\text{-H}$ ); 6,73 (s, 1H,  $\text{C}_{\text{Ar}}\text{-H}$ ); 6,01 (m, 2H, HC); 5,07 (d, 2H,  $\text{HC}=\text{C}$ ); 5,02 (s, 2H,  $\text{HC}=\text{C}$ ); 3,88 (s, 6H,  $\text{CH}_3$ ); 3,34 (d, 4H,  $\text{CH}_2$ ).

$^{13}\text{C}$  RMN (Acetona-d, 300 MHz)  $\delta$ (ppm): 148 (C-5, C-5'); 142 (C-4, C-4'); 137 (C-8, C-8'); 131 (C-1, C-1'); 125 (C-3, C-3'); 123 (C-2, C-2'); 115 (C-9, C-9'); 110 (C6-C6'); 56 (2- $\text{OCH}_3$ ); 40 (C-7, C-7').

### Conclusiones

Se aplicaron distintos métodos de extracción al clavo de olor de manera de obtener en primera instancia su correspondiente AE, y luego aislar del mismo el eugenol. De los resultados analizados referidos al rendimiento de eugenol, se seleccionó el procedimiento que daba un mayor contenido, y el cual fue la DAV, ya que este se utilizará para la síntesis del BEG. Se obtuvo satisfactoriamente el producto bifenilo buscado a través de una reacción de acoplamiento radicalario. Se prevee continuar en la próxima etapa de investigación con transformaciones químicas del doble enlace, de manera de funcionalizarlos y que dicho sistema sea capaz de complejar iones, actuando así como sensores químicos.

### Referencias

- [1] A. E. Aguilar-González, and A. López-Malo, "Extractos y aceite esencial del clavo de olor (*Syzygium aromaticum*) y su potencial aplicación como agentes antimicrobianos en alimentos," *Temas Sel. Ing. los Aliment.*, 7 (2), 35–41, 2013.
- [2] G. Wenqiang, L. Shufen, Y. Ruixiang, T. Shaokun, and Q. Can, "Comparison of essential oils of clove buds extracted with supercritical carbon dioxide and other three traditional extraction methods," *Food Chem.*, 101, 1558–1564, 2007.
- [3] S. Bajkacz, and J. Adamek, "Evaluation of new natural deep eutectic solvents for the extraction of isoflavones from soy products," *Talanta*, 168, 329–335, 2017.
- [4] N. Nurdjannah, and N. Bermawie, "Cloves," *Handb. Herbs Spices*, 197–215, 2012.
- [5] W. Wang, B. Meng, X. Lu, Y. Liu, and S. Tao, "Extraction of polycyclic aromatic hydrocarbons and organochlorine pesticides from soils: A comparison between Soxhlet extraction, microwave-assisted extraction and accelerated solvent extraction techniques," *Anal. Chim. Acta*, 2, 211–222, 2007.
- [6] A. M. Costero, S. Gil, M. Parra, P. M. E. Mancini, M. N. Kneeteman, and M. I. Quindt, "5, 5' - Bis-vanillin derivatives as discriminating sensors for trivalent cations," *Tetrahedron Lett.*, 56(26), 3988–3991, 2015.
- [7] T. W. Caldas, K. E. L. Mazza, A. S. C. Teles, G. N. Mattos, A. I. S. Brígida, C. A. Conte-Junior, R. G. Borguini, and R. L. O. Godoy, "Phenolic compounds recovery from grape skin using conventional and non-conventional extraction methods," *Ind. Crop. Prod.*, 111, 86–91, 2018.

## ESPECIFICACIÓN DE CELDAS DE COMBUSTIBLE (FUEL CELL) PARA GENERACIÓN DISTRIBUÍDA

Viviana A. Venturino (1); Santiago Cabrera (1); Julián Itzcovich (1); Guillermo A. Rastelli (1)  
1 Grupo Hidrógeno Concordia (G.H.C)  
Facultad Regional Concordia – Universidad Tecnológica Nacional (UTN – FRCon)  
Concordia - CP: E3200EKE - Salta 277 - Tel. 0345-4214590 –  
e-mail: hidrogeno@frcon.utn.edu.ar

### Resumen

La generación distribuida (GD) de energía eléctrica de origen renovable es de carácter intermitente y en muchos casos poco predecible, produce inestabilidad en los sistemas de distribución de energía eléctrica; este trabajo se basa en el análisis, caracterización, de celdas de combustible (FC), en particular en las de alta temperatura, celdas de carbonatos fundidos (MCFC), de intercambio protónico de alta temperatura (HI-PEMFC), de óxido sólido (SOFC) y celdas reversibles (RSOFC), aptas para conexión a la red, puntualizando el estudio sobre la dinámica de funcionamiento, a saber, evaluación de los tiempos de puesta en marcha/parada (start-up/shut-down) y nominal, ya que el objetivo es detectar cuáles de éstas son capaces de convertirse en activos del sistema, es decir, la posibilidad de realizar parte del gerenciamiento, junto a la electrónica de potencia, ya sea por aplanamiento de la curva de carga diaria, regulando tensión o calidad de suministro. Como sistema almacenamiento de electricidad, elemento clave en sistema con penetración de GD, se plantea el concepto de Power-to-Gas, es decir hidrógeno electrolítico de origen renovable inyectado a la red de gas natural comprimido (GNC). Se concluye que las RSOFC son las más factibles, por versatilidad de operación y calidad de combustible.

**Palabras Claves:** Fuel Cell, generación distribuida, Power-to-Gas, gerenciamiento de sistemas eléctricos.

### Introducción

En los últimos meses se han suscitado en nuestro país, fuertes cambios en materia energía, que inciden directamente sobre el sistema energético nacional, por la incorporación dentro de la matriz, a la generación de origen renovable. Con lo cual, esta participación como generadores dentro del mercado eléctrico mayorista (MEM), ha requerido modificaciones en el sistema, desde el punto de vista técnico, adecuación de la arquitectura de las redes de transmisión y distribución, por ende, cambios de topología e infraestructura, reformulación sobre el área de operación & despacho (O&D); como así también en que respecta a lo económico, donde la comercialización de energía viene con la componente de nuevos agentes, de origen renovable, originando valores o precios de energía con la utilización de nuevas variables adicionales conformantes de los mismos.

Desde el punto de vista técnico, la necesidad de estabilidad del sistema, requiere de la implementación de equipamiento específico, ya sea para control de tensión, de frecuencia, o aplanamiento de carga; para lo que, los sistemas de almacenamiento de energía eléctrica tienen un importante rol, pues ellos presentan capacidad de inyección de energía (activa/reactiva) en tiempos muy reducidos.

Estos dispositivos electroquímicos, celdas de combustible (Fuel Cells), capaces de inyectar o volcar a la red (de transmisión o distribución) la energía almacenada en forma de hidrógeno y reconvertida en energía eléctrica, son la clave para incrementar la penetración de generación de origen renovable, tanto a nivel de transporte, por medio de granjas solares y eólicas, como de distribución, en la cual además, se prevé a corto plazo la participación de los usuarios activos o “prosumidores”, conforme a la Ley 27424 Régimen de Fomento a la Generación Distribuida de Energía Renovable Integrada a la Red Eléctrica Pública, no reglamentada hasta la fecha <sup>[1]</sup>.

Puntualmente en nuestra región, donde ya se ha evaluado el potencial disponible para generación de hidrógeno electrolítico y la tecnología óptima de electrolizadores <sup>[2]</sup>, tanto para operación a potencia constante, como a potencia variable y/o intermitente, que sería el caso de la generación

fotovoltaica, dando de esta forma, un aprovechamiento a los dos recursos renovables disponibles a escala regional, la utilización de Fuel Cells (FC) para aplanamiento de la curva de carga de la red de distribución de energía eléctrica, con la generación electrolítica de hidrógeno de origen fotovoltaico, y vinculada a la red de distribución de gas natural comprimido (GNC) existente, como sistema de almacenamiento, concepto de “Power-to-Gas” (P2G), sería factible ya que ambas topologías de redes (gas y electricidad) ofrecen una coincidencia geográfica con la locación propuesta para la granja solar fotovoltaica. La implementación de P2G reduciría los costos sobre el producto final, al restar los costos de infraestructura del sistema de almacenamiento, diseño, operación y mantenimiento de tanques contenedores y compresores; costos que son agregados al producto final restándole rentabilidad al mismo. Otro beneficio de este concepto, es la disposición permanente de hidrógeno para reconversión por medio de FC y ser inyectada a la red eléctrica en cualquier banda horaria, es decir según el requerimiento de la red eléctrica. Sumado a lo anterior está el hecho de los nuevos desarrollos tecnológicos sobre la tecnología de electrolizadores alcalinos (AEL), los cuales pueden operar a un 5% <sup>[3]</sup> de su potencia nominal, lo que implica un incremento de capacidad de generación por unidad y un mayor rango de potencia útil, generación de origen renovable. Lo que sugiere una flexibilidad del sistema híbrido, generación electrolítica-reconversión-inyección a la red, que permitiría formar parte de los activos de red para gerenciamiento del sistema.

En los últimos años el interés por las celdas de óxido sólido SOFC <sup>[4]</sup> ha crecido notoriamente y por ende los avances tecnológicos, desde arquitectura de stack (agrupamiento y conexión serie o paralelo de monoceldas, conformadas por los electrodos y el electrolito) y tratamientos superficiales sobre los electrodos hasta sistemas de control y operación. Éstas, son muy versátiles en cuanto al consumo de combustible, es decir que puede funcionar con gas hidrógeno, biometano (provenientes de biodigestores), metano sintético (a partir del proceso de metanación del CO<sub>2</sub>) y gas natural de red; las convierten en promisorios elementos “activos” de la red de energía, por estabilidad <sup>[5]</sup> y calidad de servicio, ya sea por aplanamiento de la curva diaria de carga o por compensación de tensión <sup>[6]</sup>. El diseño de stack puede ser plano o tubular como se muestra en la Fig1, y micro-tubular en el orden de las decenas de W, mientras que las primeras están en un rango de los kW a MW, para aplicaciones industriales, residenciales y/o en micro-redes. La tecnología de ánodo soportado para el diseño plano, es la más madura hasta la fecha, por ser económicamente viable, es decir menores costos de fabricación con respecto a las tubulares <sup>[7]</sup>, diseño dirigido a la fabricación de unidades-cogeneración para usuarios residenciales.

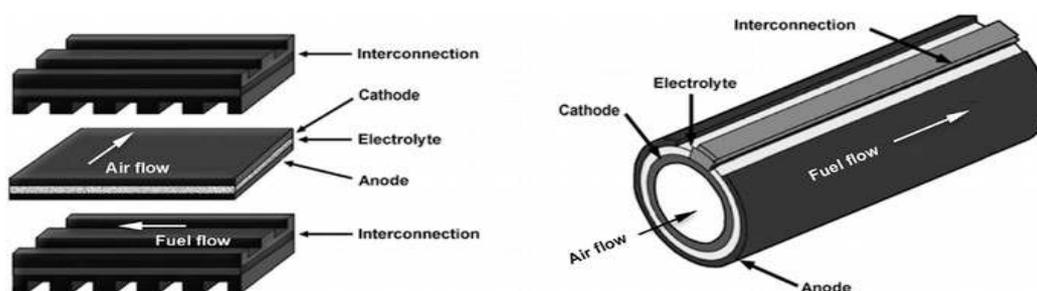


Fig. 1- Diseño Plano (izq) y diseño tubular (der) de SOFC <sup>[\*]</sup>

\* Metallic interconnects for solid oxide fuel cell: A review on protective coating and deposition techniques

Ambas arquitecturas de stack SOFC pueden ser mejoradas u optimizadas con la implementación de microestructuras, donde modificaciones en el diseño, como son las relaciones de fracción de peso, fracción vacía, relación tamaño de partícula, tamaño de partícula y densidad, son parámetros a considerar en las tubulares; y para el caso de las planas, las distribuciones y tamaños de partículas sobre los electrodos que inciden sobre la densidad de corriente y voltaje de salida. Así de este modo, los electrodos mejorados con YSZ (Zirconia estabilizada con itria) pueden operar con temperaturas de entre 500°C-600°C, lo cual favorece a las condiciones de operación y puede dar lugar a la utilización de interconexiones metálicas <sup>[8]</sup>.

Las celdas de carbonatos fundidos (MCFC), Fig.2 al igual que otras celdas de alta temperatura, operación entre 600°C y 700°C, han despertado actualmente gran interés por la posibilidad de cogeneración, elevando el rendimiento global por encima del 80%. También por la versatilidad del combustible a utilizar, que en este caso el consumo de hidrógeno a través del reformado de gas metano o gases de combustión de una planta termoeléctrica. A su vez, el reformado puede ser directo, dentro del stack, o indirecto, fuera del stack, que al no formar parte de la configuración de la celda y habría que considerar las instalaciones adicionales para reformado de gases, con el consecuente aumento del balance de planta (BoP) [9], afectando directamente la eficiencia total del sistema. A consecuencia, es muy promisoría la posibilidad de que estas celdas formen parte de los activos del sistema, por generación de electricidad y para captura de CO<sub>2</sub>, de acuerdo a su electroquímica de reacciones, su estabilidad, confiabilidad y muy bajas emisiones nocivas al medio ambiente. La Fig. 3, muestra los dos sistemas para captura de CO<sub>2</sub> de las MCFC.

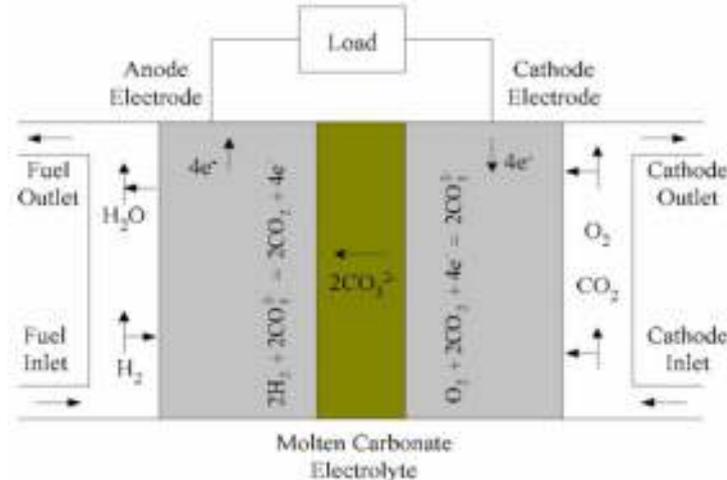


Fig.2- Esquema de reacciones de MCFC [1]  
 \* Distributed Generation Applications of Fuel Cells

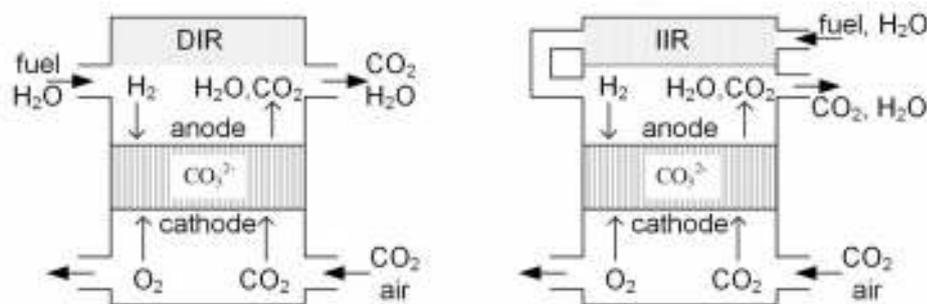


Fig.3-. MCFC con reformador interno directo (DIR) e indirecto (IIR) [\*]  
 \*Modeling and characterization of molten carbonate fuel cell for electricity generation and carbon dioxide capture

La utilización de las celdas de membrana de intercambio protónico, convencionales o de bajas temperaturas de trabajo LT-PEMFC, por debajo de los 100° C, en las redes eléctricas, se focaliza sobre el abastecimiento de los servicios auxiliares, ya que aún hoy en día los costos de fabricación son elevados, debido a la utilización del Pt como catalizador, indispensable para iniciar la cinética de reacciones a baja temperatura. La comercialización de las mismas ronda en pocas unidades del orden de los kW, por ello su utilización es en sistemas móviles (autos, aviones) o portátiles; en cuanto al consumo de combustible, requieren hidrógeno de alta pureza, que solo la vía de generación por electrólisis del agua provee; un elevado porcentaje de impureza, carbono por ejemplo, causaría lo que se denomina “envenenamiento” con la consecuente degradación de la celda. Otra característica importante, es la hidratación constante de la membrana (Nafion) para mantener la conductividad protónica y preservar sus propiedades mecánicas, una deshidratación provocaría la destrucción de la misma.

Las de alta temperatura HT-PEM <sup>[10]</sup> de hasta 200 ° C, han despertado gran interés dentro del ámbito de sistemas de energía, ya que sus altas temperaturas posibilitan la combinación de la energía térmica con generación de energía convencional, cogeneración. Las membranas, polímeros ácido-base PBI (polibenzimidazol) de elevada conductividad protónica a elevadas temperaturas, uso de Fe y Co como catalizador, las hacen más económicas con respecto a las LT-PEM.

Los problemas del lixiviado ácido proveniente del dopaje de la membrana, ácido fosfórico como catalizador, es uno de los problemas actualmente en estudio. Para ello se han desarrollado estrategias de gerenciamiento de la operación, que básicamente apunta al control de ciclo de temperatura en la puesta en marcha (Start Up), particularmente en lo que se refiere a la carga rápida como la de los autos eléctricos, control de lixiviado y control de refrigeración, en el lado de oxígeno. Ya que éstas presentan variaciones de temperaturas presión-diferencial marcadamente diferente sobre los tres regímenes de operación <sup>[11]</sup>, start-up, normal-nominal y shut-down (parada). Aunque las altas temperaturas de trabajo aumentan la tolerancia de las impurezas del combustible, impidiendo la absorción del CO y el consecuente envenenamiento de la membrana, da como resultado una flexibilidad sobre el combustible a utilizar, hidrógeno no electrolítico o de otra vía, es decir combustible con un grado más alto de impurezas.

## Objetivos

Identificar la tecnología de celdas de combustibles más apropiada, desde el punto de vista técnico, de operación y mantenimiento, seguridad e impacto ambiental, para la conexión a la red de distribución eléctrica de media tensión.

## Metodología

Se plantea el análisis de comportamiento por conexión a la red de distribución, de las tres celdas de celdas propuestas, tanto del lado de la celda como del sistema de distribución.

Las SOFC interconectadas a la red de distribución frente a un cortocircuito monofásico o de utilidad de prosumidores o uso residencial, no presentan variabilidad en su operación ni se ve afectada la vida útil, por deterioro de sus componentes; aun considerando las características dinámicas propias del transitorio, elevada corriente en un corto tiempo, lo que implica elevación de temperatura localizada si el transitorio durase un tiempo prolongado. Por tal motivo las protecciones simples estándar serían suficientes. Para el caso de cortocircuito trifásico, en donde la cresta de corriente es mayor, se presentan fenómenos adicionales, variación en la presión de funcionamiento, por lo que se deberán adicionar protecciones de presión para evitar el deterioro de la unidad <sup>[12]</sup>. Se han propuesto análisis de estrategias de control que han dado resultados satisfactorios, como son las de estimación de estado dinámico de corriente dual de retroalimentación, que utilizan las señales eléctricas para control químico, para mantener estables las tensiones de salida de las celdas durante una falla eléctrica en el sistema, ya que este control es capaz de mantener estable las presiones parciales de los gases de reacción y de esta manera proteger la membrana, del lado de la celda y STATCOM del lado del sistema para disminuir las fluctuaciones provocadas por la falla <sup>[13]</sup>.

Es decir se tiene en cuenta que el impacto de la interconexión de las mismas sobre una red radial de distribución, ya sea por aplicación en generación distribuida (GD), prosumidores aislados o en micro-redes, depende de la elección de los sistemas de control sobre la interfaz inversores/convertidores DC/AC <sup>[14]</sup>. La elevada temperatura de trabajo de alrededor de los 800° C y las reacciones exotérmicas, posibilitan el aprovechamiento de energía térmica en combinación con generación de energía eléctrica convencional, cogeneración, aumentando el rendimiento global del sistema hasta un 75%, dependiendo del sistema (turbina de gas, vapor o nuclear), considerando que el rendimiento de la unidad es del orden del 50%.

Recientemente se han realizado estudios sobre equipos reversibles de SOFC/SOEC, es decir, que pueden trabajar tanto como celdas de combustible o como generadores de hidrógeno, respectivamente; dando un aumento de la eficiencia <sup>[15]</sup> del sistema integral de conversión de electricidad; funcionamiento que además, incrementa la durabilidad del equipo <sup>[16]</sup>. Poseen una

variabilidad de carga que va desde - 100 hasta + 100 % de la nominal <sup>[17]</sup> para la puesta en marcha, que para el caso de AEL es del 20% por encima de la nominal y para el PEMEL (electrolizador de membrana de intercambio protónico) el rango va de 0 -100%. Estos últimos, son sistemas muy dinámicos que pueden variar su carga en cuestión de segundos, los que los convierte en equipos capaces de seguir la dinámica de la red, con cual podrían llegar a regular carga-frecuencia.

Las HT-PEMFC, en donde las reacciones se llevan a cabo a altas temperaturas o temperaturas intermedias dentro de un rango de 80°C a 120 °C, presentan velocidades de puesta en marcha del orden de horas, aproximadamente 6 hs, aunque con las estrategias de control de temperatura de arranque y precalentamiento del combustible, se hayan reducido a minutos, a riesgo de deterioro de la membrana, lixiviados ácidos, caída de presión en los canales y formaciones de mezclas explosivas. Estos son algunos de los impedimentos para su comercialización a escala, por lo que su utilización está dirigido a sistemas aislados no vinculados a la red eléctrica, no así las LT-PEMFC, donde los tiempos start-up del orden de segundos <sup>[18]</sup>

Las MCFC, desde el punto de vista de conexión a la red eléctrica <sup>[19]</sup>, poseen una cinética de reacciones químicas lentas por lo que no pueden dar respuesta a las variaciones de carga y con ello, también fluctúan los voltajes de salida, y la velocidad de precalentamiento es lenta; por lo tanto son equipos rígidos e incapaces de seguir a los transitorios presentes en una falla de la red, por ende su utilización, es más común como UPS o usuarios residenciales o micro-redes, pues está fuera de los estándares de tiempo de operación de redes eléctricas que son del orden de los milisegundos. En la Fig.4, se muestra las horas dispensadas arranque/parada, a pesar de que en la figura se ven reducidas y que la operación se da en “frío” o a baja temperatura, caso correspondiente al diseño tubular y no plano, que es más comercializado hasta la fecha.

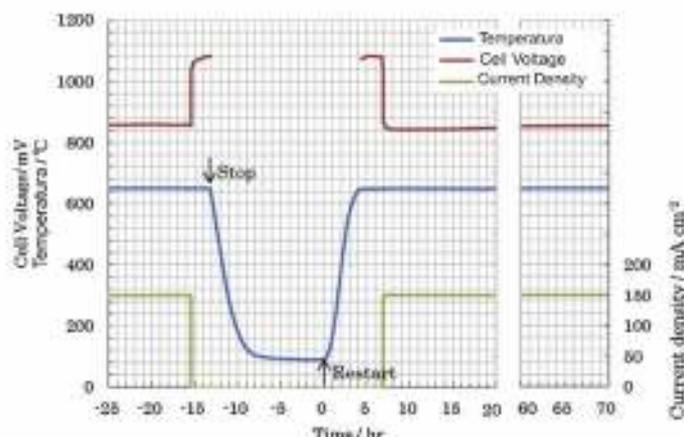


Fig. 4. Característica de voltaje de celda tubular (modificado de\*)

\*Manufacturing method for tubular molten carbonate fuel Cells and basic cell performance

## Conclusiones

Desde el punto de vista de sistemas eléctricos, gerenciamiento de redes, las SOFC trabajando en modo reversible, SOE/SOFC son las que ofrecen las mejores perspectivas a futuro; el SOE por ejemplo, tiene ventajas sobre los AEL tecnología muy madura y ampliamente comercializada, presenta un aumento de eficiencia en la producción de hidrógeno, de gas de síntesis a través de la co-electrólisis, a la vez de que dicha operación (modo reversible) aumenta la vida útil de la unidad. La vinculación de éstas a la red eléctrica de distribución sería factible, considerando los cortos tiempos de arranque /parada, en el orden de minutos, y el amplio rango de carga +/- 100% de la nominal, si se implementasen estrategias adecuadas de control y ciclos optimizados en la operación y así contribuir a la estabilidad del sistema. Actualmente en marcha, el proyecto GrInHy (Green Industrial Hydrogen via reversible high-temperature electrolysis) de Sunfire GmbH <sup>[20]</sup>, en el contexto de Horizonte 2020 de la Unión Europea, pone en funcionamiento el modelo 150/30 RSOC Generator, módulo de 150 kW<sub>ELEC</sub> para generación de 40 Nm<sup>3</sup>/h de hidrógeno (módulos que pueden llegar a acoplarse y alcanzar los MW) y 30 kW<sub>AC</sub> de potencia de salida en el modo celda de combustible, como medio de estabilización de la red.

## Bibliografía

- [1] <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/305000-309999/305179/norma.htm>
- [2] Viviana A. Venturino, María Verónica Lare, Facundo Gras Lovatto; Caracterización de electrolizadores; CyTAL 2016; Córdoba, Argentina.
- [3] B. Gillissen, H.U. Heinrichs, P. Stenzel, J. Linssen; Hybridization strategies of power-to-gas systems and battery storage using renewable energy; International Journal of hydrogen energy; Vol. 42; 2017
- [4] Xiongwen Zhanga, S.H. Chan, Guojun Li, H.K. Ho, Jun Li, Zhenping Fenga; A review of integration strategies for solid oxide fuel cells; Journal of Power Sources; Vol. 195 ;2010.
- [5] Juan Carlos Bolcich; Hidrógeno y Energías Renovables. Antecedentes y Perspectivas en Argentina, conferencia "Hidrógeno como vector energético y almacenamiento de energías renovables"; Buenos Aires; 2017.
- [6] Sangeeta Das, Debapriya Das, Amit Patra; Operation of Solid Oxide Fuel Cell based Distributed Generation; Energy Procedia; Vol. 54; 2014.
- [7] J. Molenda , J. Kupecki , R. Baron, M. Blesznowski , G. Brus ; Status report on high temperature fuel cells in Poland e Recent advances and achievements; International Journal of hydrogen energy; Vol. 42; 2017
- [8] F. Ramadhania, M.A. Hussaina, H. Mokhlisb, S. Hajimolanad; Optimization strategies for Solid Oxide Fuel Cell (SOFC) application: A literature survey; Renewable and Sustainable Energy Reviews; Vol. 76; 2017.
- [9] Control Strategy of 600kW E-BOP for Molten Carbonate Fuel Cell Generation System;
- [10] R.E. Rosli, A.B. Sulong, W.R.W. Daud, M.A. Zulkifley, T. Husaini, M.I. Rosli, E.H. Majlan, M.A. Haque; A review of high-temperature proton exchange membrane fuel cell (HT-PEMFC) systems review; International Journal of hydrogen energy; Vol. 42; 2017.
- [11] Amrit Chandan, Mariska Hattenberger, Ahmad El-kharouf, Shangfeng Du, Aman Dhir, Valerie Self, Bruno G. Pollet, Andrew Ingram, Waldemar Bujalski, High temperature (HT) polymer electrolyte membrane fuel cells (PEMFC)- A review; Journal of Power Sources; Vol. 231; 2013.
- [12] Emma M. Stewart, Member, IEEE, R. Tumilty, John Fletcher, Andrew Lutz, G. Ault, and Jim McDonald; Analysis of a Distributed Grid-Connected Fuel Cell During Fault Conditions; IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 25, 2010.
- [13] Shenglong Yu, Tyrone Fernando, Tat Kei Chau, Herbert Ho-Ching lu; Voltage Control Strategies for Solid Oxide Fuel Cell Energy System Connected to Complex Power Grids Using Dynamic State Estimation and STATCOM; IEEE Transaction on Power Systems, Vol. 32, 2017.
- [14] Mini S Thomas, Parveen Poon Terang; Impacts of Interconnection of SOFC to a Radial Distribution System impact; IEEE ; 2014.
- [15] Jarosław Milewski, Marcin Wołowicz, Janusz Lewandowski; Comparison of SOE/SOFC system configurations for a peak hydrogen power plant; ; International Journal of hydrogen energy; Vol. 42; 2017.
- [16] Mogni, L., Esquivel, M., Baque, L., Montenegro-Hernández, A., Serquis, A., Arce, M., Chanquia, C., Troiani H., Napolitano F., Basbus J., Caneiro, A.; Integración de la Tecnología de Celdas de Óxido Sólido Reversibles a una Planta Nuclear para la Producción de Combustible y Generación Eléctrica; Departamento de Caracterización de Materiales- Centro Atómico Bariloche. Comisión Nacional de Energía Atómica; 2015
- [17] Alexander Buttlera, Hartmut Spliethoffa, Current status of water electrolysis for energy storage, grid balancing and sector coupling via power-to-gas and power-to-liquids: A review; Renewable and Sustainable Energy Reviews; Vol. 82; 2018.
- [18] Amit Kumar Roy, Gyan Ranjan Biswal; Investigation of a Fuel Cell System Operating in Stand Alone and Grid Connected Mode; IEEE; 2015
- [19] Dong-Hee Kim, Seung-Hee Ryu, Byoung-Kuk Lee, Jong-Soo Kim; Design and Control Method for Critical Load Supply Equipment using Molten Carbonate Fuel Cell Generation System; Power Center, Material & Device Research Center Samsung Advanced Institute of Technology Yongin, Republic of Korea; 2015.
- [20] <https://www.sunfire.de/en/company/press/detail/the-grinhy-project-green-hydrogen-for-steelworks>

# IMPLEMENTACIÓN DE UN ESQUEMA DE DESPLIEGUE CONTINUO PARA EL DESARROLLO DE APLICACIONES MÓVILES HÍBRIDAS

Ing. Fernando Sorzana      Ing. Matías Cassani      Ing. David Belamate  
Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Villa María  
Av. Universidad 450 – Villa María - Córdoba  
fsorzana@frvm.utn.edu.ar    mcassani@frvm.utn.edu.ar    dbelamate@frvm.utn.edu.ar

## Resumen

*Este trabajo describe la investigación realizada para intentar resolver los numerosos desafíos que presenta la implementación de esquemas de despliegue continuo en aplicaciones móviles. Aquí se plantean los problemas adicionales que se presentan en este tipo de aplicaciones a la hora de implementar dichos esquemas y se proponen soluciones para los mismos. Finalmente se plantea una línea de despliegue continuo de ejemplo que aplica estas soluciones y por último se analiza la complejidad de este tipo de esquemas y la perspectiva de que existan soluciones más simples en el corto plazo.*

## 1. Introducción

En los últimos años, cada vez ha cobrado más fuerza en la industria del software el movimiento DevOps. Uno de los principios más importantes propuestos por este movimiento es el de despliegue continuo, el cual apunta a realizar entregas de software regularmente (incluso varias veces en el mismo día) automatizando gran parte de las tareas requeridas para obtener y desplegar una entrega de software y de esta manera reducir el riesgo asociado a las entregas y el tiempo requerido para obtener retroalimentación del funcionamiento del mismo.

Existe una gran cantidad de herramientas y bibliografía sobre la aplicación de esta metodología, pero la mayoría se centran en aplicaciones web o servicios que funcionan en ambientes controlados. Las aplicaciones móviles, y particularmente las aplicaciones móviles híbridas presentan un nuevo desafío a la aplicación de estas metodologías debido a la gran variedad de plataformas en las que deben funcionar y a los mecanismos requeridos para actualizar las mismas. En este documento se analizan las características que debe poseer un esquema de integración continua y las dificultades que plantea su implementación en el desarrollo de aplicaciones móviles híbridas. Posteriormente se analizan alternativas para mitigar dichas dificultades y se plantea un esquema de integración continua tentativo utilizando herramientas de software libre.

## 2. Definiciones

En esta sección se definen los conceptos centrales que se utilizarán durante el resto del documento.

### 2.1. DevOps

Existen muchas definiciones para este término, y se lo ha considerado un movimiento, un cambio cultural, una metodología, etc. En este documento utilizaremos la definición planteada en [1], "Conjunto de prácticas destinadas a reducir el tiempo transcurrido desde que se realiza un cambio a un sistema hasta que dicho cambio es aplicado en producción manteniendo la alta calidad del sistema", la cual se centra en las prácticas propuestas para reducir el tiempo de entrega del software y mantener la calidad.

### 2.2. Integración continua

La integración continua (según la definición planteada en [2]) es una práctica de desarrollo de software en la cual los miembros del equipo de desarrollo integran los cambios que realizan en el software de forma frecuente, normalmente una vez al día. Cada cambio realizado es verificado por un proceso automatizado que comprueba que el sistema siga funcionando correctamente luego de aplicar dicho cambio. Esta práctica apunta a reducir los riesgos asociados a la integración de software y reducir el tiempo de desarrollo.

### 2.3. Entrega continua

La entrega continua [3] es una práctica de desarrollo de software que propone que el software desarrollado sea factible de desplegar a producción en cualquier momento mediante un proceso automatizado que no requiere intervención humana con la excepción de la aprobación de dicho despliegue. Esta práctica extiende el concepto de integración continua ya que luego de integrar el software y comprobar que funciona adecuadamente, puede desplegarlo a cualquier ambiente de ejecución (incluido el ambiente de producción) ante la demanda de un usuario con permisos suficientes.

#### **2.4. Despliegue continuo**

El despliegue continuo [3] es una práctica de desarrollo de software que propone que cada cambio realizado en dicho software sea desplegado a producción utilizando un proceso automatizado que no requiere intervención humana. La diferencia con la entrega continua radica en que el despliegue del software a producción no requiere ninguna aprobación humana y toda versión del sistema que pase la totalidad de las pruebas se despliega de forma automática.

#### **2.5. Canal (pipeline) de despliegue**

Un canal, o pipeline de despliegue [3] es el conjunto de tareas o pasos requeridos para desplegar a producción un cambio realizado en el software desarrollado. Las tareas a realizar dependen de las características específicas del software a desarrollar, pero se pueden agrupar en tres fases principales:

Fase de consolidación o confirmación: en esta fase se realizan todas las validaciones que no requieren de la ejecución del software (análisis estático de código, pruebas unitarias) y se generan todos los artefactos necesarios para ejecutar el software.

Fase de pruebas de aceptación: en esta fase se realizan las pruebas con el software en funcionamiento en un ambiente similar al de producción (pruebas de aceptación, pruebas de capacidad) para determinar que funciona correctamente y cumple con los requerimientos de calidad.

Fase de despliegue: en esta fase el software se despliega a producción y se verifica que funcione correctamente. En esta fase se incluyen también las tareas necesarias para volver a una versión anterior del software en caso de que no funcione correctamente en producción.

#### **2.6. Aplicaciones móviles híbridas**

Una aplicación móvil híbrida [4] es una aplicación desarrollada para dispositivos móviles utilizando tecnologías web (HTML5, Javascript, CSS) y que puede acceder a las características nativas del dispositivo (cámara, geoposición, sensores, contactos, etc.) a través de una interfaz Javascript estándar provista por un framework de desarrollo de aplicaciones móviles. Un framework de desarrollo de aplicaciones móviles híbridas es un componente de software que permite a los desarrolladores crear aplicaciones móviles multiplataforma utilizando tecnologías web a partir de:

- Un contenedor nativo para la aplicación web.
- Una interfaz Javascript estándar (idéntica para todas las plataformas) para interactuar con las características nativas del dispositivo.

### **3. Planteo del problema**

En el ámbito de la Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Villa María se han realizado implementaciones de esquemas de despliegue continuo para diversas aplicaciones web siguiendo las buenas prácticas recomendadas en [3]. Sin embargo, en el último tiempo se han realizado algunos desarrollos de aplicaciones móviles híbridas, y al momento de implementar esquemas de despliegue continuo en este tipo de aplicaciones se han encontrado con dificultades adicionales, mientras que la mayor parte de la bibliografía dedicada al despliegue continuo se centra en servicios y aplicaciones web que residen en servidores con un ambiente más fácil de controlar.

Los principales factores que dificultan la implementación del despliegue continuo en este tipo de aplicaciones son:

- Variabilidad del entorno de ejecución: la gran variedad de dispositivos móviles en cuanto a plataformas (iOS, Android, etc.), capacidad, y hardware disponible (cámara, sensor de movimiento, sensor de geo-posición, lector de NFC, etc.) introducen un nivel de variabilidad en las posibilidades de funcionamiento de la aplicación mucho mayor al de las aplicaciones web.

- Plataformas cerradas: los sistemas operativos para dispositivos móviles más difundidos presentan muchas restricciones a la hora de instalar y configurar aplicaciones [5], exigiendo que dichos procesos se realicen únicamente a través de los almacenes de aplicaciones de cada plataforma, restringiendo las opciones disponibles a la hora de implementar el despliegue continuo. Además, los almacenes de cada plataforma tienen su propia forma de administración, lo que introduce una complejidad adicional cuando se quiere desplegar la aplicación a múltiples plataformas.

- Nuevas interacciones: las aplicaciones móviles interactúan con servicios (geo-posición, movimiento) y acciones del usuario (gestos táctiles) que no están presentes en las aplicaciones web tradicionales. Estas interacciones complican las distintas fases de prueba de las aplicaciones a desplegar.

- Instalación local: a diferencia de las aplicaciones web. Las aplicaciones móviles deben ser instaladas en el dispositivo del usuario, lo que implica que las actualizaciones y cambios a la aplicación deben realizarse dispositivo a dispositivo.

Estos factores afectan a muchas de las prácticas recomendadas del despliegue continuo. A continuación se enumeran las prácticas más afectadas por la complejidad adicional de las aplicaciones móviles.

### **3.1. Software de terceros configurable**

Esta práctica consiste en utilizar siempre que sea posible, software de terceros que cuente con la posibilidad de ser configurado sin necesidad de intervención humana, ya sea a partir de archivos de configuración u opciones de línea de comandos y no únicamente a través de una interfaz gráfica. En las aplicaciones móviles híbridas, es necesario interactuar con los almacenes de aplicaciones de las distintas plataformas (Android PlayStore, iOS App Store, etc.) y no es posible reemplazarlos por otra herramienta. Si alguna opción de configuración no está disponible por algún mecanismo que no sea la interfaz gráfica de dichos almacenes, se requiere de un esfuerzo adicional para poder configurar esa opción de forma automática.

### **3.2. Repositorio**

Esta práctica [6] consiste en almacenar todo lo necesario para ejecutar una aplicación (código fuente, configuración de la aplicación, definición del ambiente de ejecución y datos) en un repositorio de control de versiones, de modo que los cambios sobre los mismos sean controlados. En el desarrollo de aplicaciones móviles, es necesario almacenar la información de las herramientas necesarias para compilar las aplicaciones a su versión nativa para cada plataforma, y algunas plataformas no tienen un mecanismo nativo incorporado para hacer esto, lo que implica crear mecanismos propios para realizarlo.

### **3.3. Ambiente creado a partir de un comando único**

Esta práctica [4] indica que se debería utilizar un único comando para compilar y desplegar la aplicación a cualquier ambiente a partir de una versión de la misma descargada del repositorio de control de versiones. En el caso de las aplicaciones móviles, es particularmente difícil configurar el entorno de desarrollo a partir de un único comando, debido a que las herramientas necesarias para compilar la aplicación nativa a cada plataforma no proveen un mecanismo simple para reconstruir versiones específicas de las mismas a partir de una configuración.

### **3.4. Construcción independiente**

Esta práctica [2] indica que las tareas utilizadas para compilar y desplegar la aplicación deberían ser independientes de cualquier entorno integrado de desarrollo (IDE) y que deberían poder ejecutarse a través de la línea de comandos, de modo que puedan ser ejecutadas por alguna herramienta de integración continua. Esto es difícil de lograr en aplicaciones móviles, debido a que las herramientas de compilación de Android y de iOS utilizan sus propias herramientas para compilar y no brindan alternativas para ejecutar las tareas, por lo que es necesario escribir comandos que invoquen a esas herramientas dependiendo de la plataforma.

### **3.5. Pruebas automatizadas**

Esta práctica [7] indica que deberían automatizarse la mayor cantidad posible de las pruebas realizadas sobre el software, de modo que las mismas puedan ser ejecutadas por una herramienta de integración continua. En las aplicaciones móviles es difícil automatizar las pruebas de despliegue, ya que estas deben ejecutarse en ambientes lo más parecidos a producción, es decir que deben ejecutarse en dispositivos reales. Estos dispositivos deberían además abarcar la mayor variedad de características posibles (plataforma, capacidad, funcionalidades).

### **3.6. Pruebas paralelas**

Esta práctica [4] indica que los distintos tipos de pruebas a realizar deberían ejecutarse en paralelo, con el objetivo de reducir el tiempo total de ejecución. Sin embargo, para lograr esto en las aplicaciones móviles es necesario contar con numerosos dispositivos o con hardware de gran capacidad para poder emularlos.

### **3.7. Despliegue a través de scripts**

Esta práctica [4] indica que el despliegue de la aplicación debe realizarse a través de un script que pueda almacenarse en el repositorio de control de la configuración y ejecutado por una herramienta de integración continua. Esto es difícil de lograr en las aplicaciones móviles, ya que las interfaces de los almacenes de aplicaciones de Android y iOS están pensadas principalmente para ser usados a través de una interfaz gráfica.

### **3.8. Integridad binaria**

Esta práctica [4] indica que el código ejecutable de la aplicación debería generarse una sola vez para todos los ambientes (desarrollo, pruebas, producción, etc.) y todo lo que cambie entre distintos ambientes debería ser externalizado como configuración. Esto es difícil de lograr en las aplicaciones móviles ya que tanto Android como iOS requieren que se genere un único archivo binario de la aplicación (archivo .apk para Android, archivo .ipa para iOS), y no permite agregar archivos de configuración adicionales. Por tal motivo, si se quiere utilizar una configuración distinta en distintos ambientes, es necesario generar archivos binarios distintos.

### **3.9. Despliegue de canarios**

Esta técnica [4] define que se debería realizar el despliegue de las nuevas versiones de la aplicación en un porcentaje reducido de usuarios para poder evaluar el impacto de la nueva versión en el ambiente de producción. En lo que respecta al desarrollo de aplicaciones móviles esto es posible de llevar adelante en Android PlayStore mediante la utilización de una herramienta diseñada para tal fin. El inconveniente se presenta en el iOS App Store ya que no cuenta con dicha funcionalidad y luego de liberada una versión esta le es notificada a la totalidad de sus usuarios.

### **3.10. Vuelta atrás (Rollback Release)**

Esta técnica [4] propone la implementación de un mecanismo que permita revertir la versión recientemente implementada a la anterior llegado el momento en que se detecten fallas críticas en la aplicación. En relación al desarrollo de aplicaciones móviles el Android PlayStore brinda al desarrollador la posibilidad de realizar dicha acción utilizando una herramienta diseñada para tal fin. El inconveniente se presenta en el entorno de iOS App Store ya que de momento no existe dicha funcionalidad y las versiones anteriores no son accesibles.

### **3.11. Entornos de pruebas iguales a de producción**

Propone realizar las pruebas [4] en un ambiente que presente las mismas características en lo que respecta a hardware como a software que los ambientes de producción. En la programación de aplicaciones móviles esto es un inconveniente ya que en el mercado existe una gran cantidad de dispositivos y poder probar la aplicación en todos ellos resulta inviable.

## **4. Solución propuesta**

Para la construcción de la línea de despliegue de la aplicación se tomó como base las líneas ya existentes utilizadas en las aplicaciones web. Dichas líneas fueron creadas para ser ejecutadas el motor de despliegue continuo Jenkins [9], y se definen utilizando un archivo presente en el repositorio de código de cada aplicación (Jenkinsfile). Esta línea de despliegue invoca diferentes tareas de la línea de comandos de Ionic (Ionic-cli) [10] y tareas personalizadas de gulp [11] que se encargan de

realizar todas las tareas necesarias para poder compilar y desplegar la aplicación. Además para instalar las herramientas necesarias en cada ambiente (gulp, Ionic-cli, etc.) se utilizará Ansible [12], una herramienta de automatización de infraestructura de código abierto.

El proceso de despliegue comienza cuando se registra el commit de una nueva versión del código fuente de la aplicación. Quien recibe dicho estímulo es el motor de despliegue continuo Jenkins [9] y es este quien ejecuta el proceso denominado pipeline que se almacena en el archivo Jenkinsfile.

En dicha línea se han realizado acciones especiales para intentar mitigar los problemas planteados anteriormente. A continuación, se enumeran las principales.

#### **4.1. Redes privadas de prueba**

Como solución al problema detectado al momento de cumplir con los objetivos propuestos por la llamada Integridad Binaria, en aplicaciones que requieran comunicación con un servidor de aplicación se propone la implementación de configuraciones de redes diferentes en donde se permita utilizar el mismo nombre de dominio del servidor. Si el dispositivo está conectado a una red configurada para las pruebas este se pueda comunicar con el ambiente de pruebas resolviendo con un DNS [13] privado, de lo contrario se comunique con el ambiente de producción si es que esta se ejecuta fuera de la red antes mencionada.

#### **4.2. Herramientas de compilación**

Para compilar y desplegar a ambas plataformas se utilizará una combinación de herramientas de líneas de comandos con funciones específicas, y se combinarán todas ellas en la definición del canal de despliegue implementado en Jenkins. Podemos separar las acciones a realizar en cuatro grupos:

Compilación para Android: para esta tarea se utilizaron las herramientas de líneas de comandos provista por Apache Cordova [14], la cual ya se encuentra incluida en la línea de comandos de Ionic.

Despliegue para Android: se realizó utilizando un plugin de jenkins para tal fin [15].

Compilación para iOS: se realizó utilizando la herramienta Gym del proyecto fastlane [16] la cual se centra en compilar aplicaciones iOS de forma sencilla.

Despliegue para iOS: se realizó utilizando la herramienta deliver, también parte del proyecto fastlane, la cual se centra en subir la aplicación al app store.

De esta forma, se solucionan los problemas planteados en las secciones 3.1, 3.4 y 3.7.

#### **4.3. Configuración de las herramientas nativas**

Para configurar los diferentes ambientes de ejecución, se configurara una tarea de gulp [11] que lea las versiones de las herramientas nativas necesarias para compilar el proyecto desde el repositorio y las instale. En el caso de iOS, solo es posible instalar la última versión de las herramientas de desarrollo, por lo que no es necesario guardar ninguna versión, mientras que en Android, es necesario almacenar las versiones de las herramientas individuales a utilizar (sdk, herramientas de compilación, repositorios de dependencias). Esta tarea será configurada para ser invocada por la línea de comandos de Ionic. De esta forma, se resuelven los problemas planteados en las secciones 4.2 y 4.3.

#### **4.4. Conjunto de dispositivos de pruebas**

Para realizar las pruebas de despliegue y comprobar que la aplicación funciona correctamente en los dispositivos que debería, se definirá un conjunto mínimo de dispositivos que cubra la mayor parte del espectro de dispositivos en los que se espera que la aplicación funcione. Por ejemplo, si debe funcionar en pantallas desde 3,1 pulgadas a 5,5, se podría usar un dispositivo de 3,1 pulgadas, uno de 4,2 y uno de 5,5. Lo mismo aplica para las plataformas y sus versiones, la capacidad de procesamiento y almacenamiento y el hardware presente. Se debe definir entonces un conjunto reducido de dispositivos que sea abarcativo. Luego se conectarán estos dispositivos a un servidor de pruebas y se instalará en el mismo la herramienta de comandos Appium [8] la cual se encarga de ejecutar las pruebas de despliegue directamente sobre los dispositivos. De esta forma, se pueden mitigar los problemas planteados en 3.5, 3.6 y 3.11.

#### **4.5. Despliegue progresivo**

Como se mencionó anteriormente (sección 3.9), en el AppStore de la plataforma iOS, al momento de escribir este documento, no es posible realizar despliegues progresivos. Por desgracia, no es posible

encontrar una solución alternativa a este problema, dado que iOS exige que todas las instalaciones y actualizaciones se realicen a través de dicha plataforma. Para poder aplicar esta técnica, es necesario que Apple, que es quien maneja la plataforma, implemente algún mecanismo para permitir a los desarrolladores realizar esto. Por lo tanto, por el momento, el problema 3.9 no tiene solución a corto plazo en la plataforma iOS. Para mantener la consistencia entre ambas plataformas, tampoco se implementará en Android (a pesar de que su almacén de aplicaciones si soporta despliegues progresivos).

#### 4.6. Crear una versión idéntica a la anterior

Para solucionar el inconveniente planteado como (en el apartado 3.10) Vuelta Atrás lo que se propone en ambas plataformas es de regresar a producción la última versión estable. Para esto se debe construir una nueva versión a partir del código de la versión anterior y a esta nueva aumentarle el número de versión de acuerdo a lo que indican los requerimientos de las plataformas, esto significa que para los usuarios es una nueva versión, pero con las funcionalidades de la anterior.

### 5. Conclusión

En este trabajo se han presentado e intentado resolver numerosas dificultades adicionales que presentan las aplicaciones móviles híbridas a la hora de implementar esquemas de integración continua. Se ha podido encontrar solución a la mayoría, pero ha sido necesario utilizar diversas herramientas adicionales además de aquellas utilizadas en las aplicaciones web tradicionales. Además, se necesitó de un esfuerzo significativo para configurar y orquestar el funcionamiento de todas estas herramientas.

Muchas de las dificultades planteadas (como la imposibilidad de hacer despliegue progresivo o de mantener la integridad binaria en ambientes distintos) surgen de las limitaciones que las plataformas móviles imponen a los desarrolladores. Es probable que un futuro próximo, a medida que crezca la adopción de los esquemas de integración continua, los proveedores brinden mayores herramientas a los desarrolladores para facilitar el despliegue de sus aplicaciones.

Sin embargo, con el esquema planteado anteriormente, se pueden mitigar la mayoría de las dificultades y reducir en gran medida el riesgo asociado al despliegue de aplicaciones móviles híbridas.

### 6. Referencias

- [1] Len Bass et al., *Devops: A Software Architect Perspective*, Financial Times Prentice Hall, 28 de mayo de 2015.
- [2] Paul Duvall et al., *Continuous Integration. Improving Software Quality and Reducing Risk*, Addison Wesley, 12 de julio de 2007.
- [3] Jez Humble et al. *Continuous Delivery. Reliable Software Releases through Build, Test, and Deployment Automation*, Addison-Wesley Professional, 6 de agosto de 2010.
- [4] Ivano Malavolta et al., "Hybrid Mobile Apps in the Google Play Store: An Exploratory Investigation" en *Proceedings of the Second ACM International Conference on Mobile Software Engineering and Systems*, 16 y 17 de mayo de 2015, pp 56-59.
- [5] Hee-Yeon Cho et al., "A comparison of open and closed mobile platforms" en *Electronics and Information Engineering (ICEIE), 2010 International Conference On*, 1 al 3 de agosto de 2010, pp. 651-654.
- [6] Steve Berczuk et al., *Software Configuration Management Patterns: Effective Teamwork, Practical Integration*, Addison Wesley, 4 de noviembre de 2002.
- [7] Mark Fewster et al., *Software Test Automation*, Addison-Wesley Professional, 4 de septiembre de 1999.
- [8] appium.io, "Appium: Mobile app automation made awesome". [Online]. Disponible en: <http://appium.io/>. [Accedido: 18 de agosto de 2017]
- [9] John Smart, *Jenkins: The Definitive Guide: Continuous Integration for the Masses*, O'Reilly Media, Julio 2011.
- [10] Arvind Ravulavaru, *Learning Ionic - Second Edition*, .Packt Publications, Abril 2017.
- [11] Jed Mao, et. al, *Developing a Gulp Edge - The Streaming Build System*, Bleeding Edge Press, Noviembre 2014.
- [12] Jeff Geerling, *Ansible for DevOps: Server and configuration management for humans*, Midwestern Mac, Octubre 2015.
- [13] Domain Names - Concepts and Facilities, RFC 1034, Noviembre de 1987.
- [14] Raymond K. Camden, "Apache Cordova in Action", Manning Publication, Octubre 2015.
- [15] jenkins.io, "Google Play Android Publisher Plugin - Jenkins - Jenkins Wiki". [Online]. Disponible en: <https://wiki.jenkins.io/display/JENKINS/Google+Play+Android+Publisher+Plugin>. [Accedido: 18 de agosto de 2017]
- [16] fastlane.tools, "fastlane - iOS and Android Automation for Continuous Delivery". [Online]. Disponible en: <https://fastlane.tools/> [Accedido: 18 de agosto de 2017]

# ADHESIÓN Y DESGASTE DE UN RECUBRIMIENTO PVD DE TiN DEPOSITADO SOBRE AISI 316L NITRURADO

Autor: Carlos D. Riehme

Tutor: Laura S. Vaca

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Concepción del Uruguay

Ing. Pereira 676 (3260) Concepción del Uruguay (Entre Ríos), Argentina.

e-mail de contacto: dami007@gmail.com

## Resumen

En este trabajo se comparó la adhesión y el desgaste de películas delgadas de TiN con interfase de Ti obtenidas por arco catódico combinado con implantación iónica (PBII&D), y de un recubrimiento PVD TiN comercial, ambos depositados sobre acero inoxidable 316L previamente nitrurado.

Las películas se caracterizaron por microscopía electrónica. Se realizaron ensayos Scratch Test e Indentación Rockwell C para probar la adhesión de los recubrimientos a la superficie nitrurada y ensayos de pin-on-disk a fin de evaluar y comparar los coeficientes de fricción y la resistencia al desgaste de las películas de los distintos procesos.

En las imágenes FIB-SEM se observa que los recubrimientos por PBII&D presentaron mayor espesor que los TiN comerciales, los ensayos de pin-on-disk, scratch test e indentación RC mostraron mejores resultados para los films bicapa.

La intercapa de Ti y el proceso PBII&D mejoraron la adhesión y resistencia al desgaste de los PVD TiN comerciales.

## Introducción

Los aceros inoxidables austeníticos, como el AISI 316L, son requeridos en la industria alimenticia, química y petroquímica, por sus excelentes propiedades anticorrosivas. Sin embargo, su baja dureza limita sus prestaciones, lo que justifica la aplicación de tratamientos superficiales que prolonguen su vida útil [1-3].

La nitruración iónica es un tratamiento de difusión termoquímica asistido por plasma que modifica las capas superficiales del material confiriéndole una dureza muy superior a la del acero sin tratar, pero si precipitan nitruros que se combinen con el cromo libre de la superficie se resienten las propiedades anticorrosivas del acero [4-5].

Los recubrimientos de nitruro de titanio (TiN) obtenidos por arco de plasma (PVD) son muy usados en la industria debido a su elevada dureza y buena resistencia a la corrosión en medios agresivos, como así también para fines decorativos debido a su color dorado [6-7].

Si a la pieza a recubrir se polariza a un potencial altamente negativo el proceso recibe el nombre de Plasma Based Ion Implantation and Deposition (PBII&D), combinando la implantación de iones durante el tiempo on con la deposición en el tiempo off [8-10].

La aplicación sucesiva de dos tratamientos, llamados procesos dúplex, como es la deposición de un recubrimiento cerámico sobre un sustrato nitrurado, permite obtener mejores resultados que los alcanzados con una sola técnica [11-12].

En este trabajo se comparó la adhesión y la resistencia al desgaste de recubrimientos comerciales de TiN por PVD con recubrimientos TiN por PBII&D obtenidos en equipo experimental, depositados sobre AISI 316L previamente nitrurado.

## Metodología

Las muestras se cortaron de una barra cilíndrica de AISI 316L, se lijaron con granulometría creciente, se nitruraron por plasma en un equipo Industrial de la empresa IONAR S.A, en una mezcla de 20 % N<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>, a 420 °C durante 20 horas. Las muestras nitruradas se separaron en dos grupos. Un grupo se recubrió con TiN en un equipo comercial por arco catódico polarizadas a -250 V y a 350 °C de temperatura y se los nombró TiN comercial; los recubrimientos TiN del segundo grupo, con intercapa de titanio (Ti), se depositaron en un equipo experimental, donde el plasma es

generado por una descarga de arco catódico de 120 A de corriente entre un cátodo de Ti de alta pureza y el ánodo, polarizando la muestra a -6 KV, 200 Hz de frecuencia y 50  $\mu$ s de ancho de pulso y se los nombró NDI.

La superficie de los films se observó al SEM y el espesor de los recubrimientos se determinó por el corte con un haz de iones focalizados (FIB) adosado a un SEM.

Para probar la adhesión de los recubrimientos de ambos procesos, se los sometieron al ensayo de Scratch Test, con carga constante de 10 N a 30 N, las huellas se observaron al microscopio óptico y se evaluó el daño producido según norma ASTM C1624-05. También se realizaron indentaciones Rockwell C y se caracterizaron según norma VDI 3198, comparando con las figuras HF.

La resistencia al desgaste se evaluó con el ensayo de Pin-on-Disk, con bolilla de alúmina, carga de 1 N, recorrido de 500 m de longitud y 5 mm de radio. Las huellas resultantes del ensayo se observaron con microscopio óptico, se tomaron perfiles con perfilómetro mecánico, se graficaron y se calculó la pérdida de volumen.

## Resultados

### 1. Microestructura

En la Fig. 1, que muestra la superficie de los recubrimientos, puede observarse mayor presencia de microgotas en la NDI que en la de TiN comercial, mientras que en ésta última las microgotas presentes son de menor tamaño y el recubrimiento copia la topografía de la superficie nitrurada.

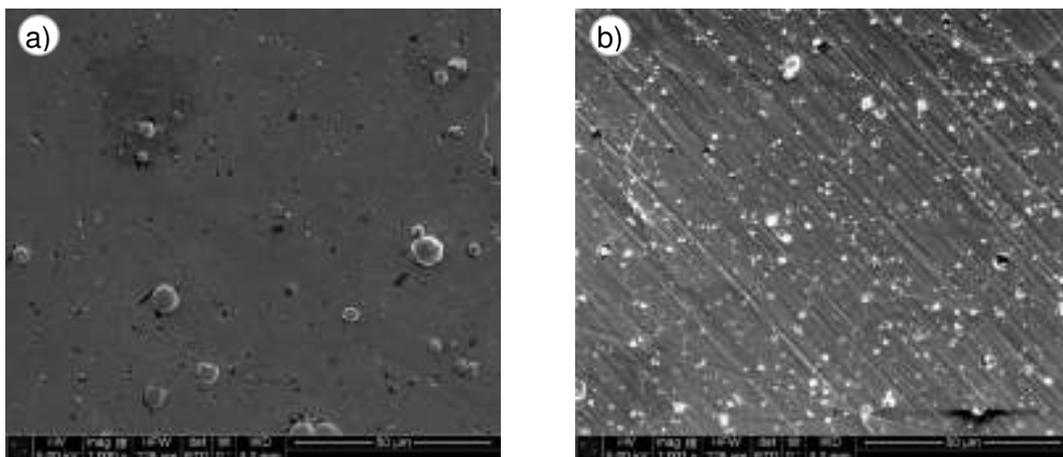


Fig. 1 SEM superficie 1000x a) NDI, b) TiN comercial

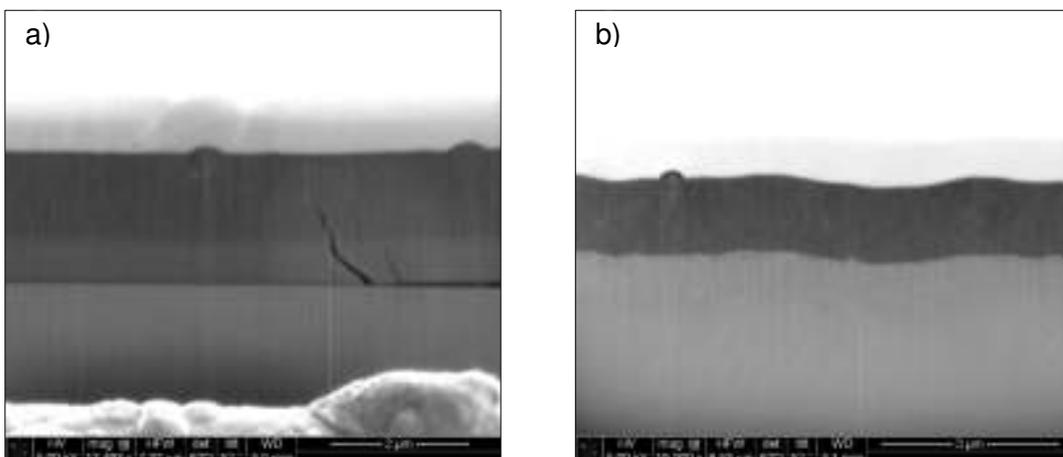


Fig. 2 FIB-SEM a) NDI, b) TiN comercial

Las imágenes SEM de la Fig. 2 del corte con FIB de los recubrimientos muestran que, en el caso de la muestra NDI se observa la intercapa de Ti, de 1,05  $\mu$ m y la capa de TiN de 2,08  $\mu$ m, siendo el

espesor de la de TiN comercial de 2,17  $\mu\text{m}$ . En ambos films se observan microgotas y el defecto que presenta el NDI (Fig. 1 a)) probablemente se deba a la presencia de tensiones, propio de este tipo de tratamiento [13-14].

## 2. Adhesión

### 2.1. Scratch

En Fig. 3 a), se muestra la micrografía del ensayo de Scratch Test en una muestra NDI con carga de 30 N, y se observa que la falla es de tipo Wedging Spalation. En Fig. 3 b); en cambio, el recubrimiento TiN comercial con carga de 25 N presentó falla de tipo Gross Spallation [15].

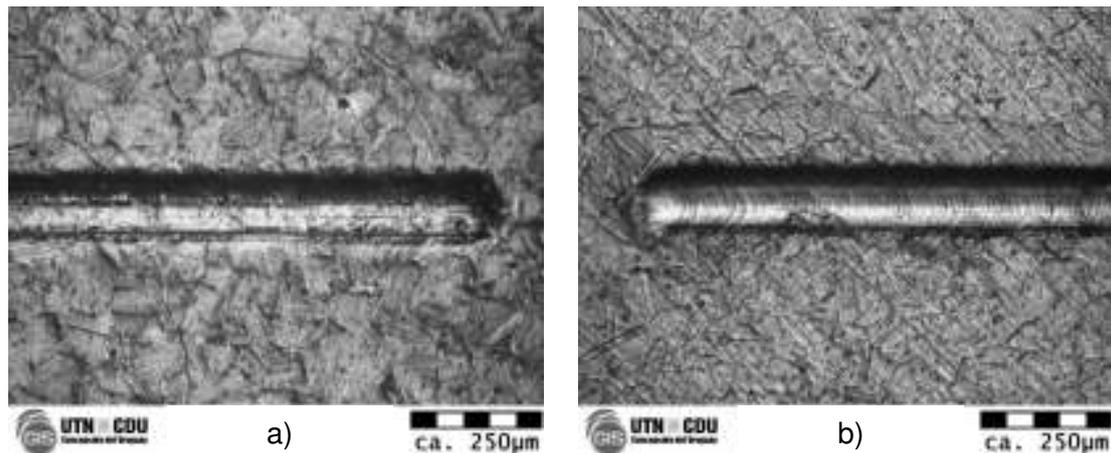


Fig. 3 Micrografías 100x Scratch Test a) NDI con 30 N, b) TiN comercial con 25 N

### 2.2. Indentación

Puede observarse en la Fig. 4 a) que la muestra NDI presenta deformación plástica y no se observan delaminaciones alrededor de la impronta, considerándola falla HF2 aceptable. En la Fig. 4 b), correspondiente al TiN comercial se observan delaminaciones solo a un lado de la impronta, pudiendo considerarse también aceptable con falla tipo HF4 [16]

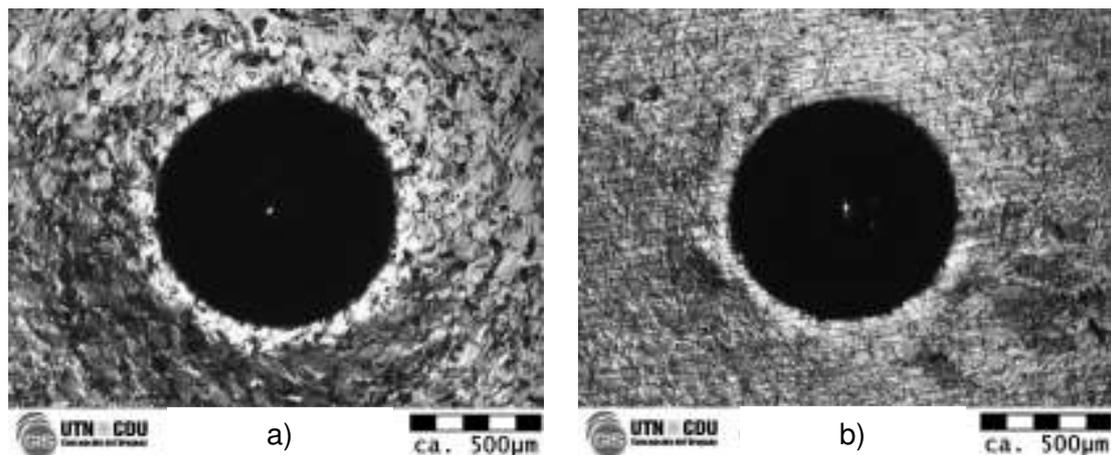


Fig. 4 Micrografías 40x Indentación Rockwell C (150 Kg) a) NDI, b) TiN Comercial

En general, los resultados de ambos ensayos de adhesión mostraron que el recubrimiento experimental (NDI) resultó mejor adherido que el TiN comercial, posiblemente debido a la intercapa de titanio y a la combinación de la deposición con la implantación.

### 3. Desgaste - Pin On Disk

En los gráficos de la Fig. 5 se muestran los resultados del ensayo de pin-on-disk donde puede observarse que el recubrimiento experimental tuvo menor profundidad de huella y menor volumen perdido que el comercial. Los promedios y errores corresponden a las mediciones de 5 muestras de cada una de las condiciones.

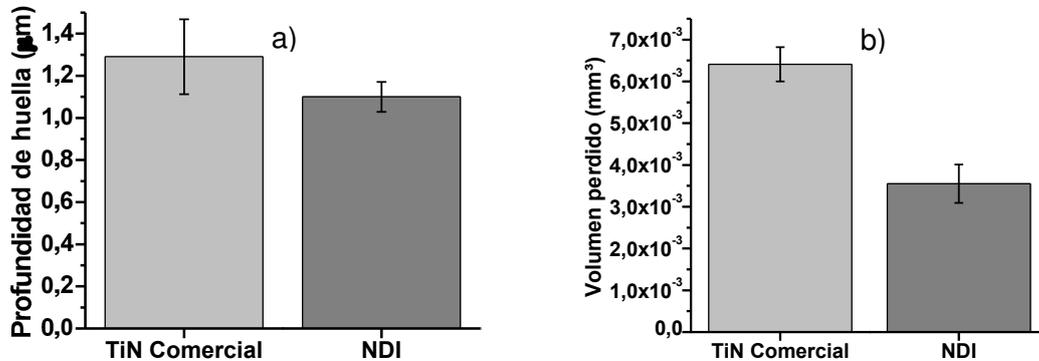


Fig. 5 Resultados Pin on Disk TiN Comercial y NDI a) Profundidad de huella, b) Volumen perdido

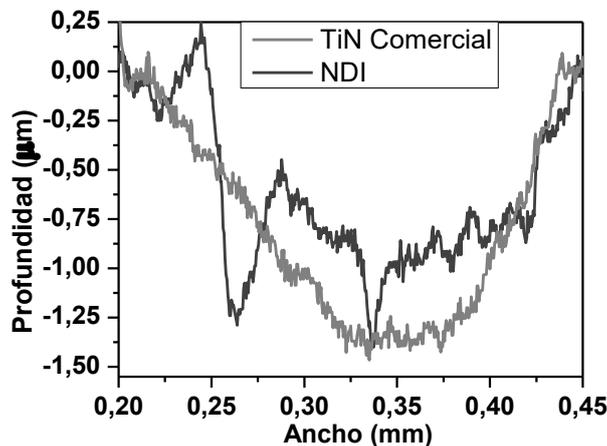


Fig. 6 Perfiles huellas Pin on Disk TiN Comercial y NDI

En los perfiles de las huellas Pin-on-disk de la Fig. 6 puede observarse también la menor profundidad de huella y volumen perdido de los recubrimientos NDI respecto de los comerciales, como así también la irregularidad de la misma, lo que se corresponde con la mayor rugosidad de los NDI, tal como se mostró en las imágenes SEM de la Fig. 1.

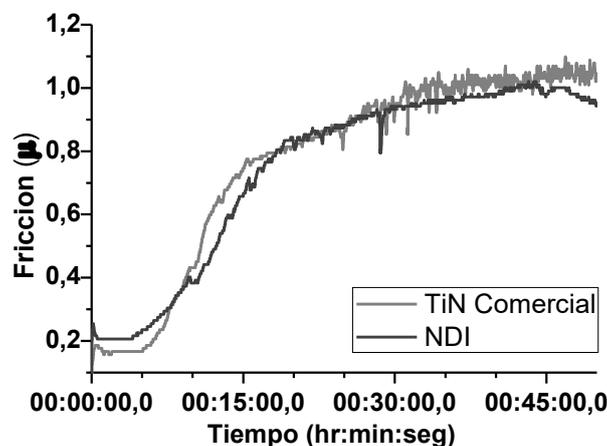


Fig. 7 Curva de fricción de ensayos de TiN Comercial y NDI

En la Fig. 7 se observa que el recubrimiento comercial presenta menor coeficiente de fricción que el del experimental en los primeros 50 m (8 minutos) del recorrido, para luego superar al del NDI, sin que las diferencias sean significativas. Los coeficientes de fricción promedio de ambos recubrimientos no mejoran respecto al acero sin tratar para la carga de 1N debido a la rugosidad de los mismos, resultado que podría variar en favor de los recubrimientos para cargas mayores [17].

## Conclusión

Los recubrimientos producidos en equipo experimental por el proceso PBII&D presentaron una mejor adhesión que los comerciales, evidenciado por los resultados de Scratch Test e Indentación RC y mejor comportamiento al desgaste por fricción entre dos materiales, posiblemente debido a que la intercapa de Ti, con dureza similar al acero nitrurado, presenta mayor ductilidad. Además, al polarizar la muestra a un potencial altamente negativo, los iones penetran en la película algunas capas atómicas durante el tiempo on, favoreciendo la disminución de canales que alcancen el sustrato nitrurado, lo que podría afectar, favoreciendo tanto la resistencia al desgaste, como la resistencia a la corrosión.

Está previsto calefaccionar las muestras durante el proceso PBII&D, a la temperatura del proceso comercial, incluyendo, para ello, una fuente calefactora en el equipo experimental, lo que probablemente mejore los resultados ya obtenidos en adhesión y desgaste de las muestras NDI.

## Referencias

- [1] ASM Handbook Vol. 5: Surface Engineering, ASM Int. 1994.
- [2] ASM Handbook Vol. 1: Properties and selection of Irons, Steels, and High-Performance Alloys, ASM Int. 1991.
- [3] A. J. Sendriks, Corrosion of Stainless Steel, 2nd. Ed., Wiley & Sons, 1996.
- [4] H. Michel, T. Czerwiec, M. Gantois, D. Ablitzer and A. Ricard, Progress in the analysis of the mechanisms of ion nitriding, Surf. Coat. Technol., Vol. 72, p. 103, 1995.
- [5] Linda Gil, Sonia Brühl, Lorena Jiménez, Ovidio Leon, Rafael Guevara y Mariana H. Staia, Corrosion performance of the plasma nitrided 316L stainless steel, Surface and Coatings Technology 201, p. 4424-4429, 2006.
- [6] R. L. Boxman, P. J. Martin, D. M. and Sanders, (Eds), Handbook of Vacuum Arc Science and Technology, New Jersey: Noyes Publications, 1995.
- [7] H. Bruzzone, H. Kelly, A. Márquez, D. Lamas, A. Ansaldi, C. Oviedo, TiN coatings generated with the pulsed plasma arc, Plasma Source Sci. and Technol. 5 (1996) 582-587.
- [8] D. Sanders, A. Anders, Review of cathodic arc deposition technology at the start of the new millennium, Surf. Coat. Technol. 133-134 (2000) 78-90.
- [9] T. R. Rautray, R. Narayanan, Kyo-Han Kim, Ion implantation in titanium based biomaterials, Progress in Materials Sci. 56 (2011) 1137-1177.
- [10] L. S. Vaca, A. Márquez, S. P. Brühl, Structural and tribological properties of Ti-TiN coatings obtained of the vacuum arc, Journal of Physics: Conference Series 370 (2012), 012032.
- [11] T. Bell, H. Dong and Y. Sun, Realising the potential of duplex surface engineering, Tribology 31 (1998) 127-137.
- [12] W. Wu, X. Li, J. Chen, H. Dong, Design and characterization of an advanced duplex system based on carbon S-phase case and GiC coatings for 316LVM austenitic stainless steel, Surf. Coat. Technol. 203 (2009) 1273-1280.
- [13] H. Oette, R. Wiedemann, Residual stress in PVD hard coatings. Surface and Coatings Technology, 76-77 (1995) 265-273.
- [14] R. Ali, M. Sebastiani, E. Bemporad. Influence of Ti-TiN multilayer PVD-coatings design on residual stresses and adhesion, Materials and Design 75 (2015) 47-56.
- [15] ASTM C-1624-05 (Reapproved 2010) Standard Test Method for Adhesion Strength and Mechanical Failure Modes of Ceramic Coatings by Quantitative Single Point Scratch Testing, ASTM International, 2011.
- [16] N. Vidakis, A. Antoniadis, and N. Bilalis: The VDI 3198 indentation test evaluation of a reliable qualitative control for layered compounds. J. Mater. Process. Technol. 481 (2003) 143-144.

- [17] J. Zuo, Y. Xie, J. Zhang, Q. Wei, B. Zhou, J. Luo, Y. Wang, Z. M. Yu and Z. G. Tang, TiN coated stainless steel bracket: Tribological, corrosion resistance, biocompatibility and mechanical performance, *Surface & Coatings Technology* 277 (2015) 227–233

# OPTIMIZACIÓN DE MÁQUINA PARA ENSAYOS DE FATIGA POR FLEXIÓN ROTATIVA Y ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE DIFERENTES TERMINACIONES SUPERFICIALES

Bruno Dalmaso Visconti, Facundo I. Lástrico, Matías Rey  
Tutor: Ing. Marcos Marino

Departamento de Ingeniería Mecánica – Laboratorio de Metalurgia y  
Materiales Facultad Regional Villa María – Universidad Tecnológica  
Nacional  
Avda. Universidad 450 – (5900) Villa María, Córdoba.

## Resumen

El fenómeno de fatiga está dado por la rotura lenta del material debido a esfuerzos dinámicos y cíclicos a los que está sometido. Estas roturas son un daño estructural progresivo y localizado, que se da por fisuras dentro del material, las cuales van avanzando conforme aumenta el número de ciclos.

En los diferentes ensayos de fatiga, se somete a una probeta a distintos tipos de esfuerzos, que pueden ser: flexión, flexión rotativa, torsión y tracción-compresión.

El trabajo realizado consistió en el rediseño y optimización de una máquina de fatiga por flexión rotativa en voladizo construida anteriormente, y posteriormente el análisis de la influencia de las terminaciones superficiales de las probetas. Con la máquina construida se realizaron pruebas permitiendo encontrar conclusiones sobre el rendimiento de la misma.

Para el análisis de datos que se registran, se utilizan las curvas de Wöhler o comúnmente llamadas “curvas S – N”. Estas curvas representan la relación entre la amplitud del esfuerzo y el número de ciclos para su rotura.

A partir de pruebas experimentales y análisis dinámicos de la máquina, se validó el correcto funcionamiento de la misma y la mejora en sus componentes mecánicos.

**Palabras clave:** Optimización, Fatiga, Ensayo, Flexión Rotativa, Flexión Plana.

## 1. Introducción

La falla por fatiga, a diferencia de las estáticas, no presentan evidencia antes de suceder, sino que la fractura se produce repentinamente. El diseño de piezas que resistan a las tensiones dinámicas presenta cierta complejidad, lo que genera especial interés en el estudio del fenómeno. Una visión muy conservadora consiste en incrementar el coeficiente de seguridad que se emplea normalmente y evitar todo tipo de cálculo de la falla, pero esto no brinda ninguna seguridad sobre cómo se va a comportar la pieza ante las tensiones dinámicas. [1]

Dada la incerteza del momento en que suceden las roturas por fatiga en los materiales, se busca encontrar para cada material tensiones de referencia que permitan realizar cálculos de piezas por ciclos o por tiempo indefinido.

La primera versión de la máquina permitía obtener las curvas de fatiga, pero presentaba problemas constructivos que afectaban la veracidad de las mismas. Para solucionar esto, se analizó el funcionamiento de la máquina y se encontraron falencias mecánicas, que impulsaron a realizar un rediseño de sus componentes. Para ello, se tuvieron en cuenta los lineamientos de las normas ASTM E466-96 y E739-91.

## 2. Marco Teórico

### 2.1 Fatiga

La fatiga es una falla que puede suceder bajo condiciones donde la acción de esfuerzos es muy inferior al límite de resistencia del material. Es consecuencia de esfuerzos alternados que producen grietas, en general en las superficies debido a la concentración de tensiones. [6,7]

La rotura del material ocurre debido a las fluctuaciones del estado de tensiones; se generan micro fisuras que avanzan infinitesimalmente en su interior, hasta que se forman grietas, las cuales continúan creciendo hasta alcanzar un tamaño crítico, suficiente para la rotura final, en general de manera brusca. [1,8]

Una falla por fatiga sucede dentro de una amplia gama de ciclos de carga, desde 10 ciclos hasta más de  $10^8$  ciclos. Es evidente que la cantidad de ciclos que el material soporta antes de su falla, depende de la carga dinámica a la cual esté sometida, ya que con una carga mayor, se obtiene una vida útil mucho menor.[2]

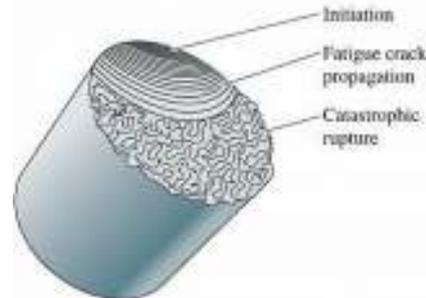


Figura 1. Rotura por fatiga

### 2.2 Curvas de Wöhler o curvas S-N

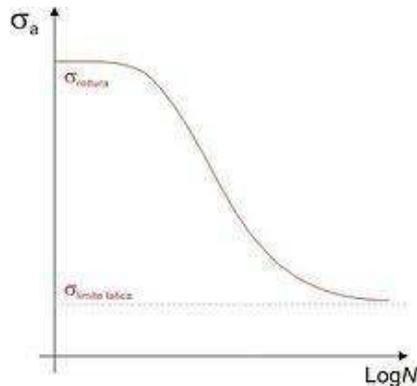


Figura 2. Curva S-N

Estas curvas se obtienen sometiendo a la probeta a cargas y se cuenta la cantidad de ciclos a la cual se produjo la rotura. Así se realizan numerosas pruebas variando la carga entre ellas.

Los resultados se representan en un diagrama de tensión, en función del logaritmo del número de ciclos hasta la rotura.

En la Figura 2 se observa que a cierta tensión, el número de ciclos tiende al infinito (para las pruebas,  $10^6$  es suficiente). Éste valor de tensión se lo llama límite de fatiga, es la tensión a la cual el material no falla en un número de ciclos representativo para la vida del mismo. Cabe aclarar que no todos los materiales presentan un límite de fatiga. Ej.: Aleaciones de Aluminio. [2]

Los valores obtenidos de la curva S-N se emplean para calcular el esfuerzo a la que estará sometida una pieza que soporta ciertos ciclos de esfuerzo. Sea  $S_n$  como el límite de fatiga real y a  $S'_n$  el

límite de fatiga teórico de la probeta de ensayo, ambas están relacionadas por una constante de proporcionalidad  $k$  que depende de varios factores, tales como, el acabado superficial, el tamaño de la pieza, el tipo de esfuerzo al que está sometido, la temperatura y la sensibilidad a la entalla. [3,8]

$$S_n = K * S'_n$$

### 2.3 Factores que intervienen [3,9,10]

Hay varios factores que pueden intervenir en la probeta a la hora de realizar el ensayo, estos factores hacen variar los resultados entre los ensayos.

#### 2.3.1 Diseño

El diseño es fundamental en la rotura por fatiga, cualquier imperfección superficial o discontinuidad geométrica actúa como concentradores de tensiones, lo que ocasiona el inicio de la rotura en ese punto de tensión.

La rotura por fatiga en los materiales se puede reducir si se evitan estas imperfecciones, realizando modificaciones en los diseños. Ej.: cambiar los cantos vivos por superficies redondeadas.

En el diseño de piezas es imprescindible considerar el tamaño de la misma, ya que para mayores volúmenes de material sometido a esfuerzo, aumenta la probabilidad de que se origine un punto débil hasta en un 15%.

### 2.3.2 Tratamientos superficiales

En el mecanizado se pueden producir rayas o pequeños valles, produciendo una disminución en la vida útil del material, ya que son pequeñas grietas donde es más fácil que éstas avancen produciendo la fractura.

Estas imperfecciones se pueden solucionar puliendo la probeta, aumentando así la vida útil de la misma.

Otra forma de aumentar el rendimiento, es mediante granallado. Este proceso consiste en proyectar, a altas velocidades, partículas pequeñas y duras, deformando la superficie a tratar para generar esfuerzos residuales de compresión.

### 2.3.3 Endurecimiento superficial

Es una técnica mediante la cual se aumenta la dureza superficial de los aceros aleados. Estos se llevan a cabo por carburación o nitruración, en donde se expone el material a una atmosfera rica en carbono o nitrógeno. Estos elementos, mediante difusión atómica, forman una pequeña capa con mayor porcentaje de carbono o nitrógeno, aumentando con ésta la vida útil del material.

### 2.3.4 Corrosión Fatiga

La fatiga por corrosión ocurre cuando, además de las tensiones fluctuantes, se ataca químicamente al material. Esto ocurre cuando el medio es altamente corrosivo, generando picaduras que funcionan como concentradoras de tensiones, disminuyendo la vida útil del material.

## 3. La Máquina

### 3.1 Funcionamiento

Una máquina de ensayos de fatiga por flexión rotativa en voladizo permite obtener los parámetros fundamentales para determinar la resistencia a la fatiga, para ello, una barra de prueba se sostiene en un extremo mediante un mandril fijo, anclado a un eje que se conecta al motor, el otro extremo de la barra se agarra con otro mandril; pudiendo así, desplazarlo libremente sobre el eje vertical. Mediante una guía roscada se eleva el mandril móvil, flexionando la probeta a compresión en la parte superior, y tracción en la inferior. Al girar la probeta flexionada, las capas se someten a compresión y tracción alternativamente, produciendo la fatiga al material. [4]

Tras cierto número de ciclos de carga la probeta puede, o no, romperse. En caso de romperse el motor se para automáticamente y mediante un controlador electrónico se obtienen las revoluciones realizadas y la carga sometida.

Se necesitan varios ensayos para obtener curvas S-N confiables que permitan determinar la resistencia a la fatiga de los materiales. [2]

Los ensayos de fatiga son pruebas destructivas recomendadas como parte del conjunto de ensayos básicos para la elección de un material.

### 3.2 Optimización de la Máquina

Los cambios realizados se efectuaron sobre la máquina construida anteriormente, modificando aquellas partes que influían negativamente en los ensayos. No fue necesaria una reconstrucción completa de la misma, sino que solo se modificaron algunos componentes.

#### 3.2.1 Bancada

Se diseñó ahora la bancada para ser lo suficientemente robusta para soportar los esfuerzos ocasionados en los ensayos; los perfiles cajón empleados fueron de diferentes dimensiones (6 Perfiles 60x40 mm; 4 Perfiles 50x30 mm; 2 Perfiles 70x30 mm)

Los soportes para los porta rodamientos y las bases de las guías se construyeron con planchuelas de 148x60x3 mm suplementadas para lograr que el eje y la probeta estén sobre el mismo nivel y evitar aportarle esfuerzos no deseados.

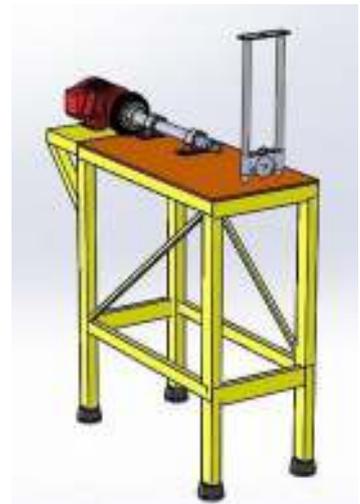


Figura 3. Máquina ensamblada

Se reforzó la bancada de la máquina con el objetivo de lograr mayor rigidez estructural y mayor resistencia a las vibraciones, esto se logró utilizando travesaños diagonales como se observa en la figura 3.

Se cambió el soporte del motor y su sistema de transmisión para evitar el uso de poleas y correas que pueden ocasionar cargas adicionales en el eje del motor.

Además, en la base de la bancada se agregaron tacos anti vibratorios que permiten disipar las vibraciones que pueden generarse y evitar así influencias no deseadas en los ensayos.

### 3.2.2 Guías y soporte de mandril móvil

Para el soporte móvil se utilizó un cilindro macizo de acero trefilado SAE1045, de diámetro 75mm y 50 de espesor, donde fue mecanizado un agujero de diámetro 40mm para introducirle un bolillero SKF 6205 que sostiene un eje con el mandril y la probeta.

Este soporte está unido, mediante dos bujes, a dos correderas que se trasladan verticalmente sobre dos guías. Sobre este soporte se efectúa la carga que flexiona la probeta, diseñado especialmente para permitirle al mandril un movimiento de rotación solidario a la probeta.

La carga se efectúa mediante una varilla roscada, solidaria a una rosca ubicada en una planchuela sobre la parte superior de las guías, la cual está conectada mediante una celda de carga a las correderas. Al girar la varilla se ejerce una fuerza que eleva el mandril y flexiona la probeta.

Con la celda de carga se mide la fuerza aplicada a la probeta que luego se traduce en un valor de tensión.



Figura 5. Guías y soporte de mandril móvil

### 3.2.3 Motor y sistema de transmisión

Se reemplazó el motor de  $\frac{1}{2}$  Hp con 13.000 rpm por un motor eléctrico monofásico de 1 Hp de potencia a 2850 rpm. Se cambió el sistema de transmisión de poleas por un acople flexible (tipo "gummi") el cual permite transmitir el movimiento de rotación al eje y absorber posibles vibraciones provenientes del motor, evitando también una carga adicional generada por las poleas y transmitidas al eje.

### 3.2.4 Eje principal y porta bolillero

La función del eje principal es transmitir la rotación del motor a la probeta. Partiendo de un eje macizo de 40mm de diámetro y 340 mm de largo; el mismo fue mecanizado para lograr las dimensiones requeridas, en un extremo se conecta el acople flexible y en el otro extremo, un mandril fijo.

Se optimizó el diseño de los porta rodamientos cambiando principalmente los rodamientos rígidos de bolas por rodamientos de bolas a rótula auto alineables, estos permiten una mayor tolerancia a las desalineaciones angulares del eje en relación con los soportes.

Estos rodamientos generan menor fricción que los antes usados, dando mayor vida útil al rodamiento, menor mantenimiento y un funcionamiento más silencioso. El nuevo diseño de los porta rodamientos permite contenerlos en una caja lubricada, sellada con retenes de

nitrilo para incrementar su vida útil y mejorar sus condiciones de servicio. Los porta rodamientos están abullonados a la bancada y permiten acompañar el giro del eje.

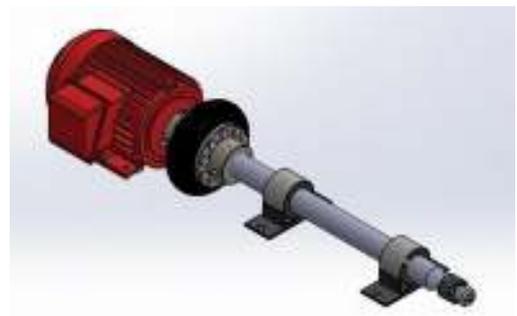


Figura 6. Eje principal, manchón de acople, porta bolilleros y motor.

#### 4. Resultados experimentales y comparación

##### a) Verificación de la mejora obtenida

Una vez realizadas las modificaciones consideradas para la mejora de la máquina anterior se efectuaron ensayos para observar la efectividad de los cambios. En el siguiente gráfico, se observan tres curvas, una curva correspondiente a los resultados de la máquina en su primera versión (máquina 1.0), otra curva que demuestra los avances en la máquina actual (máquina 2.0), y por último una curva teórica obtenida mediante cálculos basados en la teoría: [11]

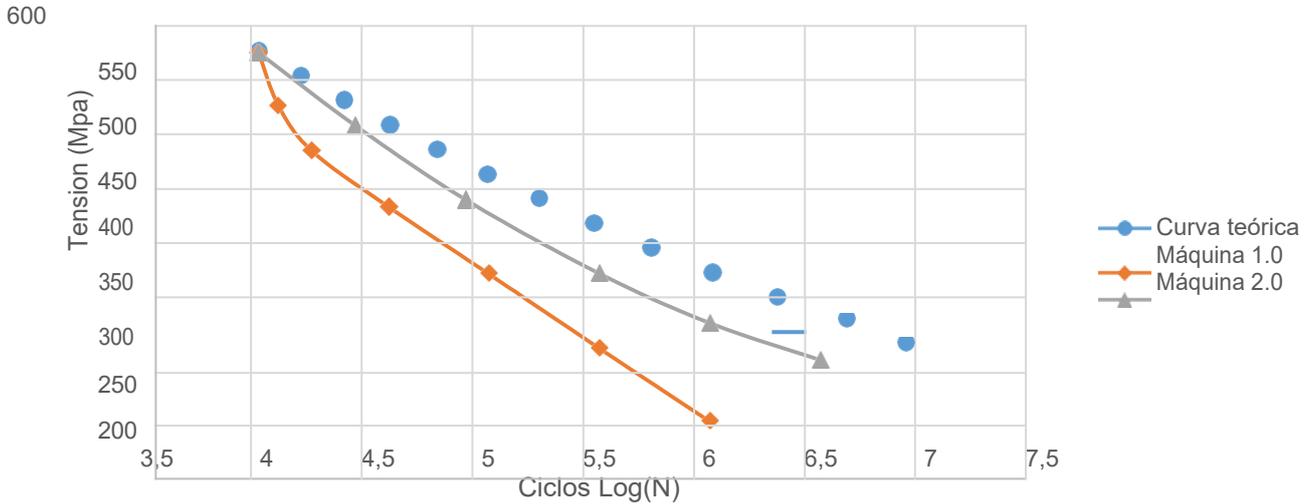


Figura 7. Comparación de curvas obtenidas.

Como se puede observar en la figura 7, existe una muy buena aproximación hacia la curva teórica. La mejora es de un 16% respecto de la máquina anterior. Las modificaciones realizadas en la segunda versión de la máquina, permite obtener curvas que se aproximan en un 7% respecto de las curvas teóricas.

##### b) Análisis de la influencia de distintas terminaciones superficiales

Habiendo logrado una mejora en el funcionamiento de la máquina, se estudiaron los efectos que causan en la resistencia a la fatiga dos tipos de tratamientos superficiales; el granallado y el pulido. En la curva que se muestra a continuación, se puede observar la diferencia existente:

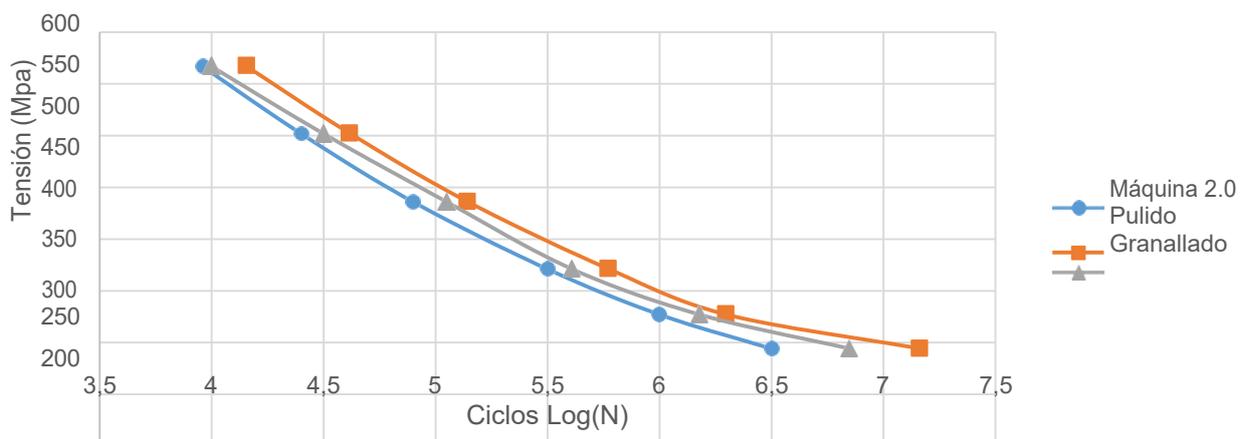


Figura 8. Comparación de resistencia a la fatiga bajo distintas terminaciones superficiales.

Como primera cuestión a observar, el shot peening (granallado), al introducir tensiones a nivel superficial mejora el comportamiento a la fatiga del material, logrando una mejora del 2,7% respecto a la curva obtenida con la máquina actual y la probeta estandarizada sin terminaciones cambiadas.

El pulido en la probeta brinda una terminación casi espejo en la superficie, quitando la mayoría de las imperfecciones que pueden generar el inicio de la rotura, obteniéndose como resultado una mejora del 5,5% respecto de la estándar.

## 5. Conclusiones

En el presente trabajo se procedió a la optimización de una máquina para ensayos de fatiga por flexión rotativa, para luego realizar ensayos comparativos entre diferentes terminaciones superficiales.

El objetivo de este proyecto fue analizar los errores y encontrar sus fuentes, para lograr mejora y confiabilidad en los resultados de los ensayos, analizar y comparar los datos obtenidos antes y después de la optimización, lo cual se logró satisfactoriamente.

Se ensayaron además, probetas de acero trefilado SAE 1045, con dos tipos de terminaciones superficiales: granallado y pulido. Se pudo observar en porcentajes las mejoras que causa cada terminación sobre la durabilidad y resistencia a la fatiga.

La optimización de esta máquina contribuirá a la capacitación de alumnos y a establecer la posibilidad de realizar ensayos de fatiga para ser utilizados en futuros proyectos de investigación dentro de nuestra institución. Además se podrá estudiar el fenómeno de fatiga en orden a adquirir herramientas conceptuales para enfrentar situaciones típicas de la industria local y regional.

## Agradecimientos

Al Ing. Marcos Marino (UTN-FRVM), Dr. Ing. Eldo José Lucioni (UTN-FRVM), Ing. Eduardo Cerrutti (UTN-FRVM), Ing. Martín Pesci (UTN-FRVM), Ing. Carlos Tais (UTN-FRVM), Ing. Pedro Girauo (UTN-FRVM) por el apoyo prestado para la elaboración del trabajo.

## Referencias

- [1] González, M. *Fatiga de Materiales*. Sitio Web (2016): [www.fisica.laguia2000.com](http://www.fisica.laguia2000.com)
- [2] Medina Bejarano, E. *Ensayo de fatiga*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Sitio Web (2016): [www.udistrital.edu.co](http://www.udistrital.edu.co)
- [3] *Fatiga en materiales*. Sitio Web (2016): [www.en.wikipedia.org](http://www.en.wikipedia.org)
- [4] *Fatigue Testing Machine*. Sitio Web (2016): [www.gunt.de](http://www.gunt.de)
- [5] González Arias, A. y Palazón, A.C.A. *Ensayos Industriales*. 6ta Edición. Litenia. Buenos Aires, 1967.
- [6] Apraiz Barreiro, J. *Tratamiento Térmicos de los Aceros*. 4ta Ed. Dossat. Madrid, 1961.
- [7] ASM Handbook. *Fatigue and Fracture*. Vol. 19. 1996.
- [8] Weibull, W. *Fatigue testing and analysis of results*. Pergamon. 1968.
- [9] Fuchs, H.O.; Stephens, R.I. *Metal Fatigue in Engineering*. Wiley. 1980.
- [10] Socie, D.F.; Mitchell, M.R.; Caulfield, E.M. *Fundamentals of Modern Fatigue Analysis*. University of Illinois. 1977.
- [11] Diseño de elementos de máquinas – Virgil Moring Faires. 1998.

# INFLUENCIA DE LA GLUCOSA COMO CO-SUSTRATO EN LA BIODEGRADACIÓN DE FURFURAL

Autores: Fontana Gimena L.<sup>1</sup>, Sánchez Dania T.<sup>1</sup>  
Tutores: Mg. Farías Alejandro R.<sup>1</sup>, Lic. Hervot Elsa I.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Grupo de Investigación Sobre Temas Ambientales y Químicos, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Resistencia. French 414, Resistencia, Chaco.  
E-mail: gimenalilianfontana@gmail.com, sanchez.dania23@gmail.com

## 1. Resumen

Este trabajo presenta los resultados de una investigación acerca de cómo influye la presencia de glucosa, como fuente adicional de carbono, en la biodegradación de furfural mediante bacterias autóctonas, obtenidas a partir de lodos de la planta de tratamiento de efluentes de una empresa taninera de la provincia del Chaco, durante investigaciones previas. Se evaluó la degradación de furfural en un efluente sintético compuesto por M9, cloruro de calcio 1M, sulfato de magnesio 1M y furfural en concentraciones entre 100 y 600 ppm. Se contrastaron los resultados obtenidos al utilizar furfural como única fuente de carbono y al agregar glucosa como co-sustrato. Se incubaron en los efluentes sintéticos a 30 °C y en oscuridad, hasta por 6 días, las cepas de *Bacillus licheniformis* y *Microbacterium sp*, previamente activadas en agua de peptona. Se realizó el seguimiento de la biorremoción mediante HPLC. Se consiguió un 97 % de remoción en concentraciones de furfural de hasta 600 ppm y mediante análisis de varianza, se concluye que el agregado de co-sustrato en las cepas estudiadas, no logra diferencias significativas en el porcentaje de remoción.

*Palabras Clave:* biodegradación, furfural, co-sustrato, bacterias autóctonas.

## 2. Introducción

La contaminación del medio ambiente es una de las mayores preocupaciones para la ciencia y la humanidad en los últimos años. El mundo industrializado se enfrenta a la contaminación de suelos, fuentes de agua y aire con xenobióticos peligrosos y tóxicos. Un ejemplo de contaminante industrial es el furfural que tiene la particularidad de ser un compuesto recalcitrante, inhibidor del desarrollo microbiano y potencialmente tóxico para la biota acuática (Crönert, et. al. 1969).

El furfural es un hidrocarburo heterocíclico derivado del furano, considerado un contaminante primario y secundario que se emite a la atmósfera principalmente por fuentes antropogénicas (Andreae and Merlet, 2001; Ciccioli et al., 2001; Christian et al., 2003). Proviene del procesamiento de la madera, materia prima utilizada en fábricas de tanino.

El presente estudio se realizó con los efluentes de una planta productora de furfural de una industria taninera localizada en la provincia del Chaco. La fabricación de este aldehído heterocíclico a partir de aserrín de quebracho colorado, una vez extraído el tanino, genera en la primera etapa de destilación un efluente líquido denominado aguas madres. Éstas carecen de microorganismos, poseen valores de pH entre 2-3 y altas concentraciones de compuestos orgánicos, particularmente ácido acético y furfural, con una concentración aproximada de éste último de 700ppm. Tales compuestos, de características complejas, constituyen un efluente recalcitrante y deben ser eliminados debido al efecto tóxico que tienen sobre los seres vivos. Dicha toxicidad, se relacionaría con la formación de compuestos con determinadas moléculas orgánicas como lípidos, proteínas y ácidos nucleicos (Singh K., 1995) y también, con daños sobre la membrana plasmática (Zaldivar et. al 1999).

Como todo efluente industrial, previamente a su vuelco a un cuerpo receptor, debe ser sometido a un tratamiento para que los parámetros cumplan con los valores de vuelco que establece la Ley Provincial N°3230: "Código de Aguas de la Provincia del Chaco".

En la actualidad existen investigaciones que apuntan a la reducción o eliminación de hidrocarburos y sustancias peligrosas, presentes en los efluentes, a través de microorganismos, ya que éstos, pueden utilizarlos como nutrientes. La degradación de los contaminantes tiene lugar cuando una comunidad microbiana específica está presente en el sitio contaminado. Los microorganismos que integran estas comunidades (o al menos algunos de ellos) utilizan los hidrocarburos contaminantes como fuente de carbono y energía para su crecimiento y reproducción. Sin embargo, la eliminación del contaminante del ambiente por parte de los microorganismos depende de las condiciones que prevalecen en el ambiente (Álvarez, 2015). En trabajos anteriores se aislaron cuatro microorganismos capaces de degradar furfural, tres de ellos, fueron identificados como *Bacillus licheniformis*, *Microbacterium sp.*, *Pseudomonas sp.*, y una permanece aún sin identificar. Las identificaciones fueron realizadas mediante la secuenciación de un fragmento del gen 16S ARNr.

Se tienen antecedentes de que enzimas producidas por *Bacillus licheniformis* son estables en presencia de solventes orgánicos (Loncar, et. al., 2016) y tolera concentraciones de hasta 3000ppm de furfural, vainillina o ácido fórmico (Li, et. al., 2014). Asimismo, se encontraron antecedentes de que suelos contaminado con arsénico (Kaushik, et al., 2012), ácido quinolin-4-carboxílico (Röger, Lingens., 2002), benzopireno (A. Mansouri, et al., 2017) albergan bacterias como *Microbacterium sp.*, por lo que podrían desempeñar un importante papel en la biorremediación del suelo.

Los procesos de biorremoción pueden promoverse utilizando compuestos de carbono específicos para estimular las comunidades microbianas autóctonas del suelo a fin de mejorar las tasas o el grado de degradación. (Velasco, et al., 2017)

El objetivo de este trabajo fue evaluar cómo influye la presencia de glucosa, como fuente adicional de carbono, en la biodegradación de furfural mediante dos de las cuatro cepas bacterianas autóctonas obtenidas, en investigaciones previas.

### 3. Materiales y Métodos

#### 3.1. Preparación del inóculo:

Se multiplicaron por separado en medio líquido dos de las cuatro cepas capaces de degradar furfural aisladas de los lodos de una planta de tratamiento de efluentes.

Las cepas de *Bacillus licheniformis* y *Microbacterium sp*, conservadas en agar se activaron en agua de peptona al 1%p/v y sales minerales durante 48 h. Los microorganismos obtenidos de esta forma se inocularon en un medio mínimo de M9 y glucosa y se incubaron durante 24 h a 30°C.

#### 3.2. Preparación de un efluente sintético:

Se prepararon dos tipos de efluentes sintéticos compuesto el primero por 10 mL de M9 (34g/L  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ , 15 g/L  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , 2,5 g/L NaCl, 5 g/L  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) complementado con 5  $\mu\text{L}$  de  $\text{CaCl}_2$  1M, 0,1 mL de  $\text{MgSO}_4$  1M, como medio mineral y furfural como única fuente de carbono en concentraciones crecientes desde 100 a 600ppm, para evaluar la degradación sin el co-sustrato (glucosa). De la misma manera, al segundo, con un medio líquido idéntico al mencionado, se adicionaron 4 g/L de glucosa para evaluar la degradación de furfural en presencia de ésta.

#### 3.3 Ensayo de biorremoción

A los efluentes sintéticos se agregaron 5 mL del inóculo correspondiente aproximadamente a  $10^6$  UFC/mL, de la muestra inoculada. Se trabajó por triplicado y con un blanco de crecimiento negativo (sin inóculo), en erlenmeyers de 250 mL de capacidad que contenían 50 mL de medio,

éstos se incubaron hasta por 6 días, a 30°C y en oscuridad para evitar la oxidación natural que sufre el furfural en presencia de luz (Zheng, et. al., 2015).

Se realizó el seguimiento de la concentración de furfural por Cromatografía Líquida de Alto Desempeño (HPLC) mediante un equipo Shimadzu CBM 20A que cuenta con un detector UV SPD 20A. La longitud de onda seleccionada fue de 278 nm y se utilizó una columna de fase inversa C18 a 40°C y una mezcla de acetonitrilo – agua como fase móvil.

### 3.4 Método estadístico

Para determinar la existencia de diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las medias que se obtuvieron en el porcentaje de remoción con y sin el agregado de glucosa como co-sustrato, se realizó el análisis de varianza (ANAVA) sobre los datos recolectados.

## 4. Resultados

### 4.1 Ensayos de Biorremoción

A continuación, se presentan las tablas correspondientes a cada cepa evaluada con los resultados de la biorremoción de furfural (medidos hasta que la concentración del mismo se consideró despreciable). Se muestran las diferentes concentraciones utilizadas y sus respectivos porcentajes de remoción seguidas de los gráficos comparativos de la utilización del co-sustrato.

Tabla I: Seguimiento del consumo de furfural por *Bacillus licheniformis* con y sin el agregado de co-sustrato.

Con Glucosa	Muestra	Concentración Furfural (ppm)						% De Remoción
		Día 0	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 6	
Con Glucosa	Concentración Baja	117	1,46	0,07				99,94
	Concentración Media	411	205	82	18	3		99,26
	Concentración Alta	648	527	432	342	201	1,21	99,81
Sin Glucosa	Muestra	Concentración. Furfural (ppm)						% De Remoción
		Día 0	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 6	
Sin Glucosa	Concentración Baja	113	6	0,66				99,41
	Concentración Media	345	211	100	16	5		98,56
	Concentración Alta	617	406	242	87	47	2	99,65

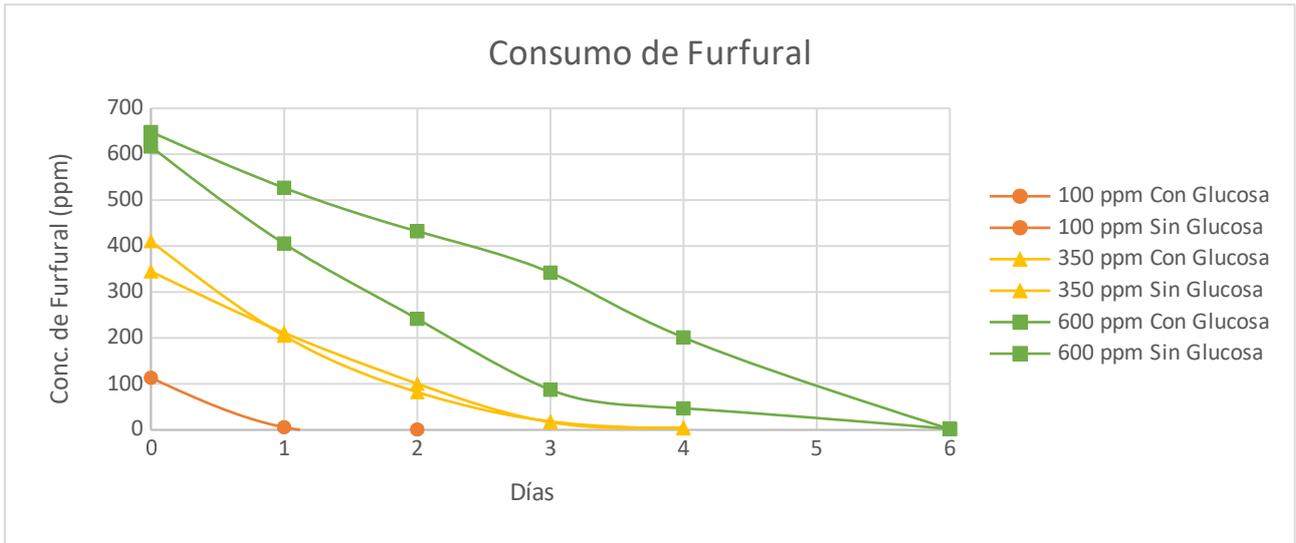


Fig. 1: Gráfico comparativo del consumo de furfural por *Bacillus licheniformis* con y sin el agregado de co-sustrato a distintas concentraciones.

Tabla II: Seguimiento del consumo de furfural por *Microbacterium sp.* con y sin el agregado de co-sustrato.

Con Glucosa	Muestra	Concentración Furfural (ppm)					% De Remoción
		Día 0	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	
	Concentración Baja	125	64	0,12			99,90
	Concentración Media	401	266	61	5		98,70
	Concentración Alta	618	430	341	174	21	96,55
Sin Glucosa	Muestra	Concentración Furfural (ppm)					% De Remoción
		Día 0	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	
	Concentración Baja	113	34	0,62			99,45
	Concentración Media	396	267	37	0,86		99,78
	Concentración Alta	627	443	370	34	6	99,11

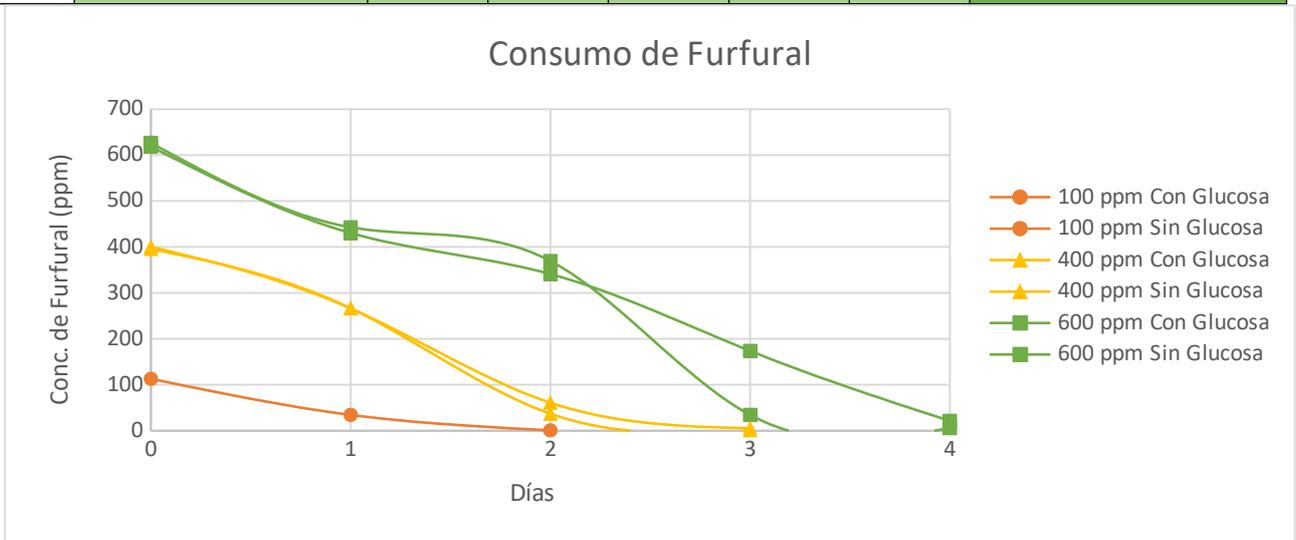


Fig.2: Gráfico comparativo del consumo de furfural por *Microbacterium sp.* con y sin el agregado de co-sustrato a distintas concentraciones.

En todos los ensayos desarrollados, donde se utilizó furfural como una fuente de carbono y glucosa agregada como co-sustrato, se obtuvieron remociones mayores al 95% (Tabla I y II). Se observa que *Micobacterium sp* produce una degradación del furfural en menor tiempo que *Bacillus licheniformis* (Figura 1 y 2).

#### 4.2. Análisis Estadístico

El análisis de varianza realizado para las medias de los porcentajes de remoción con y sin el agregado de glucosa como co-sustrato, se muestra en la figura 3. El p-valor es mayor a 0.05, lo que indica que las medias de los tratamientos no son significativamente diferentes.

Medidas resumen

Glucosa	Variable	Media
No	%Remoción	99.33
Si	%Remoción	99.03

Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
%Remoción	12	0.03	0.00	0.98

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.27	1	0.27	0.29	0.6051
Glucosa	0.27	1	0.27	0.29	0.6051
Error	9.47	10	0.95		
Total	9.74	11			

Figura 3: Análisis de Varianza

#### 5. Discusión

En investigaciones de biorremoción de suelos contaminados con hidrocarburos (Bocángel Rodríguez, 2016), se utilizan los mismos como única fuente de carbono sin la necesidad de adicionar co-sustrato, dando resultados similares a los obtenidos en los ensayos realizados en este trabajo.

Teniendo en cuenta que el furfural es un compuesto recalcitrante, las concentraciones de 600ppm no resultaron inhibitoras para las cepas estudiadas. Además, el furfural fue removido prácticamente en su totalidad sin el agregado del co-sustrato. Se podría analizar la biorremoción de mayores concentraciones del mismo, ya que se encuentran bibliografías de microorganismos capaces de tolerar concentraciones mayores a 2000ppm (Hunter, et. al. 2014).

#### 6. Conclusiones

Tanto *Micobacterium sp* como *Bacillus licheniformis* producen una remoción mayor al 95% de furfural en períodos cortos de tiempo (entre 2 y 6 días) cuando el contaminante se encuentra en concentraciones entre 100 y 600 ppm.

No se encontraron evidencias para concluir que los tratamientos ensayados provocan diferencias en el promedio del porcentaje de remoción de furfural, utilizando glucosa como co-sustrato.

#### 7. Bibliografía

Álvarez, H. Biorremediación de ambientes contaminados con hidrocarburos: un proceso complejo que involucra múltiples variables. Revista QuímicaViva. nº 1, pp. 18-25. 2015.

Bocángel Rodríguez, C. Evaluación De La Eficacia De Un Consorcio Bacteriano Aislado En La Base Peruana “Machu Picchu”- Antártida En La Bioremediación De Suelos Contaminados Con Hidrocarburos De Petróleo, A Nivel De Terrarios. Tesis Profesional de Bióloga Microbióloga Parasitóloga. Lima Perú. 2016.

Crönert, H. y D. Loeper. New industrial paths in the continuous production of furfural. Escher Wyss News. Vol2, pp. 69-77.1969.

Hunter, W. J., Manter, D. K. Pre-treatment step with *Leuconostoc mesenteroides* or *L. pseudomesenteroides* strains removes furfural from *Zymomonas mobilis* ethanolic fermentation broth. Bioresource Technology. Vol 169, pp 162–168. 2014.

Kaushik P., Rawat N., Raghuvanshi M., Bhatnagar P., Swarnkar P. y Flora S. Arsenic Hypertolerance in Four *Microbacterium* Species Isolated from Soil Contaminated with Textile Effluent. Toxicology International. Vol. 19, pp.188-194. 2012.

Li L., Li K., Wang K., Chen C., Gao C., Ma C. y Xu P. Efficient production of 2,3-butanediol from corn stover hydrolysate by using a thermophilic *Bacillus licheniformis* strain. Bioresource Technology. Vol. 170, pp. 256–261. 2014.

Loncar N., Bozi N. y Vujci Z. Expression and characterization of a thermostable organic solvent-tolerant laccase from *Bacillus licheniformis* ATCC 9945a. Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic. Vol. 134, pp. 390–395. 2016.

Mansouri, A., Abbes, C., Landoulsi, A. Combined intervention of static magnetic field and growth rate of *Microbacterium maritopicum* CB7 for Benzo(a) Pyrene biodegradation. In Microbial Pathogenesis. Vol. 113, pp. 40-44. 2017.

Röger P., Lingens F. Degradation of quinoline-4-carboxylic acid by *Microbacterium* sp. FEMS Letters. Vol. 57, pp. 279-282. 2002.

Singh, N., Khan A. Acetaldehyde: genotoxicity and cytotoxicity in human lymphocytes. Mutat. Res. Vol. 337, pp. 9-17. 1995.

Velasco A., Aburto, A., Medinacá E., Shahsavaric S., Ortiz, R. Degradation mechanisms of DDX induced by the addition of toluene and glycerol as cosubstrates in a zero-valent iron pretreated soil. Journal of Hazardous Materials. Vol. 321, pp. 681-689. 2017.

Villanueva F., Cabañas B, Monedero E., Salgado S., Bejan I., Martín P. Atmospheric degradation of alkylfurans with chlorine atoms: Product and mechanistic study. Atmospheric Environment. Vol. 43, pp. 2804. 2009.

Zaldivar, J., Ingram, L., Martínez, A. Effect of selected aldehydes on the growth and fermentation of ethanol organic *Escherichia coli*. Biotechnol Bioeng. Vol. 65, pp. 24-33. 1999.

Zheng, D., Bao, J., Lu, J. & Gao, C. Isolation and characterization of a furfural-degrading bacterium *Bacillus cereus* sp. strain DS1. Current Microbiology. Vol. 70, pp. 199-205. 2015.

# DESARROLLO DE DISCO PARA EL PULIDO DE PEZUÑAS DE GANADO BOVINO

Román A. Lagares, Alberto A. Parola, Pablo G. Loeffel

Tutor: Mg. Carlos R. Colazo

UTN-FRVM Avda. Universidad 450 (5900) Villa María Córdoba

## Resumen

El objetivo fue diseñar y producir un disco para el pulido de las pezuñas del ganado bobino, construido principalmente de una fundición de aluminio y otros metales que contienen diferentes elementos en su composición, para obtener un grado de resistencia a la abrasión, al impacto que garantice un producto de excelente calidad y funcionalidad.

La diferencia principal con un disco abrasivo tipo Flapp y/o esmeril de distinta granulometría, es que este disco mantiene la temperatura de la pezuña en todo momento, a su vez no emite partículas de polvo que impidan la visión, o generen un olor desagradable, por el mismo roce del material del disco y la pezuña, si no que al contrario, al operar con este disco de 6 insertos el mismo genera una viruta en forma de feta, que no genera ni polvo, ni olor, por lo que hace un ambiente de trabajo más agradable.

Como conclusión el desarrollo ha permitido que los médicos veterinarios y los podólogos en general cuenten con una herramienta totalmente nacional y con las características técnicas que compiten exitosamente con los discos provenientes de otros países, además de tener un precio mucho más accesibles para los consumidores nacionales.

## Palabras clave

Podología bobina, Discos de desgaste, Calidad de la Leche, Herramientas pódalas, Pérdidas económicas. Implementos bovinos.

## Introducción

El crecimiento de la pezuña es relativamente lento esto es a una tasa aproximada de 5 mm por mes. La forma de la pezuña es el producto de la tasa de crecimiento versus la tasa de desgaste. El sobre crecimiento es más o menos una consecuencia natural de las condiciones de alimentación y alojamiento comunes a los sistemas de producción intensivos. La dinámica del crecimiento de las pezuñas son incluso más exageradas en vacas que han experimentado laminitis. El principal propósito del recorte de pezuñas es restablecer la superficie de apoyo o de soporte de peso corporal dentro y entre las pezuñas, así como la corrección de las lesiones pódalas en su estado inicial. Dependiendo de las condiciones de pastoreo, prevalencia de laminitis, enfermedades de la pezuña y desgaste de la misma, se podría valorar la condición y tamaño de las pezuñas para en su caso poder realizar un recorte de mantenimiento al momento del secado. [Castillo Ortega F., 2014].

Los tratamientos de las afecciones pódalas del bovino se realizan en nuestra zona mediante la sujeción del animal que se realiza en el potro, manga o brete de ordeño, con el miembro afectado levantado y fijado correctamente, pero en su mayoría no preventivo sino curativo de allí las grandes pérdidas económicas. Los tratamientos quirúrgicos de las distintas afecciones del pie bovino consisten básicamente en la eliminación de todos los tejidos necrosados respetando al

máximo los tejidos sanos, dar la mejor forma posible a la estructura córnea, realizar vendajes para la mejor acción terapéutica de los medicamentos locales y aliviar el dolor. [Perusia O., 2001].

Uno de los problemas que encontramos en nuestra zona lechera, que los médicos veterinarios para disminuir la incidencia de afecciones pódalas (en especial pietín), haciendo un control más efectivo, mejorando así la producción bovina y el bienestar animal, es que los discos de desbastes existentes para realizar un tratamiento en las pezuñas del ganado bovino, son importados y con un alto costo de comercialización en nuestro país.

El objetivo fue diseñar y producir un disco para el pulido de las pezuñas del ganado bobino, construido principalmente de una fundición de aluminio y otros metales que contienen diferentes elementos en su composición, para obtener un grado de resistencia a la abrasión, al impacto que garantice un producto de excelente calidad y funcionalidad.

### **Diseño.**

El diseño del mismo se alcanzo a través de relevar distintos discos de podología que se observan en el mercado argentino pero que en su mayoría son adquiridos por medios, páginas y/o proveedores extranjeros, debido a que en el medio local solo se fabrican o venden discos abrasivos de tipo flap, o lija de distintas granulometrías que generan temperatura y olores desagradables por el propio roce del material del disco con la pezuña y que a nuestro criterio no es un tratamiento adecuado de desbaste de pezuñas.

Motivo por el cual se decide fabricar un disco de podología que involucre las principales ventajas que presentan los diferentes modelos y que a nuestro criterio favorecen el accionar del mismo; tras diversas pruebas a campo y luego de realizar diferentes diseños, se termino diseñando un modelo similar a un disco de procedencia extranjera, pero se prestó mayor atención en obtener un disco más liviano, y con una distribución de insertos en forma radial que favorecen el trabajo en los distintos puntos donde se debe desbastar la pezuña, el modelo se realizo en programa de diseño 3D en software SolidWork, el cual básicamente es una disco de aleación de aluminio perfectamente balanceado y ventilado para favorecer el enfriamiento de la pezuña del animal.

### **Desarrollo**

Es un disco de podología totalmente construido por nuestra cooperativa, el mismo es fabricado a través de una fundición de aluminio que contienen diferentes elementos en su composición, para garantizar un grado de resistencia a la abrasión, al impacto que garantice un producto de excelente calidad y funcionalidad. En la Figura N° 1, podemos observar el diseño de nuestro disco de pulido.

Este disco está compuesto por una aleación de aluminio, sílice, manganeso, carbono, lo que permite una gran tenacidad y resistencia a la abrasión.

El mismo tiene una dimensión de 120 mm de diámetro exterior y una pequeña concavidad que ocasiona que el disco pueda utilizarse tanto sobre la base de la pezuña del animal como por el contorno de los bordes de la pezuña.

Consta de seis (6) insertos de widia especialmente fabricados para este disco, y los repuestos y accesorios del mismo son todos de fabricación nacional.

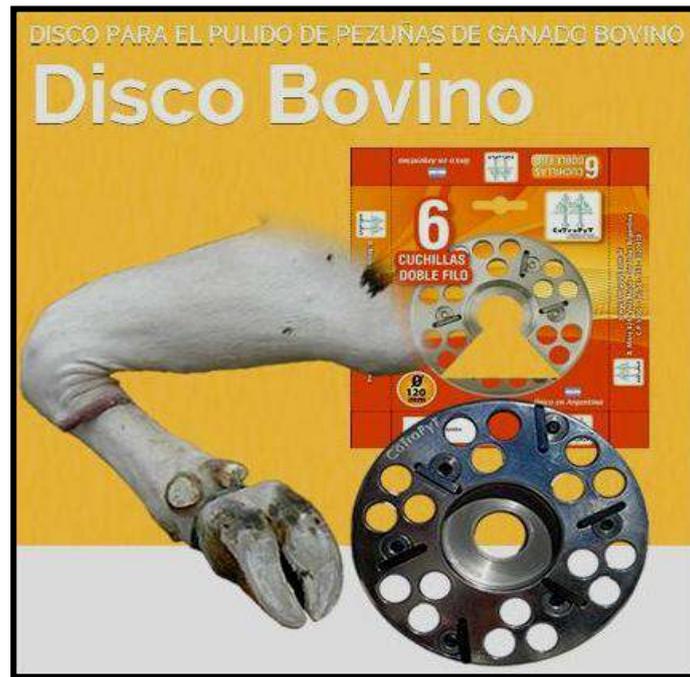


Figura N° 1 Diseño del disco de pulido

Estos insertos están provistos de doble filo, y son regulables en altura a través del tornillo de sujeción, lo que garantiza que el operario puede regularlo según su conveniencia, para lograr un mayor o menor filo de corte.

Los agujeros que este disco posee además de generar una pequeña aireación hacia la pezuña del animal nos permite enfriar la zona de trabajo tanto sea del disco como de la pesuña del animal, garantizando de esta forma que al girar el disco a altas revoluciones de trabajo el mismo permite ver la pezuña de manera que en todo momento se tiene visión de la zona de trabajo, cosa que no ocurre con otros discos abrasivos.

La diferencia principal con un disco abrasivo tipo Flapp y/o esmeril de distinta granulometría, es que este disco mantiene la temperatura de la pezuña en todo momento, a su vez no emite partículas de polvo que impidan la visión, o generen un olor desagradable, por el mismo roce del material del disco y la pezuña, si no que al contrario, al operar con este disco de 6 insertos el mismo genera una viruta en forma de feta, que no genera ni polvo, ni olor, por lo que hace un ambiente de trabajo más agradable.

### **Fabricación.**

Es un disco de podología totalmente construido por nuestra cooperativa, el mismo es fabricado a través de una fundición de aluminio que contienen diferentes elementos en su composición, para garantizar un grado de resistencia a la abrasión, al impacto que garantice un producto de excelente calidad y funcionalidad. Esta fundición se logra a través de diferentes cantidades de los componentes mencionados anteriormente, los cuales luego de ser fundidos pasan por un medio de colada, y a posterior se coloca en una matriz con una forma de similares características pero que requieren un proceso final de desbaste y acabado.

La diferencia principal con respecto a un disco extranjero es que el mismo se obtiene de una fundición y no de trozo/tocho de un material de aluminio.

El proceso de maquinado y desbaste se realizó en un centro de mecanizado, donde el mismo recibe el diseño y codificación a través del CAD (diseño asistido por computadora) y luego la máquina lo ejecuta, la tarea de terminación final y pulido se obtiene por intermedio de un torno paralelo y trabajos manuales.

Los insertos fueron diseñados y enviados a fabricar por nuestra cooperativa, por lo cual el diseño y fabricación es netamente propia y de nuestra nacionalidad.

Lo que garantiza un menor costo, un stock permanente de repuestos y un mercado local en constante abastecimiento.



Figura N° 2 Vista anterior y posterior del disco de desbaste

## **Conclusión**

Como conclusión el desarrollo ha permitido que los médicos veterinarios y los podólogos en general cuenten con una herramienta totalmente nacional y con las características técnicas que compiten exitosamente con los discos provenientes de otros países, además de tener un precio mucho más accesibles para los consumidores nacionales.

## **Bibliografía**

Castillo Ortega; Fernando I. "Importancia de un Diagnóstico Temprano en los Problemas de Cojeras en Ganado Lechero" FonaHoltein 2014.

Perusia Oscar. "Patologías pódales del bovino". Revista SciELO. 12(2) 65.67 Perú. 2001.

# ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DE CURVA DE TASA SPOT TEÓRICA EN BONOS SOBERANOS DEL ESTADO ARGENTINO NOMINADOS EN DÓLARES Y POTENCIALES ARBITRAJES EN EL AÑO 2016

**Pablo G. Loeffel, Alberto A. Parola, Maximiliano Parola, María C. Stropiano**

**Tutor: Mg. Carlos R. Colazo**

Email; infoampyt@gmail.com

UTN-FRVM Avda. Universidad 450 (5900) Villa María Córdoba

## **Resumen:**

Se desarrolla un sistema que permite determinar “La curva de Tasa Spot Teórica”, o también conocida como “Curva de Cupón Cero”, dicha curva representa al conjunto de tasas puras para distintos períodos a invertir, cada una de esas tasas corresponde a la cantidad a pagar por una unidad monetaria prestada hoy y devuelta en su momento del plazo a representar. La tasa Spot/Contado, está libre de las distorsiones que posee la tan utilizada TIR (tasa interna de retorno), la TIR resulta útil al analizar bonos, si se cumple solo con dos premisas: una vez comprado el bono por su TIR, se espera hasta el vencimiento del mismo; y cada uno de los cupones del bono, son reinvertidos a una tasa igual a la TIR comprada.

El problema actual para instrumentos de bonos argentinos, es la falta de publicación periódica en algún medio. La carencia de dicha información radica principalmente en su difícil construcción dada su complejidad metodológica por las características de los títulos públicos existentes en el mercado local.

Al no existir esta información periódica, el presente trabajo desea construir una curva de tasa Spot teórica fiable y con una metodología programada que almacene los resultados en una base de datos, obteniendo así, una fuente de información actualizada que analice la evolución de las diferencias entre el precio de cotización y la valuación exacta del bono.

## **Palabras clave**

Tasa Spot, Bonos Soberanos, TIR, Bono Bullet, Emisión de títulos públicos, Curva Cupón Cero.

## **Introducción**

La curva de Tasa Spot Teórica, o también conocida como Curva de Cupón Cero, representa al conjunto de tasas puras para distintos períodos a invertir, cada una de esas tasas corresponde a la cantidad a pagar por una unidad monetaria prestada hoy y devuelta en su momento del plazo a representar. La tasa Spot/Contado, está libre de las distorsiones que posee la tan utilizada TIR (tasa interna de retorno), la TIR resulta útil al analizar bonos, si se cumple solo con dos premisas: una vez comprado el bono por su TIR, se espera hasta el vencimiento del mismo; y cada uno de los cupones del bono, son reinvertidos a una tasa igual a la TIR comprada.

En la actualidad, la TIR es un valor conocido para todos los Títulos Públicos Soberanos emitidos en dólares y es dada como dato relevante al momento de analizar la inversión en un bono determinado, por el contrario, la curva de tasa spot teórica para instrumentos de similares características, no es publicada periódicamente en ningún medio.

La carencia de dicha información radica principalmente en su difícil construcción dada su complejidad metodológica por las características de los títulos públicos existentes en el mercado local. Estos condicionamientos deben ser tenidos en cuenta al momento de elaborar la curva de tasa spot. Se destacan dos grandes dificultades para la construcción de la curva para los bonos soberanos argentinos emitidos en dólares:

- Un número reducido de instrumentos, en comparación de mercados desarrollados, que poseen las mismas tipologías (Ley aplicable, Tipo de Amortización, Moneda de Emisión, Sin Rescate anticipado y Tipo de Tasa) por parte del mismo Emisor.
- Falta de bonos para ciertos plazos de vencimiento en la construcción de la curva.
- Una cantidad reducida de Bonos "Bullet" (un único pago de amortización al vencimiento), un bono con amortización Alemán, genera distorsiones en el resultado a obtener.
- Emisión de Títulos Públicos sometidos a diferentes legislaciones (nacionales o internacionales).

Cabe señalar, si bien hay antecedentes de construcción de una Curva de Tasa Spot Teórica para Títulos Públicos, elaborada por Organismos reconocidos, los mismos fueron realizados hace ya varios años, para bonos Soberanos Argentinos en pesos y ajustados por CER (Instituto Argentino de Mercado de Capitales y Reuters 2006). Actualmente los bonos en dólares representan más del 60% de la composición de la cartera del índice de Bonos IAMC, siendo sumamente relevante elaborarla y darla a conocer para estos instrumentos.

Al no existir esta información, el presente trabajo desea construir una curva de tasa Spot teórica fiable y con una metodología programada que almacene los resultados en una base de datos, obteniendo así, una fuente de información actualizada que permitirá analizar la evolución de las diferencias entre el precio de cotización y la valuación exacta del bono.

Al dar una respuesta a las preguntas anteriores, se podrá refutar o no la siguiente hipótesis: "Existe la posibilidad de arbitraje en Bonos Soberanos Argentinos emitidos en dólares en el mercado argentino". El arbitraje consistirá en sacar provecho de la diferencia, vendiendo al bono sobrevalorado y comprando un bono de similares características subvalorado. Denominando a un bono de iguales características, a aquel que posee los mismos riesgos crediticios y similar duración.

Los bonos a utilizar en el presente trabajo, serán de una selección minuciosa de todos los Bonos soberanos Emitidos en dólares y que cumplan con características mínimas de días de cotización y de volumen negociado.

Por todo lo expresado anteriormente, desarrollar y facilitar una curva de tasa spot teórica actualizada diariamente, permite comparar las posibles diferencias entre el precio de cotización de un bono y su sobrevaloración o subvaloración, determinando la posibilidad ejercer arbitrajes provechosos en el mercado (Lopez Dumrauf, 2014).

Se debe destacar que no se espera una coincidencia exacta entre ambos importes (precio estimado del bono y su precio listado al cierre en el mercado local), pero si una mínima diferencia que no contengan errores sistemáticos de estimación.

## **Metodología**

La Curva de Tasa Spot Teórica, es consecuencia directa de la función de descuento, utilizada de manera implícita en el mercado argentino para calcular los valores actuales de todos los activos que devengan flujos. Por este motivo, es necesario estimarla, para poder gestionar las carteras de renta fija y para el trading del mercado de bonos. Generalmente, la curva tiene pendiente positiva, esto se puede generalizar expresando que a una mayor duración modificada, mayor será la TIR exigida por el inversor, por lo tanto, a mayor tiempo del vencimiento del Bono, se prevé una mayor volatilidad.

En términos estrictos, la curva de rendimiento, se refiere a la estructura temporal de las tasas de interés spot, también conocida como tasa de interés de contado. La tasa spot o contado para un plazo  $T$ , equivale al rendimiento de una suma de dinero desembolsado en el período actual y pagado en el período " $t$ ". Esto es claramente visible, en un bono cupón cero, los cuales no generan ningún flujo hasta su vencimiento y donde se entrega su valor nominal; permitiendo determinar la tasa Spot,

dividiendo al precio del Bono en el mercado sobre su valor nominal, dando como resultado, la tasa spot para el plazo comprendido entre la compra y el vencimiento (siempre se expresa en su equivalente nominal anual).

Las tasas Spot para plazos menores al año, son fácilmente determinables por medio de los rendimientos de los instrumentos tales como Bonos de Letras del Tesoro en dólares, pero para plazos mayores, se debe recurrir a bonos del estado nacional nominados en dólares de mediano y largo plazo.

Para los períodos mayores al año se aplicara una de las distintas metodologías existentes para la estimación de la curva de tasa spot teórica, la implementada por el presente trabajo es la conocida como "bootstrapping" (Fabozzi 1993), la cual parte de las TIR de los bonos negociados y agrupados bajo mismas características; los otros métodos son más sofisticados pero la experiencia, en distintos trabajos, demuestran que los resultados son muy similares.

A grandes rasgos, el bootstrapping, es un método de estimación, en donde se conoce al "N" dato y a partir de éste, se estima al dato "N+1", el cual, se agrega a este dato resultante para la obtención de "N+2" y así sucesivamente hasta completar el vencimiento del bono de mayor plazo.

Esta metodología fue realizada en un estudio, observando a Bonos Soberanos Argentinos, pero en donde se seleccionaron a aquellos que ajustaban por CER. En ese estudio se construye la curva, eligiendo a ocho bonos entre todos los existentes y ejerciendo el botstrapping. Según se puede observar, los resultados son satisfactorios gracias a la metodología utilizada y los instrumentos sometidos en el análisis. Se destaca diferencias mínimas entre el precio de mercado y el precio estimado por la curva de tasa Spot, las cuales se incrementan mientras mayor sea el plazo del bono. En ninguno de los casos, la diferencia observable supera el 5%.

El trabajo no responde cual fue la evolución de dichas diferencias a lo largo de un determinado período de tiempo, solo se determino para el día 05/05/2006. De esta forma, no se puede determinar si dichas diferencias son normales o no para cada uno de los bonos bajo análisis.

Nuestro objetivo fue obtener una curva de Tasa Spot Teórica fiable para bonos soberanos argentinos emitidos en dólares y establecer el comportamiento de la curva en todo los días transcurridos durante el año 2016 y hasta la fecha.

Determinando un mecanismo sistematizado que permita calcular de manera estandarizada a la curva de tasa spot teórica. Obtenidas las curvas para cada uno de los días, establecer la valuación de los bonos soberanos argentinos dolarizados para analizar las divergencias entre el precio estimado y el precio de cierre para cada uno de los días. Determinar si han existido indicios de posibles situaciones de arbitrajes provechosos y cuál podría haber sido la estrategia implementada en cada caso. Y planteamos como hipótesis verificar si posible arbitrar en Bonos Soberanos Argentinos emitidos en dólares en el mercado argentino.

## **Conclusión**

El mercado de deuda pública o soberana sirve de referente para construir la curva de rendimiento para las tasas de interés, a partir de las cuales es posible derivar las curvas de rendimiento para emisores privados una vez estimada su prima por riesgo crediticio. Debido al elevado riesgo de inflación percibido por los agentes y el incipiente desarrollo del mercado de capitales, como consecuencia de ello, las emisiones públicas y privadas se dan principalmente en dólares o en pesos indexados a la inflación. Hoy el mercado de capitales se ve favorecido por la mayor presencia de inversionistas institucionales (administradoras de fondos de pensiones, fondos mutuos y compañías de seguros) y por las mejoras en las condiciones macroeconómicas, principalmente por la reducción sostenida de la tasa de inflación.

Desarrollada la programación y establecido las tasas en cada uno de los días en los cuales el mercado operó, se puede estimar y comparar los valores observados en el mercado y el valuado bajo las Tasas Spot. De este modo, estimar las diferencias de los títulos públicos en base a la Tasa Spot (Cupón Cero) y cotejarlos con el precio del mercado.

Se debe destacar, no se espera que las estimaciones tengan un ajuste perfecto, sino que no se observen errores sistemáticos de estimación. Y esta premisa se cumple, al observar en los cálculos obtenidos y analizados, se observan diferencias mínimas que no superan el 5% para casos muy puntuales y sobre Bonos que poseen capitalización parcial decreciente e intereses crecientes.

En consecuencia, si se consideran las particularidades del mercado argentino y los supuestos asumidos, puede concluirse que la programación desarrollada y la base de datos generada bajo la metodología aplicada resulta en un adecuado ajuste de la curva de rendimientos cupón cero para los instrumentos analizados en el presente trabajo.

## **Bibliografía**

Lopez Dumrauf, G. (2014). Análisis cuantitativo de bonos. Buenos Aires, Argentina: Alfaomega.

Leber, M. y Navas, J. F. (2001). Revista Española de Financiación y Contabilidad. Valoración de bonos en el mercado de deuda del estado con modelos estáticos y dinámicos de al ETTI, XXX(110), 1167-1199.

Place, J. (2015). Análisis básico de bonos. Ensayo. Centro de Estudios Monetarios Latinoamericanos, Mexico.

Julio, J. M., Mera, S. J. y Hérault, A. R. (2002). La Curva Spot (Cero Cupón).

Instituto Argentino de Mercado de Capitales, y Reuters. (2006). Construcción de una curva cupón cero para el mercado doméstico de títulos Públicos. Artículo Especializado. Instituto Argentino de Mercado de Capitales.

Mascareñas, J. (2013). La estructura temporal de los tipos de interés. Ponencia. Universidad Complutense de Madrid.

Ezquiaga, I., Jara, E. y Gomez, I. (1994). Moneda y Crédito. Curva de tipos de interés cupón-cero, (199), 157-197.

McCulloch, J. H. (1971). Measuring the term structure of interest rates. Journal of Business.

Fabozzi, F. J. (1993). Bond Markets, Analysis and Strategies (4th ed). Prentice Hall International.

Pereda, J. (2009). Estimación de la curva de rendimientos para el Perú y su uso para el análisis monetario. Notas de Estudio del BCRP.

# **DISEÑO DE HERRAMIENTA PARA MEJORAR TÉCNICAS PODOALES Y REALIZAR PODOLOGÍA PREVENTIVA, POTRO HIDRÁULICO**

Román A. Lagares, Alberto A. Parola, Guillermo P. Loeffel, Ramiro Loeffel

Tutor: Mg. Carlos R. Colazo

UTN-FRVM Avda. Universidad 450 (5900) Villa María Córdoba

Email: infoampyt@gmail.com

## **Resumen**

El objetivo principal ha sido crear una máquina/herramienta que permita facilitar al productor lechero tratamientos preventivos para ello se ha diseñado un cepo o potro que tiene un accionamiento totalmente hidráulico, este se hace por medio de una bomba hidráulica de tipo sumergida directamente sobre el depósito de líquido hidráulico, con caudal suficiente para garantizar el correcto funcionamiento del equipo, a su vez cuenta con un depósito de aceite, un indicador de nivel y temperatura del líquido hidráulico, la ventaja principal que brinda esta bomba de tipo sumergido, es la disminución de ruidos y una marcha más serena para prevenir que el animal se asuste.

Los sistemas de elevación de miembros inferiores (patas traseras y delanteras) se realiza a través de motores hidráulicos de tipo orbitales, comandados en forma independiente, los cuales accionan una cuerda que en su punta tiene un gancho que permite fijar las patas a los estribos para poder manipular las pezuñas en forma deseada.

Concluyendo de esta manera con el diseño y el desarrollo de una herramienta de fácil manejo para el productor lechero, con la máxima seguridad y ergonomía.

## **Palabras clave**

Podología, Productor lácteo, Calidad de la Leche, Herramientas pódales, Pérdidas económicas.

## **Introducción**

Estudios realizados han determinado que en nuestro país no existe implementación de la Podología Preventiva en los tratamientos de afecciones pódales de etiología multifactorial que se presentan en la producción láctea lo que presenta una disminución importante en la rentabilidad económica para los productores de nuestra zona.

Las afecciones pódales son la tercer causa de descarte en vacas de tambo luego de las reproductivas y las mastitis. Si bien no es un problema nuevo, está adquiriendo gran importancia debido a la intensificación de la producción y al aumento del uso de concentrados en la alimentación. Las afecciones pódales influyen en trastornos de la producción y en la reproducción. Estos trastornos pódales, conocidos vulgarmente como "pietín".

Causas de Descarte en Vacas de Tambo: 1. Reproductivas, 2. Mastitis y 3. Patologías Pódales- Hay alrededor de 70 enfermedades que afectan al pie del bovino y a todas se las diagnostica y trata como "pietín".

El 10 % de las consultas al veterinario rural corresponden a enfermedades digitales; el 90 % de las enfermedades del aparato locomotor asientan en el pie. La pezuña que más se afecta es la que soporta más peso. [Olivieri G. y Rutter B., 2003].

Los tratamientos de las afecciones pódales del bovino se realizan en nuestra zona mediante la sujeción del animal que se realiza en el potro, manga o brete de ordeño, con el miembro afectado levantado y fijado correctamente, pero en su mayoría no preventivo sino curativo de allí las grandes pérdidas económicas. Los tratamientos quirúrgicos de las distintas afecciones del pie bovino consisten básicamente en la eliminación de todos los tejidos necrosados respetando al

máximo los tejidos sanos, dar la mejor forma posible a la estructura córnea, realizar vendajes para la mejor acción terapéutica de los medicamentos locales y aliviar el dolor con la colocación de tacos ortopédicos en los dedos homólogos sanos. Para la colocación de tacos ortopédicos de madera o zapatos ortopédicos de PVC (Cowslips de Giltspur-Reino Unido o Demotec-Alemania) se debe acondicionar el dedo opuesto sano, ya que el objetivo es que el animal no apoye el dedo enfermo y de este modo aliviar el dolor y acelerar la recuperación. [Perusia O., 2001].

Kocak investigó la incidencia de cojeras en un conjunto de cabezas de ganado lechero privado y el efecto de la cojera en los rendimientos de leche semanales y la producción de leche en lactancias de las vacas lecheras. Los resultados comprendían 953 datos de lactancia de 787 vacas Holstein. Los rasgos analizados fueron promedios diarios de la producción de leche semanal y la producción de leche de lactancia. Para determinar el efecto de las cojeras en promedios diarios de la producción de leche por semana, procedimiento modelo mixto se aplicó en los análisis. La incidencia de la cojera de la manada era 9,02% y la mayoría de los eventos de cojera se encontraban en las primeras cuatro semanas. El promedio diario de la producción de leche semanal había disminuido significativamente en la semana diagnóstico y continuaron una reducción de nivel hasta 3 semanas después del diagnóstico. Considerando que la producción de leche de vacas sanas era 30,57kg/d, la producción de leche en la semana cojera, primera semana, la segunda semana y tercera semanas fueron 27,52 kg/d, 27,83 kg/d, 29,15 kg/dy 29,80 kg/d, respectivamente. Vacas cojas producían más leche mientras ellas no eran cojas y después del tratamiento, en comparación con las vacas sanas. El efecto de las cojeras en lactancia la producción de leche no fue significativa. [Kocak O., 2006]

Los cambios tecnológicos en las últimas décadas en la extensa producción lechera aumentaron significativamente los factores de riesgo que predisponen a la cojera, por lo tanto, los tamberos siempre deben tener en cuenta que la cojera está latente en todas las explotaciones lácteas de alta producción. La subestimación del problema y la falta de programas preventivos exponen al sistema productivo de importancia pérdidas Económicas. [Ramos Rama, 2006].

Se evaluó la calidad de los procedimientos y herramientas para el tratamiento de las Patología podales en vacas lecheras utilizadas en otros países tales como: EEUU, México, Chile, Uruguay, Hungría, Inglaterra, Alemania, Francia, Suecia, Finlandia, Noruega, Dinamarca, Nueva Zelanda, Países Bajos, entre otros [García E., 2013]. Identificando los resultados positivos en los diferentes territorios y finalmente se decidió apoyar la generación regional de sistemas de inclusión e innovación para lograr la mejora en los tratamientos, desarrollando un potro hidráulico.

Nuestro objetivo principal ha sido crear una herramienta que permita facilitar al productor lechero tratamientos preventivos para ello se ha diseñado un cepo o potro tiene un accionamiento totalmente hidráulico, el cual es accionamiento por medio de una bomba hidráulica sumergida directamente sobre el depósito de líquido hidráulico, con caudal suficiente para garantizar el correcto funcionamiento del equipo, a su vez cuenta con un depósito de aceite, un indicador de nivel y temperatura del líquido hidráulico.

## **Desarrollo**

El potro hidráulico de podología bovina de elevación vertical, está construido en Acero SAE 1010 (caño negro) se basa en unan estructura metálica íntegramente en caño estructural de acero SAE 1010, de diferentes medidas y espesores, recubierto con una base de anti oxido y pintura epoxi, que garantiza una mayor resistencia a los efectos de la intemperie.

La función principal del mismo es lograr atrapar el animal (ganado bovino) dentro del cepo o potro y lograr una sujeción efectiva del mismo, en el menor tiempo y con el menor esfuerzo posible para realizarle a los mismos la operación de desbaste de las pezuñas y solucionar los problemas comúnmente llamados "pietín". El objetivo de construcción de esta máquina apunta a reducir los costos de operatividad de dos operarios a uno, minimizar los tiempos de producción tratando de obtener una mayor rentabilidad, y garantizar un trabajo efectivo con medidas de seguridad y

posturas seguras garantizando trabajos ergonómicamente correctos y favoreciendo la postura del animal en pie a diferencia de otros cepos que acuestan el animal y favorecen el estrés del mismo.

Este cepo o potro tiene un accionamiento totalmente hidráulico y silencioso, el cual es accionamiento por medio de una bomba hidráulica sumergida directamente sobre el depósito de líquido hidráulico, con caudal suficiente para garantizar el correcto funcionamiento del equipo, a su vez cuenta con un depósito de aceite, un indicador de nivel y temperatura del líquido hidráulico. Esta bomba se acciona eléctricamente conectada a la línea de energía ya sea 220 volt o 380 volt, según requerimiento del usuario o también por medio de grupos electrógenos si se logran los parámetros de energía deseados. El motor eléctrico puede ser de monofásico de 220 volt y 4 hp de potencia, o trifásico con arranque estrella triángulo, de 380 volt y 3 hp.

El mismo posee un sistema de elevación vertical a través de cuatro (4) cilindros hidráulicos compensados con un vástago de 2" y 1 ½" de diámetro respectivamente que garantizan que el equipo pueda posicionarse sobre cualquier superficie incluso sobre superficies a desnivel y lograr una altura de trabajo hasta 700 mm, o inferior de acuerdo a lo que el operario considere favorable, este de posicionamiento sobre cualquier terreno es garantizado por medio de la unión entre los dos cilindros hidráulicos traseros y los dos cilindros hidráulicos delanteros por medio de una planchuela transversal, que garantizan una mayor y más amplia superficie de apoyo y una mayor estabilidad.

Esta máquina/herramienta puede ser de tipo fijo (instalada directamente en un establecimiento) o de tipo móvil (transportando la misma con un carro y su sistema de traslado a través de ruedas).

El Sistema de accionamiento de la puerta trasera y delantera del Potro, se realiza a través de cilindros hidráulicos de 2 ½" de diámetro de vástago con comando de ejecución independientes.

Estos comandos están ubicados en la parte lateral del cepo y garantizar un correcto accionar en una zona segura del mismo, que al estar ubicadas en un lateral del cepo podemos obtener una visión integrada del mismo y controlar el proceso sin ningún riesgo.

Su función principal es contener a la Vaca dentro del potro hasta que se realice la sujeción de la misma y se comience a operar.

Los sistemas de elevación de miembros inferiores (patas traseras y delanteras) se realiza a través de motores hidráulicos de tipo orbitales, comandados en forma independiente uno en cada lateral del cepo para las patas delanteras, y dos comandos en la parte trasera del mismo, lo que garantiza que el operario puede manipular el comando desde el mismo lugar donde trabaja los cuales accionan una cuerda que en su punta tiene un gancho que permite fijar las patas a los estribos para poder manipular las pezuñas en forma deseada. Este tipo de sujeción de miembros inferiores junto a la sujeción del animal por debajo del abdomen en dos puntos estratégicos, hacen que el animal no se estrese y mantenga su posición habitual de pie, durante todo el tratamiento.

Como se mencionó anteriormente, se debe suspender a la vaca sobre una faja que se posiciona sobre dos puntos estratégicos del abdomen del animal, con el objetivo de impedir que la misma este con sus cuatro patas apoyadas sobre la superficie del piso, este sistema de elevación del animal se realiza a través de un sistema de ejes paralelos que garantizan un izaje parejo y seguro, a través de un motor hidráulico orbital y sistema de transmisión de reducción corona – piñón, que garantizan el izaje correcto del animal.

Todo el sistema hidráulico y sus partes tienen un sistema de regulación proporcional de caudal hidráulico vs fuerza, que garantizan un sistema de elevación adaptable a las necesidades del operario, en caso que el operario efectúe la ejecución del comando sin responsabilidad o con riesgo de daño del animal, el mismo sistema lo impedirá debido a que el sistema está regulado, por fuerza y presión, cuando se hace un esfuerzo mayor al deseado, el sistema habilita una válvula que alivia el sistema y no envía caudal al cilindro, por lo que el mismo actuara como en vacío.

Este cepo a su vez cuenta con conexión eléctrica de Tomas corriente monofásico, que garantizar suministro de electricidad para las diversas herramientas que pueden operarse durante la operación de podología, y limpieza del equipo, donde pueden conectarse todo tipo de herramientas eléctricas.

La terminación es en pintura base de anti oxido en dos capas, y una capa de pintura epoxi. Accesorios que permiten la sujeción de herramientas (amoladoras) cantidad dos (2) una por lado, sistema de sujeción de cuchillas (herramientas de podología), cantidad siete (7), cajón porta herramientas, cantidad uno (1).

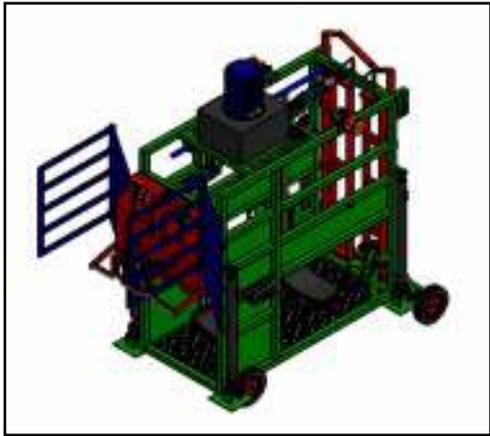


Fig. 1 Vista Perspectiva – Posición de Traslado.

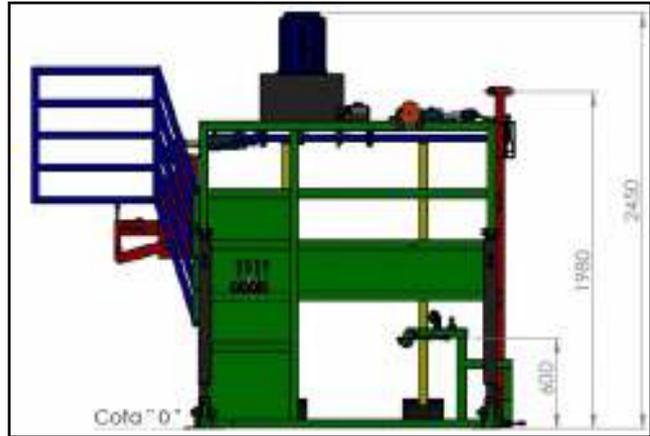


Fig. 2 Vista Lateral – Posición de Reposo.

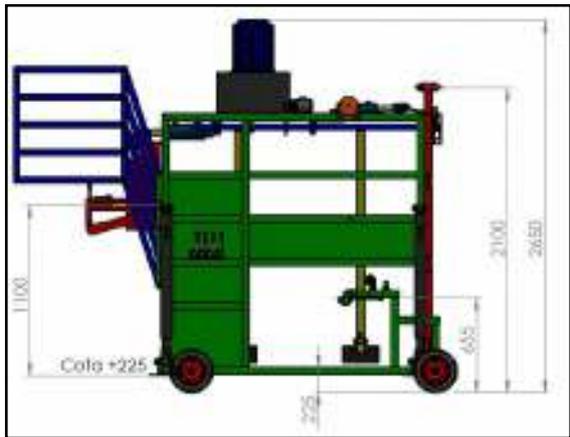


Fig.3 Vista Lateral – Posición de Traslado.

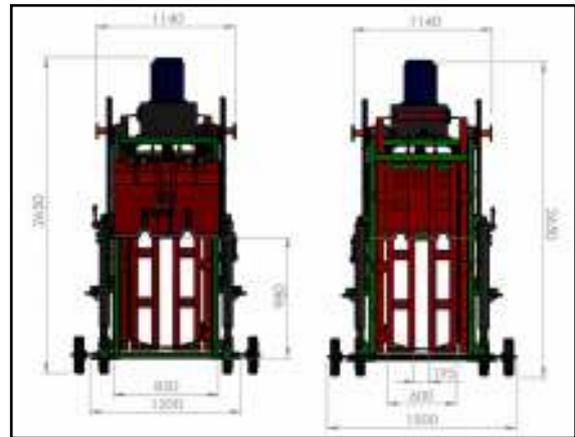


Fig. 4 Vista Frontal y Vista Trasera

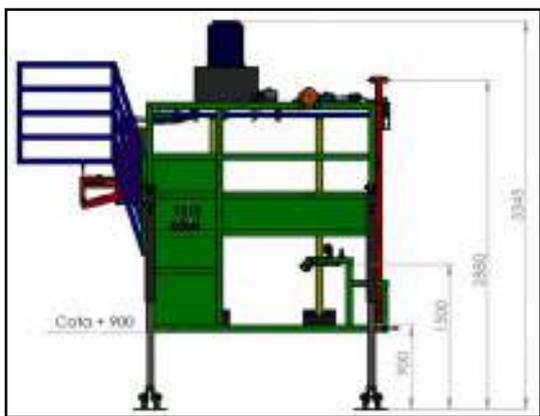


Fig. 5 Vista Lateral – Base Elevada.

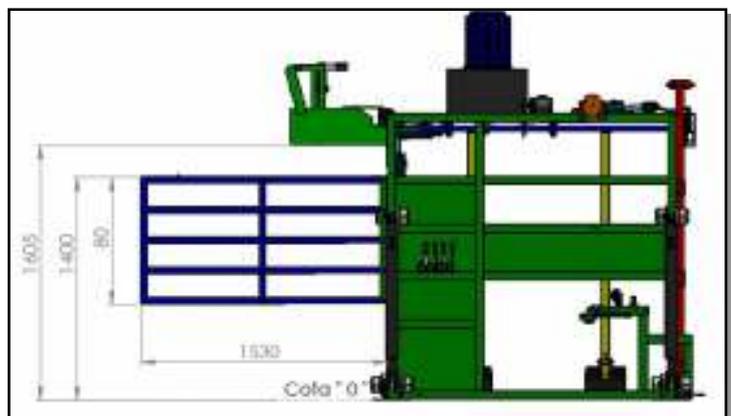


Fig. 6 Vista Lateral – Posición Inicial de Trabajo.

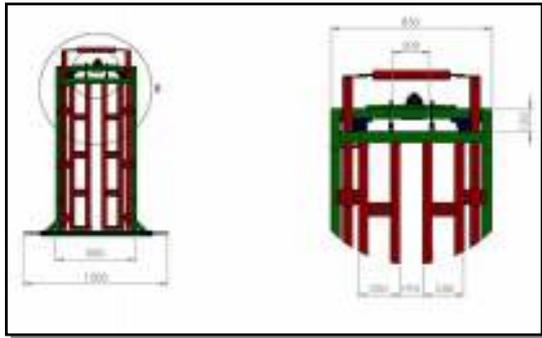


Fig. 7 Puerta Delantera – Posición Reposo.

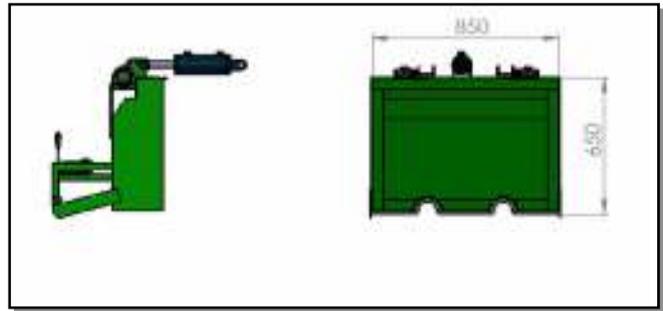


Fig. 8 – Puerta Trasera – Posición Reposo.

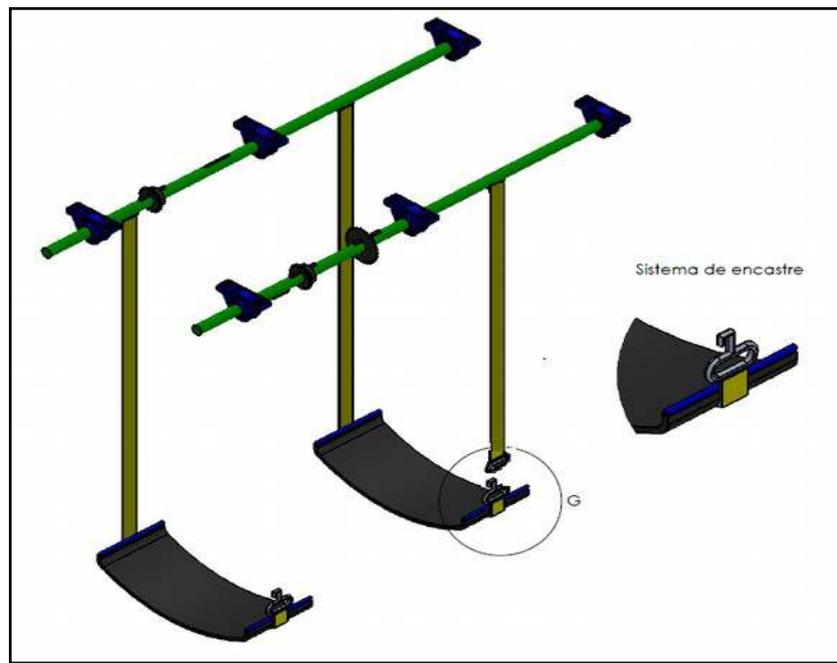


Fig. 9 – Sistema de Izaje de Animal.

## Conclusión

Concluyendo de esta manera con el diseño y el desarrollo de una máquina/herramienta de fácil manejo para el productor lechero, con la máxima seguridad y ergonomía para el operario y el animal, denominado “Petro Hidráulico”, como podemos apreciar en las Fig.1 a la Fig. N°9, que permite la implementación de la Podología Preventiva en los tratamientos de afecciones pódales de etiología multifactorial, consecuencia de un aumento importante en la rentabilidad económica para los productores de nuestra zona.

## Bibliografía

Garcia, Emanuel; Klaas, Ilka Christine; Amigo Rubio, Jose Manuel “Proceedings of the 17th International Symposium and 9th International Conference on Lameness in Ruminants”. Edited by Dr Becky Whay and Dr Jo Hockenhull. University of Copenhagen. Dinamarca. 2013.

Kocak O. y Ekiz B. “The Effect of Lameness on Milk Yield in Dairy Cows” Istanbul University, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Animal Breeding and Husbandry, Istanbul, Turkey. 2006.

Olivieri G. y Rutter B. "Afecciones podales en bovinos" Ed. Cátedra de Nutrición y Alimentación Animal, Fac. de Veterinaria, Universidad de Buenos Aires. 2003.

Perusia Oscar. "Patologías podales del bovino". Revista SciELO. 12(2) 65.67 Perú. 2001.

Ramos Rama Juan Manuel. "Risk factors of lameness in dairy cattle and its interation with the grazing ecosystem of milk production".Faculty of Agricultural Science, University of Enterprise (UDE), Montevideo, Uruguay. 2006.

# REDES POLIMÉRICAS BIO-BASADAS A PARTIR DE ACEITE EPOXIDADO DE SOJA Y ÁCIDOS CARBOXÍLICOS NATURALES

Julieta Tavella<sup>(1)</sup>, Sofía Cabrera<sup>(1)</sup>, Rubén L. Baccifava<sup>(2)</sup>, Matías L. Picchio<sup>(2,3)</sup>

<sup>(1)</sup> UTN FR Villa María, estudiante Ing. Química, Av. Universidad 450, Villa María, Argentina

<sup>(2)</sup> UTN FR Villa María, GIDAIQ, Av. Universidad 450, Villa María, Argentina

<sup>(3)</sup> Instituto de Investigación y Desarrollo en Ingeniería de Procesos y Química Aplicada (IPQA), UNC-CONICET. Haya de la Torre y Medina Allende, Córdoba, Argentina.

E-mail de contacto: rubenbaccifava@hotmail.com, mlpicchio@santafe-conicet.gov.ar

## Resumen

En la actualidad los polímeros epoxi convencionales son producidos a partir de recursos derivados del petróleo los cuales son tóxicos y no renovables. Por esta razón existe una imperiosa necesidad de desarrollar nuevos materiales más amigables con el medio ambiente. Entre los diferentes tipos de materias primas renovables, los aceites vegetales ofrecen algunas ventajas, como por ejemplo su disponibilidad mundial a gran escala. En este contexto, el presente trabajo propone la síntesis de materiales poliméricos a partir de aceite epoxidado de soja y ácidos adípico y succínico como agentes de curado. Se llevó a cabo el estudio cinético de la reacción de curado determinando la fracción de polímero insoluble a diferentes tiempos. La presencia de enlaces  $\beta$ -hidroxi ester en la estructura del polímero, determinada por espectroscopia infrarroja (FTIR) permitió confirmar la reacción de curado. Las características de los materiales obtenidos fueron determinadas en término de sus propiedades reológicas, mecánicas y térmicas. Los resultados mostraron que estos materiales poseen buena flexibilidad y elasticidad, sugiriendo que podrían ser una prometedora alternativa para el envasado de alimentos.

**Palabras Claves:** aceite epoxidado de soja, polímeros epoxi biodegradables, empaque para alimentos

## 1. Introducción y objetivos

### Introducción

El presente trabajo se desarrolló en el marco del proyecto: MAUTIVM0004989TC "Preparación y caracterización de redes poliméricas auto-reparables basadas en aceite epoxidado de soja" llevado a cabo por el grupo GIDAIQ de la UTN FRVM.

El aceite de soja tiene una gran cantidad de ácidos grasos insaturados, lo que resulta en un aceite epoxidado de alta funcionalidad (AES).

Se sabe que los epóxidos pueden reaccionar con ácidos carboxílicos para dar enlaces  $\beta$ -hidroxiéster y que existe una amplia variedad de ácidos dicarboxílicos (ADC) producidos a través de procesos biológicamente sustentables que pueden utilizarse como agentes entrecruzantes para el AES.

Se tomará como ADC a los ácidos succínico se ajustarán las condiciones de reacción, la estructura de las redes poliméricas obtenidas será caracterizada por FTIR. Además, se estudiarán sus propiedades térmicas, mecánicas y reológicas.

## *Objetivo del trabajo*

El objetivo de este trabajo es la síntesis y caracterización de redes poliméricas homogéneas a partir de aceite de soja epoxidado y ácidos succínico y adípico.

## **2. Materiales y métodos**

### *2.1 Materiales*

El aceite de soja epoxidado (ESO, valor de yodo = 2.4, EEW = 241 g/eq, peso molecular promedio = 940 Da, funcionalidad promedio = 4.5 epóxidos por triglicérido) fue amablemente donado por Unipox S.A. (Buenos Aires, Argentina). Los ácidos succínico (SUA) y adípico (ADA) fueron suministrados por Sigma-Adrich. Todos los reactivos químicos fueron utilizados tal como se recibieron sin ninguna otra purificación. Se utilizó agua destilada a lo largo del trabajo.

### *2.2 Síntesis de redes epoxi basadas en ESO*

Para la preparación de las redes poliméricas, 5 g de ESO fueron mezclados con 1,2 g de SUA o 1,5 g de ADA, junto con la cantidad de agua necesaria para obtener una solución saturada de cada ácido. La relación estequiométrica, equivalentes COOH/equivalentes epoxi, fue en ambos casos,  $R = 1$ . La mezcla de reacción fue luego calentada hasta 130°C con agitación continua hasta lograr una emulsión agua en aceite. Finalmente, la emulsión obtenida fue vertida en moldes de silicona y colocados en estufa a 160 °C por 24 h. Las redes poliméricas resultantes fueron codificadas como ESO-SUA y ESO-ADA de acuerdo con el ácido utilizado como reticulante.

### *2.3 Espectroscopia infrarroja de transformada de Fourier (FTIR)*

Los espectros FTIR de los materiales fueron adquiridos en un microscopio infrarrojo Nicolet iN10 (Thermo Fisher Scientific) en el rango de 4000–600  $\text{cm}^{-1}$ . Las mediciones se obtuvieron a partir de 30 exploraciones con una resolución de 4  $\text{cm}^{-1}$ .

### *2.4 Propiedades mecánicas y reológicas*

Los experimentos de tensión-deformación se llevaron a cabo en una máquina de ensayo universal INSTRON 3344, a 23 °C y 50% de humedad relativa. Se ensayaron muestras con forma de hueso (9,53 mm y 3,18×0,8  $\text{mm}^2$ ) a una velocidad de deformación axial de 25 mm/min. Se analizaron cinco muestras de cada polímero epoxi y se informan valores promedio.

El comportamiento viscoelástico de los materiales se estudió mediante análisis térmico-mecánico dinámico (DMTA), en un reómetro rotacional Anton Paar Physica MC301 con geometría de placa paralela (8 mm de diámetro). Se ensayaron discos de 8 mm de diámetro y 1 mm de espesor. La temperatura se varió de -30 a 90 °C con una velocidad de calentamiento de 2 °C/min. Los experimentos se llevaron a cabo a 1 Hz, 0.1% de deformación y 4 N de fuerza normal. Antes del estudio, el rango viscoelástico lineal (LVR) de las muestras fue determinado mediante experimentos de barrido de amplitud.

### *2.5 Propiedades térmicas*

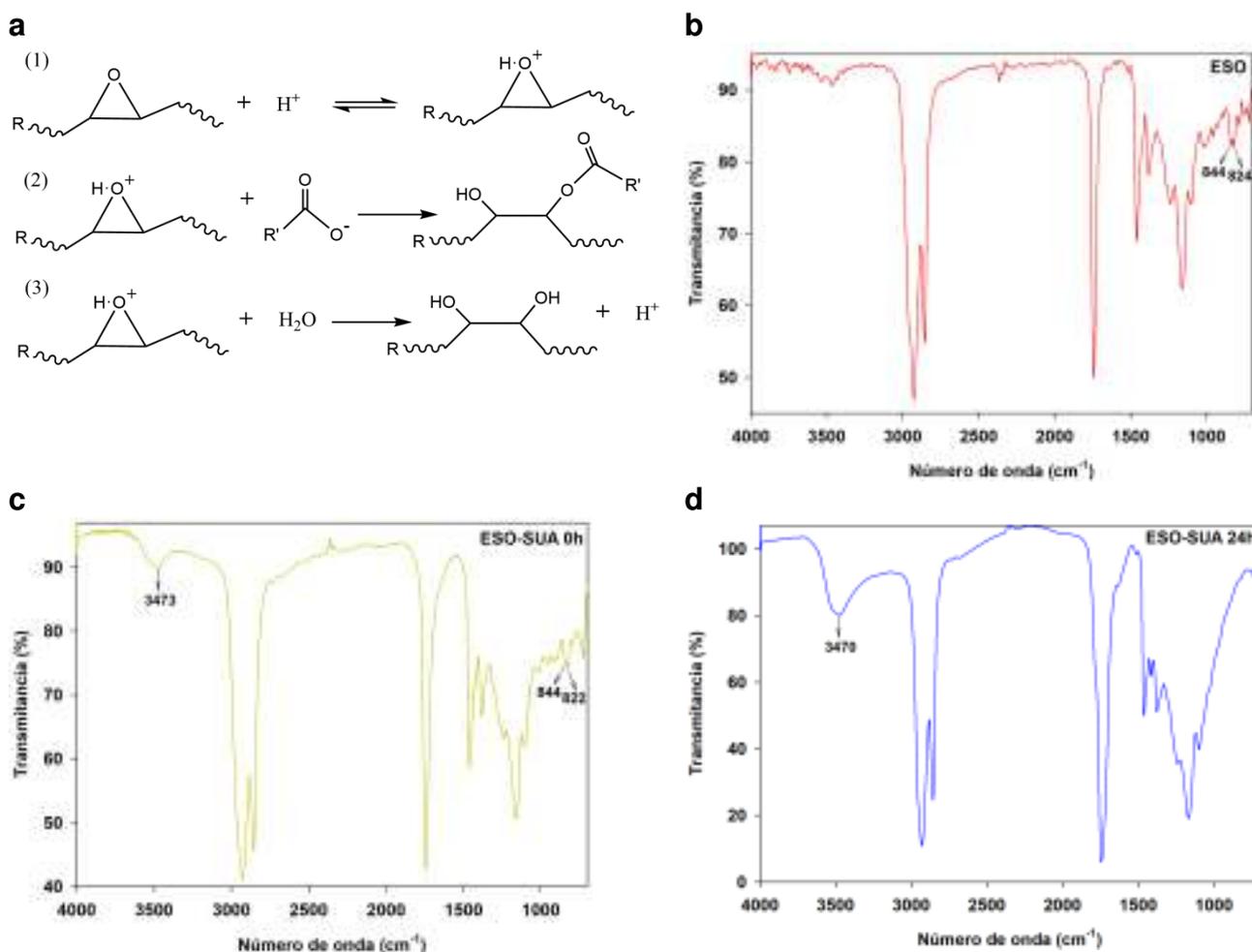
La temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ) de las redes poliméricas se determinó mediante calorimetría diferencial de barrido (DSC), desde -40 a 70 °C con una velocidad de calentamiento de 10 °C/min, empleando un DSC Q2000 (TA Instruments). Se ensayaron muestras de 8-10 mg. La estabilidad térmica de los materiales se estudió mediante análisis termogravimétrico (TGA) en

una termobalanza TGA Q500 (TA Instruments). Las muestras (3 mg) se calentaron desde 40 a 600 °C con una velocidad de calentamiento de 10 °C/min en atmósfera de nitrógeno.

### 3. Resultados y Discusión

#### 3.1. Confirmación de la reacción de entrecruzamiento por FTIR

La reacción epoxi-ácido es catalizada por los protones producidos por la disociación de los ADC en solución acuosa, según el esquema representado en la Figura 1.a. El primer paso de este mecanismo es la protonación del epóxido (1), seguido por el ataque de un anión carboxilato (2), o por una molécula de agua (3). Aunque la reacción (1) que conduce a la formación de grupos β-hidroxiéster se ve favorecida, la hidrólisis de grupos epoxi también podría ocurrir competitivamente. Además de estas reacciones principales, podrían producirse reacciones de esterificación entre los grupos COOH residuales y los OH generados en las etapas (1) y (2). En particular, el diol vecinal generado por la etapa (3) puede esterificarse conduciendo al mismo β-hidroxiéster generado en la etapa (2). En base a este mecanismo, la reacción de entrecruzamiento del ESO podría ser confirmada por FTIR siguiendo la desaparición de los grupos epoxi y la formación de los grupos β-hidroxiéster (Altuna, Pettarin y Williams 2013).



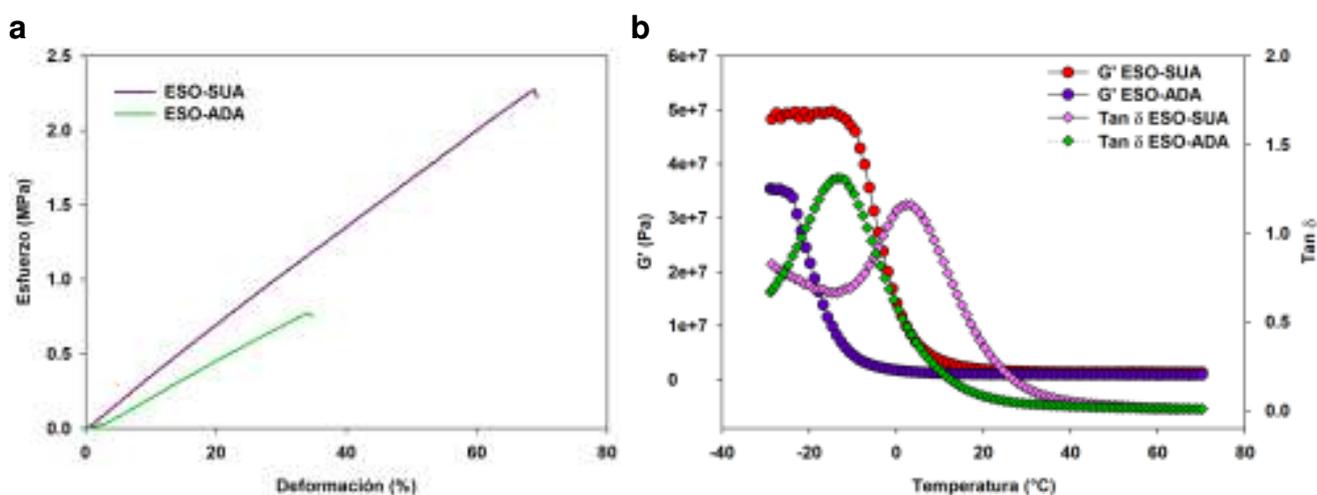
**Figura 1.** Mecanismo de reacción (a) y espectros FTIR de ESO puro (b), mezcla de reacción a t=0 (c), y red polimérica entrecruzada (d).

La Figura 1.b muestra el espectro FTIR del ESO puro, en donde las señales características de los grupos epoxi corresponden a 824 y 844 cm<sup>-1</sup>. Por otro lado, el espectro FTIR de la mezcla

ESO/SUA/agua al inicio de la reacción ( $t=0h$ ), se presenta en la Figura 1.c. Como puede verse, luego del proceso de emulsión a  $130\text{ }^{\circ}\text{C}$  la hidrólisis completa de los grupos epoxi no es producida, de modo que sus señales características a  $824$  y  $844\text{ cm}^{-1}$ , se encuentran aún presente. Además, puede notarse la aparición de una nueva señal a  $3473\text{ cm}^{-1}$ , la cual podría corresponder al estiramiento de los grupos OH pertenecientes a aquellos  $\beta$ -hidroxiéster formados durante la reacción, aunque el agua de disolución también podría contribuir a esta señal. Sin embargo, evidencias concluyentes de la ocurrencia de la reacción de entrecruzamiento son observadas en el espectro de la mezcla ESO/SUA/agua al final de la reacción ( $t=24h$ ). Como puede observarse en la Figura 1.d, los grupos epóxidos fueron completamente consumidos luego de  $24h$  de reacción a  $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ , mientras que la señal a  $3470\text{ cm}^{-1}$  fue notablemente incrementada, sugiriendo la formación de nuevos grupos  $\beta$ -hidroxiéster de acuerdo a la etapa (2) de la Figura 1.a. Resultados similares fueron observados cuando se utilizó ADA como agente reticulante.

### 3.2 Propiedades de las redes epoxi basadas en ESO

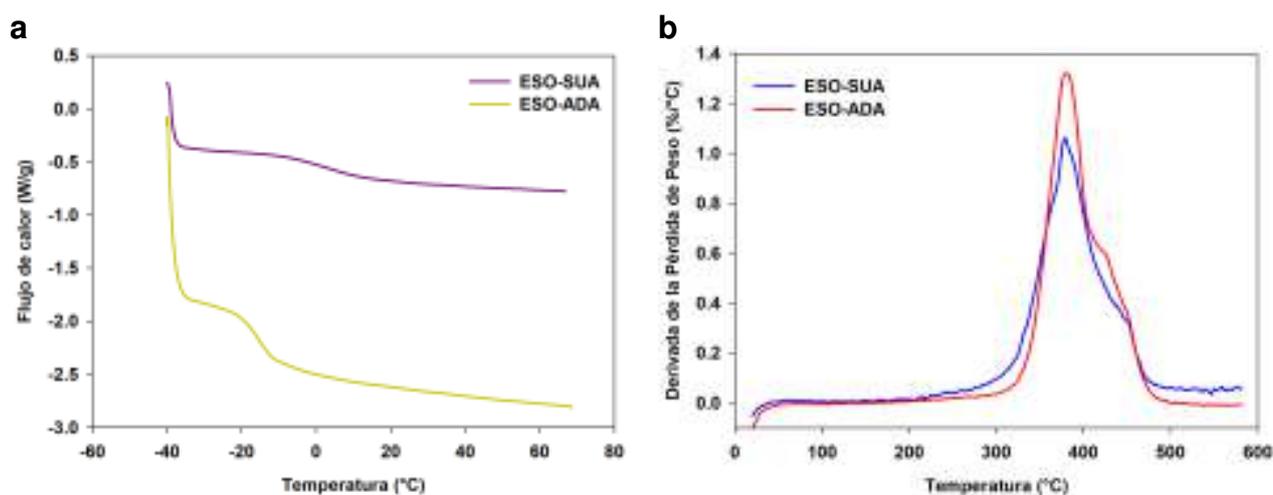
Dada la aplicación que se pretende para las redes bio-basadas en el recubrimiento de alimentos, el comportamiento elongacional de estos materiales es una característica clave a ser investigada. Como puede apreciarse en la Figura 2.b, las redes epoxi presentaron buenas propiedades mecánicas, con una elongación a la rotura de  $67$  y  $39\%$ , y una tensión de rotura de  $2.2$  y  $0.8\text{ MPa}$ , para ESO-SUA y ESO-ADA respectivamente. Estos resultados sugieren que se obtuvo una mayor densidad de entrecruzamiento cuando SUA se utilizó como reticulante, lo cual podría deberse a la menor longitud de cadena de este ácido en relación con ADA (Run-Tao Zeng 2017). Para confirmar este supuesto, el comportamiento viscoelástico de los materiales fue estudiado por DMTA. La Figura 2.b muestra la evolución del módulo elástico ( $G'$ ) y el factor de amortiguamiento ( $\text{Tan } \delta$ ) con la temperatura. Nótese que el plató gomoso de los materiales, el cual es directamente proporcional a la densidad de entrecruzamiento, resultó mayor para ESO-SUA en relación ESO-ADA ( $1.33$  frente a  $0.89\text{ MPa}$ ). Además, la temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ) de las redes poliméricas, determinadas por el máximo de  $\text{Tan } \delta$ , fueron  $3.3$  y  $-13.7\text{ }^{\circ}\text{C}$  cuando se utilizaron SUA y ADA como agentes reticulantes, respectivamente. Esto se debe a que el aumento en la densidad de entrecruzamiento produce una disminución en el volumen libre del sistema, restringiendo la movilidad de los segmentos de la red, lo que produce un incremento en la  $T_g$  del polímero.



**Figura 2.** Comportamiento mecánico (a) y termo-mecánico dinámico (b) de las redes epoxi bio-basadas.

Como es conocido, los materiales utilizados para el empaque de alimentos podrían ser sometidos a procesos de calentamiento durante su procesamiento, por lo que resulta importante investigar la estabilidad térmica de las redes poliméricas preparadas. La Figura 3.a muestra los termogramas

de DSC de los materiales bio-basados, en donde puede observarse que la  $T_g$  de los sistemas, dada por el punto de inflexión de las curvas, resultó en 3.5 y -15.7 °C, para ESO-SUA y ESO-ADA respectivamente, lo cual está de acuerdo con los resultados obtenidos por DMTA. Nótese, además, que el salto térmico de la curva de ESO-ADA fue mucho más pronunciado en relación con aquel correspondiente a la muestra ESO-SUA, lo cual es un indicativo del mayor grado de entrecruzamiento de este último sistema. Por otro lado, la Figura 3.b muestra la derivada de la pérdida de peso de los materiales en función de la temperatura. La temperatura de descomposición máxima de los materiales (máximo en la curva) resultó muy similar para ambas redes poliméricas, siendo 378.9 y 380.5 °C para las muestras ESO-SUA y ESO-ADA, respectivamente. Estos resultados indican que las redes epoxi bio-basadas presentan una alta estabilidad térmica, porque lo que podrían ser aplicadas en procesos que requieran altas temperaturas.



**Figura 3.** DSC (a) y TGA (b) de las redes epoxi bio-basadas.

#### 4. Conclusiones

Se llevó a cabo exitosamente la síntesis de redes epoxi basadas en aceite epoxidado de soja y dos ácidos carboxílicos naturales, como succínico y adípico. Los resultados de FTIR mostraron que una combinación de temperatura/ tiempo de reacción de 24h/160 °C es suficiente para alcanzar una conversión completa de los grupos epoxi del aceite. Los materiales preparados presentaron buenas propiedades mecánicas, viscolásticas, y térmicas, las cuales podrían ser modificadas variando la longitud de cadena del ácido carboxílico utilizado como reticulante. Los resultados obtenidos sugieren que estos nuevos materiales presentan un gran potencial para ser utilizados como empaque de alimentos biodegradables.

#### 4. Referencias

- Altuna, Facundo I, Valeria Pettarin, y Roberto Williams. «Self-healable polymer networks based on the cross-linking of epoxidised soybean oil by an aqueous citric acid solution.» *Green Chemistry*, 2013.
- Run-Tao Zeng, Ying Wu, Yi-Dong Li\*, Ming Wang, Jian-Bing Zeng. «Curing behavior of epoxidized soybean oil with biobased dicarboxylic.» *Polimer testing*, 2017: 281-287.



# **IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA B-LEARNING EN EL SEMINARIO DE INGRESO DE LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL VILLA MARÍA**

Pignatta, María de los Ángeles - Montes, Carolina - Simieli, Mariana - Stroppiano, Celeste

Tutor: Mg. Carlos R. Colazo  
UTN-FRVM Avda. Universidad 450 (5900) Villa María Córdoba  
Email: pignattamaria@gmail.com

## **Resumen**

El presente trabajo expone la inclusión de la modalidad b-learning (blended learning) en el seminario de ingreso de la Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Villa María. Esta implementación surge como una alternativa para potenciar las ventajas que ofrece la formación virtual o e-learning y los beneficios de la formación presencial. Con la nueva modalidad se busca aprovechar los beneficios que las Tecnologías de la Información y la Comunicación ofrecen en el ámbito educativo, al transformar la forma de acceder al conocimiento y eliminar las barreras de espacio y tiempo, pero sin desestimar la importancia de la clase presencial. Para ello se realizó un análisis sobre la implementación del Seminario de ingreso con apoyo virtual a las clases presenciales.

Finalmente se identificó cuáles características de la metodología b-learning se vieron reflejadas en su implementación, como así también se analizaron las limitaciones que presenta la metodología, destacando el interés puesto en los estudiantes de contar con aulas virtuales.

## **Palabras clave**

B-learning - Seminario Universitario - TIC- Formación Virtual – Formación semi-presencial.

## **Introducción**

La modalidad blended-learning se refiere a un tipo de metodología mixta entre el aprendizaje presencial y el virtual. Esta metodología hace uso de las ventajas de la formación virtual y la presencial, y las integra en un sólo tipo de formación.

La historia del blended-learning nace a partir del e-learning como una forma de subsanar las deficiencias de éste. Además, el término utilizado no es casual el énfasis está puesto en el Aprendizaje antes que en la Enseñanza. Es decir, el proceso se centra en alumno. El profesor puede diseñar la enseñanza pero el aprendizaje es una actividad propia del alumno. (Bartolomé, 2004).

Podríamos definir algunos de los componentes más esenciales en procesos de formación a través de la modalidad mixta, traduciéndose en la convergencia entre lo presencial y lo virtual a distancia, donde se combinan espacios (clases tradicionales y virtuales), tiempos (presenciales y no presenciales), recursos (analógicos y digitales), donde los protagonistas modifican sus roles en los procesos de enseñanza/aprendizaje, y donde los cambios también afectan, de manera ineludible, a los modelos organizativos. (Cejudo y Cabero-Almenara, 2008: p. 3).

En nuestro caso, la modalidad b-learning se implementó mediante la plataforma LMS (Learning Management System) Moodle, de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Villa María.

Se utilizó un aula virtual en la cátedra de Matemática-Física estructurada en ocho módulos, uno por tema específico. El contenido de cada módulo era variado: teoría básica por tema, videos explicativos, foros de discusión, foro de avisos y desafíos semanales habilitados a modo de repaso de los temas tratados.

El aula virtual además posibilitaba acceder a información de interés, tal como: cronograma; metodología de evaluación; presentación de docentes; objetivos del curso; tutoriales e historia de nuestra facultad.

Los encuentros presenciales se distribuyeron en 4 horas semanales los días sábado, de agosto a noviembre en el caso del seminario semipresencial, y cinco semanas consecutivas de 4 horas

diarias en el caso del presencial o intensivo. En los mismos se desarrollaron los contenidos teóricos pertinentes seguidos de trabajos prácticos, generalmente en grupos de alumnos. Durante estas clases también se discutieron y analizaron los desafíos o actividades propuestos el aula virtual.

## **Objetivo**

El presente estudio tiene por objetivo indagar sobre la valoración que hace el alumnado acerca del uso de las aulas virtuales como herramienta de apoyo en el seminario de ingreso de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Villa María. En este sentido busca evidenciar los puntos comunes y divergentes; los aspectos más valorados y aquellos que necesitan ser mejorados.

## **Recolección de Datos**

Para recopilar la información se implementó un cuestionario auto-administrado constituido por 14 preguntas cerradas (de selección única, de selección múltiple) y una pregunta abierta para comentarios.

Con el objetivo de conocer las opiniones de los estudiantes, se contemplaron las siguientes dimensiones:

- Experiencia en entornos virtuales de aprendizaje
- Acceso a tecnología e internet
- Valoración del impacto del entorno virtual sobre el aprendizaje y la comunicación
- Valoración de la importancia de los recursos utilizados
- Valoración de la tarea tutorial

La recolección de información se llevó a cabo en el mes de abril del año 2018. El cuestionario se suministró una vez finalizada la instancia de ingreso a la totalidad de los ingresantes a las carreras de ingeniería de la FRVM, mediante un link de acceso a un formulario de Google Drive. En total se obtuvieron 176 respuestas sobre un total de 210 estudiantes.

## **Análisis de los resultados**

En cuanto a la experiencia en los entornos virtuales de aprendizaje, de la totalidad de estudiantes que contestaron el cuestionario, se desprende que el 26,7% ya había utilizado un aula virtual con anterioridad al ingreso de la carrera (Fig.1). De ese porcentaje, un 54,2% la utilizó en el secundario. Es decir, que un cuarto de los ingresantes ya viene trabajando con esta modalidad, incluso desde sus estudios secundarios.

Mucho se ha hablado de las ventajas de las Tecnologías de la Información y la Comunicación en la educación; aunque también debemos decir que éstas representan una situación de exclusión si no se cuenta con los recursos tecnológicos y la infraestructura de redes para acceder a las propuestas educativas. Los datos recogidos respecto a esta dimensión arrojan que los estudiantes tienen fácil acceso a internet y a los dispositivos móviles, especialmente smartphones, por lo que podemos considerar éstos como herramientas facilitadoras de la incorporación del aprendizaje ubicuo en nuestra facultad:

-En la pregunta relacionada a los dispositivos que utiliza para acceder al campus virtual, el más utilizado es el teléfono, luego las notebooks, las PC de escritorio y en última instancia las tablets. (Fig.1).

3. ¿Por lo general, qué dispositivo utiliza para acceder al Aula Virtual?  
176 respuestas

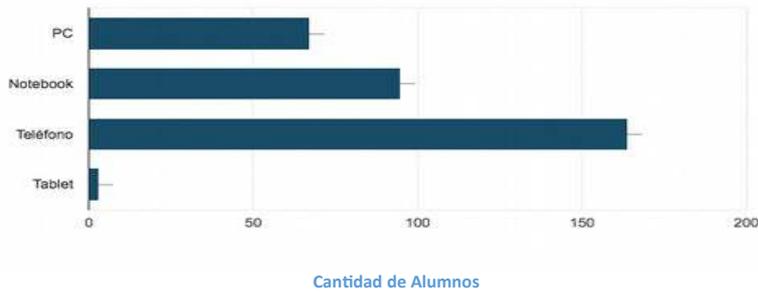


Fig.1 Dispositivo para el ingreso al aula virtual

Solo un 14,8% de los alumnos manifestó tener problemas con el acceso a internet, el 42% dijo que algunas veces; y nunca el 43,2% restante. Un gran número de alumnos (84,1%) accede desde la red de su domicilio, desde la red de la facultad (65,3%) o desde el paquete de datos del teléfono (64,8%).

Además, 59,7 % de los alumnos refiere haber ingresado al aula virtual varios días por semana, 21,6% al menos una vez por semana, un 15,3% todos los días y solo el 3,4% manifestó no ingresar casi nunca. (Fig.2)

6. ¿Con qué frecuencia accedía al Aula Virtual?  
176 respuestas

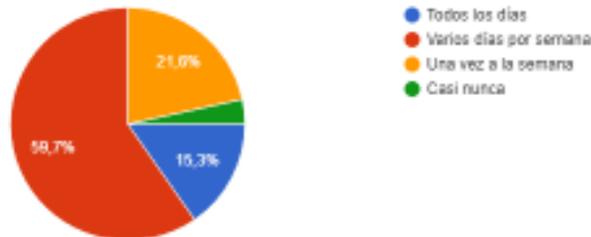


Fig.2 Frecuencia de acceso al aula virtual

Respecto a la valoración que los estudiantes dan al impacto del entorno virtual sobre el aprendizaje y la comunicación, el 33,5% considera que es muy importante y el 55,7% lo considera moderadamente importante). Asimismo, un 79 % manifestó interés por contar con aulas virtuales durante el cursado de todas las materias (Fig.3).

14. Les gustaría disponer de Aulas Virtuales para cada materia cuando comience el cursado de la carrera universitaria?  
176 respuestas



Fig.3 Utilización del aula virtual a futuro

Teniendo en cuenta el aspecto comunicacional del aula virtual, 57,4% de los estudiantes consideró que ésta no mejoró la comunicación con sus compañeros de clase (Fig.4). En tanto 38,6% indicó que la comunicación con los docentes fue buena, y 26,19% muy buena (Fig.5). De estas respuestas se puede inferir que hoy los jóvenes utilizan otros canales de comunicación externos al aula virtual, como pueden ser las redes sociales, los grupos de WhatsApp, etc., mientras que para comunicarse con los docentes prefieren el foro de consultas o la mensajería interna.

8. ¿Considera que el Aula Virtual mejoró la comunicación con sus compañeros?  
176 respuestas



Fig.4 Mejora de la comunicación entre compañeros

9. ¿Considera que el Aula Virtual mejora la comunicación con sus docentes?  
176 respuestas



Fig.5 Mejora de la comunicación con sus docentes

Con respecto a los recursos que consideraron más útiles, los más señalados fueron los videos tutoriales, seguidos de material bibliográfico, desafíos semanales de autoevaluación y en última instancia las consultas de dudas en el foro.

Las ventajas de los videos tutoriales utilizados correctamente en la enseñanza han sido señaladas por diversos autores. De acuerdo a Rodenas (2012):

- facilita la comprensión de los contenidos más difíciles para los estudiantes
- permite al estudiante recurrir a él cuando desee y tantas veces como sea necesario.
- facilita la atención personalizada del alumno y que cada uno de ellos avance en el aprendizaje según su propio ritmo, propiciando que los aprendizajes sean significativos.
- permite explicar numerosos contenidos del área, que posteriormente pueden ser visualizados por los alumnos de forma colectiva o individual.

Estas ventajas, sumadas a la disponibilidad del material bibliográfico y de las actividades o desafíos de autoevaluación, ofrecieron al alumno herramientas muy valoradas por él, para lograr un aprendizaje más autónomo.

Dada la crucial importancia que tiene el rol tutorial sobre el éxito de las experiencias formativas en entornos virtuales de aprendizaje, consideramos necesario contar con datos para analizar tal dimensión: 9,1% de los alumnos calificó como excelente la atención del docente a sus consultas y dudas, en tanto que 35,8% la consideró muy buena, 36,4% buena y el 18,8% restante la consideró regular. Respecto al asesoramiento en cuestiones técnicas sobre el acceso y manejo del aula virtual, 15,3% la calificó como excelente, 45,5% como muy bueno, 32,4% bueno y para el 6.8% restante resultó regular.

## Conclusiones

La experiencia previa al Seminario de ingreso respecto al uso de las aulas virtuales para el aprendizaje es escasa, pero esto no representa un impedimento para que sea utilizada ya que la adaptación a la metodología fue buena y cerca de un 80% de usuarios manifestó interés en disponer de un espacio virtual en las cátedras subsiguientes.

Consideramos que el Seminario de ingreso es una buena oportunidad para comenzar a construir el andamiaje necesario para implementar la modalidad en las materias de grado, reforzando nuestra responsabilidad de formar al alumno en los saberes propios de su especialidad, pero también en una serie de aptitudes tales como la capacidad de trabajo colaborativo, capacidad para la comunicación oral y escrita y posibilidad de seguir perfeccionándose en forma autónoma. (Cukierman y Virgili, 2010.)

El acceso a tecnología y a internet no representó un inconveniente para implementar la metodología. La utilización de smartphones y la conectividad constante fueron una ventaja al momento de acceder al espacio virtual.

Un pequeño porcentaje manifestó no haber ingresado al aula virtual, aunque la gran mayoría estuvo de acuerdo en que estaban en contacto varios días por semana con la plataforma creando un vínculo permanente entre el alumno, la Universidad, sus docentes y compañeros.

Un aspecto a mejorar es la función tutorial. Es necesario avanzar hacia la formación de los tutores dado su rol decisivo en los niveles de retención, calidad y frecuencia de las interacciones. Los procesos de enseñanza aprendizaje en espacios virtuales requieren docentes capacitados para aprovechar estos nuevos escenarios, modificando el rol docente y el del propio alumno.

Dada la valoración que los estudiantes dan al impacto del entorno virtual, sumado al interés puesto de manifiesto de contar con aulas virtuales durante el cursado de todas las materias, se hace necesario sensibilizar al equipo docente acerca de la importancia de incorporar los entornos virtuales en la educación.

## **Bibliografía**

Bartolomé, A. (2004). Blended learning. Conceptos básicos. Pixel-Bit. Revista de medios y educación, (23), 7-20.

Cejudo, M. D. C. L., y Cabero-Almenara, J. (2008). Del eLearning al Blended Learning: nuevas acciones educativas. Quaderns digitals: Revista de Nuevas Tecnologías y Sociedad, (51), 30.

Rodenas Pastor, M. (2012). La utilización de los videos tutoriales en educación. ventajas e inconvenientes. Revista Digital Sociedad de la Información. Recuperado de <http://www.sociedadelainformacion.com/33/videos.pdf>

Cukierman, U. R.y Virgili, J. M. (Compiladores) (2010). "La Tecnología Educativa al servicio de la Educación Tecnológica. Experiencias e Investigaciones en la UTN". Buenos Aires: edUTecNe.



# MODELADO DE PROCESOS DE ENSEÑANZA CON BUSINESS PROCESS MODELING NOTATION (BPMN) EN LA INGENIERÍA

Carolina Montes, María de los Ángeles Pignatta, Mariana Simieli, Celeste Stroppiano

Tutor: Mg. Carlos R. Colazo

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Villa María, Avenida Universidad 450,  
Villa María, Córdoba, Argentina

montescarolina@gmail.com, pignattamaria@gmail.com, simielip@gmail.com, stroppiano@gmail.com

## Resumen

El presente trabajo persigue como objetivo representar por medio de modelos las actividades ejecutadas al desarrollar un proceso de enseñanza con una perspectiva a la educación superior, incluyendo nuevas metodologías que se comienzan a implementar en la actualidad debido la inclusión de la tecnología de la información y comunicación (TIC) en los procesos de enseñanza, las cuales han ocasionado cambios sustanciales en las formas de interacción entre los sujetos y de manera especial, en el modo en que se aprende y se construye el conocimiento. En un primer momento se analizaron los procesos de enseñanza tradicionales y aquellos procesos donde intervienen TIC, identificando actores, subprocesos, actividades conjuntamente con las normas o reglas que condicionan el accionar tanto interno como externo al proceso. Paralelamente se profundizó el estudio del estándar de BPMN (Business Process Modeling Notation) y se realizaron los primeros modelos representativos del macroproceso para continuar en las siguientes etapas especificando a más bajo nivel. Finalmente se valora la importancia de representar estos modelos en un estándar como BPMN visualizando los beneficios, condicionamientos y limitaciones del proceso adecuándolo al contexto universitario específicamente en la enseñanza de la ingeniería.

Palabras claves: Modelar - procesos de enseñanza – BPMN ((Business Process Modeling Notation) – LMS (System Management Learning)

## Introducción

En el nivel universitario, la incorporación de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) en el proceso de enseñanza ha modificado el accionar de los docentes en el dictado de sus clases, durante muchos años y aun en la actualidad se desarrollan las clases universitarias por medio de una metodología tradicional, donde el docente ejerce un rol específico en la transmisión de conocimiento y de su experiencia profesional, el estudiante en cambio permanece en un rol pasivo de escuchar, tomar apuntes relevantes y en algunas circunstancias interrogar sobre la exposición proyectada por el docente.

Esta educación tradicional que tiene sus inicios en el siglo XVII, perdura en alguna medida, a pesar de los cuestionamientos que surgieron sobre la eficacia del proceso, ya que los resultados no satisfacen las necesidades de una sociedad cada vez más demandante de nuevas habilidades y capacidades profesionales como la creatividad, la capacidad de solución de problemas complejos, la flexibilidad de pensamiento sistémico, el trabajo colaborativo, señalando solo algunas de ellas [2].

Actualmente existe una intención en las instituciones educativas universitarias de generar condiciones que permitan a los individuos lograr aprendizajes relevantes para insertarse social y profesionalmente en contextos socioculturales cada vez más complejos y cambiantes[8]. La incorporación de nuevas metodologías centran todo su accionar en el estudiante, comprendiendo que el aprendizaje y el desarrollo intelectual no es la acumulación de información o contenidos específicos y que el estudiante no es solamente un receptor y reproductor de los saberes culturales y científicos [6].

Para ello se introduce en las universidades metodologías como la flipped classroom[7], donde se modifica el uso del tiempo y del espacio en el aula y fuera de ella, pero también altera el protagonismo de los actores que intervienen en el proceso. Las tareas de transmisión y consumo de información se sacan fuera del tiempo de la clase presencial y la interacción presencial en el aula se destina a tareas de niveles elevados de razonamiento con los conocimientos previamente transmitidos. El estudiante deja de ser pasivo en su proceso de aprendizaje y comienza analizar y producir nuevos conocimientos. De esta manera, los que protagonizan las clases son los estudiantes, con actividades de pensamiento crítico y reflexivo con interacción personal permanente entre sus compañeros y el profesor [5].

Estas nuevas metodologías se complementan con la incorporación de System Management Learning (LMS). Un LMS[1] permite entre otras funciones administrar, distribuir, monitorear, evaluar y apoyar las diferentes actividades previamente diseñadas y programadas dentro de un proceso educativo, es un potente recurso propuesto al docente y al estudiante con la intención de optimizar los objetivos que se persiguen con respecto al aprendizaje significativo en el estudiante del siglo XXI, enfatizando el uso del tiempo académico presencial en las clases áulicas. La incorporación de los LMS en el sistema educativo favorece la comunicación bidireccional entre docentes y estudiantes, modifica el tiempo y espacio del aprendizaje, mejora el seguimiento del desempeño de los estudiantes, ofrece mecanismos de autoevaluación y favorece a la formación de comunidades de aprendizajes.[10]

Modelar estas metodologías vigentes en la educación permite observar en forma visual como los actores del proceso intervienen y sus acciones vinculadas a eventos especifican normas estipuladas por el contexto universitario. Un modelo es una abstracción de la realidad [9], a bajo costo, que nos permite visualizar aquellos elementos que son relevantes, descartando aquellos que no proporcionan valor en su representatividad. Es posible apoyarse en el uso de modelos para entender y comunicar una variedad de aspectos y variables que permiten comprender el funcionamiento de un proceso específico y con ello reducir la incertidumbre logrando información de valor para la toma de decisiones. Existen diversas formas de construir un modelo, según el propósito que se persiga, un modelo gráfico es una alternativa factible de implementar y comprender por personas de diferentes disciplinas, transmiten un significado intuitivo con especificaciones sobre la realidad a representar.

El estándar BPMN (Business Process Modeling Notation)[9] permite utilizar simbologías para representar en diferentes niveles de abstracción la funcionalidad de un proceso, la primera especificación de dicho estándar fue publicada en mayo de 2004. El objetivo primario de BPMN fue proveer una notación que sea legible y entendible para todos los usuarios que intervienen en el proceso desde el personal técnico u operativo hasta aquellos que ejercen funciones de gestión táctica y estratégica.

La construcción de modelos de procesos diseñados en BPMN permite capturar y documentar el conocimiento que se tiene acerca de la ejecución y flujo del proceso favoreciendo su modificación y mejora. Con BPMN[4] se puede representar distintos niveles de abstracciones y diseñar diferentes tipos de diagramas según el propósito que se persigue. Los distintos niveles de modelados que ofrece BPMN son:

Mapa de procesos: es una visión simplificada del proceso, donde solo se identifican los nombres de las actividades o subprocesos sin detalle de especificación, las condiciones de decisiones se generalizan.

Descripción de procesos: proporciona información más en detalle del proceso como las personas involucradas, es decir diferentes roles, datos e información que intervienen.

Modelo de procesos: incorpora con un alto nivel de detalle de especificaciones del proceso con suficiente información para poder analizarlo y simularlo.



previamente con la ejecución de actividades que le permitan al docente un seguimiento continuo del estudiante y este de manera disponer de información de valor para decidir la dinámica de la clase presencial, con el objetivo de lograr generar en él un aprendizaje significativo, con actividades auténticas conectadas con la realidad, permitiendo el desarrollo nuevas capacidades, como la flexibilidad, el pensamiento crítico, el manejo de diversos contextos, la resolución de problemas complejos, el trabajo colaborativo y en equipos interdisciplinarios, requeridas por la sociedad actual.[8]

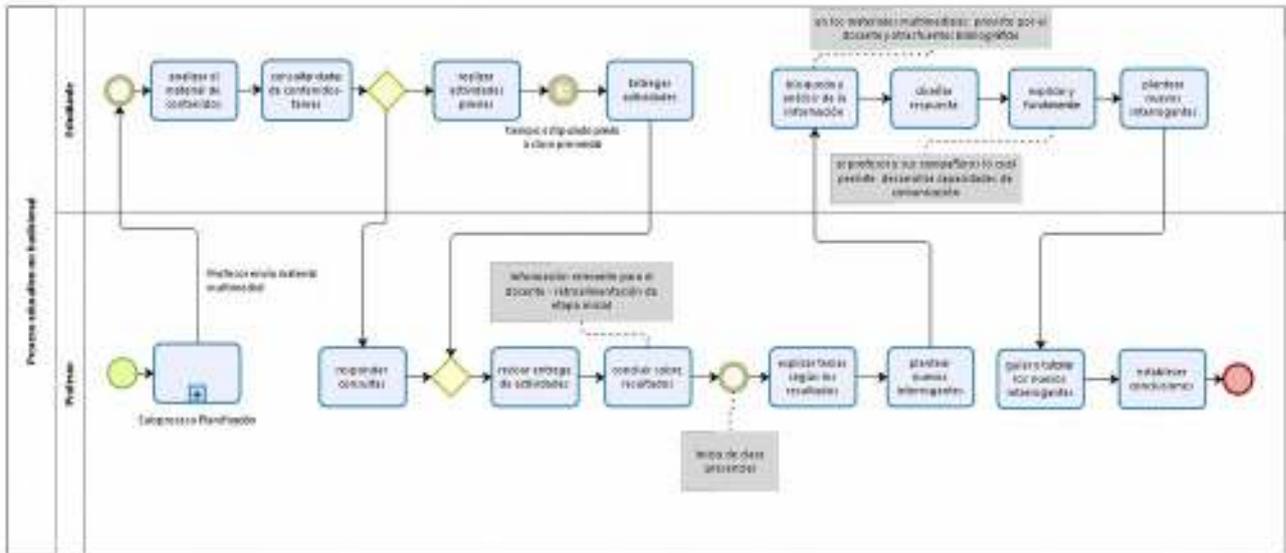


Fig. 3 - Proceso no tradicional - clase virtual y presencial

En la figura 4 se observa el subproceso planificación de una clase no tradicional, con las descripciones de las actividades formalizadas por el docente, se visualiza, en el mismo, la manipulación de un nuevo subproceso confeccionar contenido multimedial que consiste en la elaboración de materiales que faciliten la comprensión de conceptos previos que el estudiante debe adquirir antes de inicio de la clase presencial. Además se describe las acciones de retroalimentación que lleva a cabo el docente para reunirse de información que lo favorecen en las decisiones sobre la dinámica de su clase presencial. Este seguimiento de desempeño de los estudiantes permite conocer estadísticas individuales y grupales que condiciona la clase presencial.

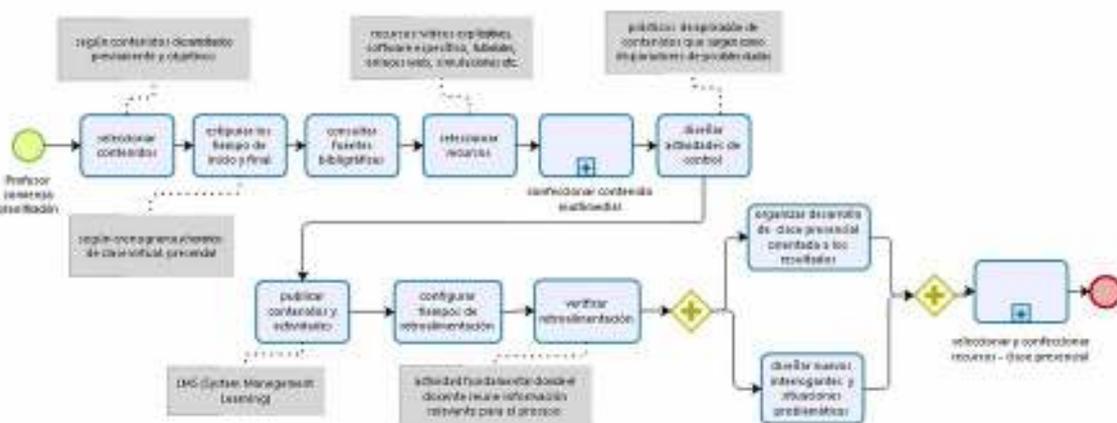


Fig. 4 - Proceso de planificación docente con modalidad no tradicional

### Conclusiones

El modelado de procesos es una actividad que empieza a utilizarse en el ámbito empresarial y/o productivo desde hace más de 30 años, en el ámbito educativo, con el surgimiento de las nuevas

modalidades de enseñanza impulsados por la incorporación de las tecnologías de información y comunicación (TIC), surge la necesidad de modelar para entender, documentar y comunicar las actividades que se llevan a cabo para cumplir las objetivos de aprendizajes.

El estándar utilizado para el modelado BPMN es aceptado en forma global, de fácil manipulación y comprensión permitiendo disponer de mecanismos normalizados para la definición, comunicación y reutilización de acciones educativas, que ofrezcan a los actores del procesos de enseñanza y aprendizaje la posibilidad de observar nuevas actividades y comportamientos reflexionando sobre el accionar de cada uno.

Los modelos descritos permiten concluir sobre el accionar del docente y el estudiante en ambas metodologías reflejando que el estudiante del siglo XXI necesita desarrollar nuevas competencias y capacidades para enfrentar los desafíos de una sociedad cambiante y dinámica, es por ello que su rol en la clase presencial es fundamental, ejercer el protagonismo y manipulación de la misma con acceso a desafíos que le permitan reflexionar, pensar de manera crítica, saber acceder a la información para producir soluciones complejas, poder comunicarse y expresarse ante sus compañeros y docente, creando comunidades de aprendizajes en la instancia presencial.

Por su parte la labor de docente se complejiza en saber identificar cuáles son los contenidos relevantes y como diseñarlos en formato multimedial, con conectividad a otras fuentes bibliográficas para que el estudiante interprete y manifieste comprensión por medios de actividades que retroalimenten la instancia de la clase presencial. El profesor universitario, tutor y facilitador de conocimiento, debe comprometerse con el aprendizaje permanente, significativo y en colaboración con otros, debe reunir las estrategias para lograr verdaderas comunidades de aprendizajes en sus aulas universitarias.

## Referencias:

- [1] Bernal, Daniel, Tapia, María Leticia, López, Sergio (Septiembre 2017) - Learning Analytics para determinar la relación entre uso de un Learning Management System y Rendimiento Académico ciudad universitaria – México  
<http://congreso.investiga.fca.unam.mx/docs/xxii/docs/7.05.pdf>
- [2] Bartolomé, Antonio. (2008). Entornos de aprendizaje mixto en la educación superior. Revista Iberoamericana de Educación a Distancia, 11(1), 15-51
- [3] Business Process Modeling Notation (BPMN) - Version 2.0 (2014). - 01.2014
- [4] BPMN Guía de Referencia y Modelado” WHITE, Stephen A., MIERS, Derek - Editorial Future Strategies Inc.Florida, USA 2009.
- [5] Cabero, Julio y Llorente, M<sup>a</sup> del Carmen. (2008). Del e-learning al Blended Learning: nuevas acciones educativas. Quaderns Digitals, (51)
- [6] DÍAZ Barriga, F., Hernández Rojas, G. “Estrategias Docentes para un Aprendizaje Significativo” México: McGraw Hill
- [7] García Aretio, L. (2013): “Flipped classroom, ¿b-learning o EaD? Contextos Universitarios Medios”, nº 13,9 (ISSN: 2340-552X)
- [8] García-Barrera, A - “El aula inversa: cambiando la respuesta a las necesidades de los estudiantes” Universidad a Distancia de Madrid (UDIMA)
- [9] Introduction to BPMN - Stephen A. White, IBM Corporation (2004).  
([www.bpmn.org/Documents/Introduction%20to%20BPMN.pdf](http://www.bpmn.org/Documents/Introduction%20to%20BPMN.pdf)) (12.2009)
- [10] Samperio Monroy, T., Hernández Mendoza, S., Licona Olmos, J., & Pérez Silva, D. (2016). Plataformas LMS, una alternativa TI de éxito en los sistemas educativos de nivel superior. Ciencia Huasteca Boletín Científico De La Escuela Superior De Huejutla, 4(7).  
doi:10.29057/esh.v4i7.1137



## **MAPEO DE ACTORES SOCIO PRODUCTIVOS DE VILLA MARÍA Y VILLA NUEVA.**

Jonathan C. Peralta, Lic. Carlos A. Trombotto, Director: Lic. Esp. Daniel N. Correa.

e – mail: [uvt.villamaria@gmail.com](mailto:uvt.villamaria@gmail.com)

Unidad Académica Villa María (UTN).

### **Resumen**

Como universidad necesitamos entender la interconexión de los actores, sus objetivos y sobre todo

sus demandas para poder evaluar y readecuar nuestra oferta tecnológica si es necesario. Con el notable avance en el crecimiento cuantitativo y cualitativo de la matriz productiva. Nuevos actores y agrupaciones han aparecido en el entramado socio productivo. Gracias a un relevamiento actual, realizado por el Foro para la Innovación Tecnológica (FoInnTec) donde la UVT es representante de la UTN FRVM, se cuenta con 160 empresas relevadas. Mediante el procesamiento de estos datos se planteó como objetivo principal desarrollar un Mapa de Actores Claves, para poder clasificarlos; analizar sus acciones, objetivos, demandas y perspectivas futuras. Pudimos concluir que existe una clara deficiencia en el entramado de relaciones intersectoriales como así también desconocimiento de las labores de vinculación e incluso ausencia de relaciones entre sectores que verían incrementado su potencial a través de acuerdos de trabajo conjunto e intercambio de información.

**Palabras clave:** mapeo, actores claves, interconexión, demanda, oferta

### **Introducción**

Las ciudades de Villa María y Villa Nueva poseen una ubicación geográfica beneficiosa dotándola de entramados de rutas internacionales – nacionales y provinciales, sumado a una cultura de trabajo y emprendedora de toda la región de influencia. Las universidades y centros educativos forman recursos humanos capacitados para asistir a las industrias y preparados para planear sus propios emprendimientos, generando grupos de investigación para transferir resultados y participando activamente en programas de mejora de desarrollo social y productivo.

Como universidad necesitamos entender la interconexión de los actores, sus objetivos y sobre todo sus demandas para poder evaluar nuestra y readecuar nuestra oferta si es necesario. Con el notable avance en el crecimiento cuantitativo y cualitativo de la matriz productiva. Nuevos actores y agrupaciones han aparecido en el entramado socio productivo. Gracias a un relevamiento actual, realizado por el Foro para la Innovación Tecnológica (FoInnTec) donde la UVT es representante de la UTN FRVM, se cuenta con 160 empresas relevadas. Mediante el procesamiento de estos datos se planteó como objetivo principal desarrollar un Mapa de Actores Claves, para poder clasificarlos; analizar sus acciones, objetivos, demandas y perspectivas futuras.

### **Metodología utilizada para el desarrollo del estudio**

Para este caso se utilizó como base de datos la información recolectada mediante el Relevamiento Industrial sobre Innovación y Capacidad Exportadora en Villa María y Villa Nueva. La mencionada información fue procesada de manera tal que permitiera dejar expuestos los

diferentes actores sociales, definimos al actor social o stakeholder como aquellas personas, grupos o instituciones que son afectados o afectan el desarrollo de determinadas actividades, aquellos que poseen información, recursos, experiencia y alguna forma de poder para influenciar (de manera positiva o negativa) la acción de otros. (EC-FAO, 2006).

Para elaborar el MAC se tomaron los resultados obtenidos durante el procesamiento de las encuestas realizadas en el marco del Relevamiento Industrial sobre Innovación y Capacidad Exportadora en Villa María y Villa Nueva, con estos datos se procedió a identificar los diferentes sectores que componen al grupo de empresas encuestadas, posteriormente se determinaron las preguntas a tener en cuenta a la hora de establecer las relaciones existentes en la región.

Una vez realizado esto se procedió a identificar y clasificar las funciones y roles de cada grupo de actores considerados para la realización del MAC, en este caso se definieron dos grupos de actores uno compuesto por Instituciones públicas y privadas con presencia en la región sumado a los diferentes fondos de financiamiento ofrecidos desde el gobierno de la nación. Y otro grupo compuesto por los diferentes sectores empresarios que existen en Villa María y Villa Nueva. (Metodología Pozo-Solis 2007).

### **Clasificación inicial de actores claves**

La información disponible para la realización del MAC consiste en las 160 empresas encuestadas para la realización del mencionado Relevamiento, además se consideraron instituciones, grupos y organizaciones de importancia en ambas ciudades como universidades, centros comerciales, asociaciones empresariales, entre otras.

Inicialmente se procedió a separar las diferentes empresas de acuerdo al sector en el cual desarrollan sus actividades, de esta manera lo que se logra es tener un panorama general de los intereses que persiguen en cada uno de los sectores y comenzar a comprender las relaciones existentes, sus fortalezas, debilidades y las relaciones que necesitan reafirmarse hacia el futuro. Los sectores encontrados en el universo de las 160 empresas fueron los siguientes:

INDUSTRIAL METALMECANICA
INDUSTRIAL ALIMENTACION HUMANA
INDUSTRIAL TEXTIL
INDUSTRIAL PLASTICOS Y CARTONES
SOFTWARE
COMERCIAL
LIMPIEZA Y QUIMICOS
INDUSTRIAL MADERAS, REVESTIMIENTOS
INDUSTRIAL COMERCIAL MARMOLERIAS
INDUSTRIAL NUTRICION ANIMAL
INDUSTRIAL ELECTRICOS, ELECTRODOMESTICOS
SERVICIOS
INDUSTRIAL SALUD
INDUSTRIAL AGROPECUARIO

A su vez las Universidades, Centros Comerciales, Asociaciones Empresariales e Instituciones consideradas fueron las siguientes:

UNIVERSIDAD TECNOLOGICA NACIONAL (UTN).
UNIVERSIDAD NACIONAL DE VILLA MARIA (UNVM).
INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA AGROPECUARIA.
INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA INDUSTRIAL.
ASOCIACION DE EMPRESARIOS DE LA REGION CENTRO ARGENTINA (AERCA).
CENTRO COMERCIAL INDUSTRIAL DE LA PRODUCCION Y SERVICIOS DE LA CIUDAD DE VILLA NUEVA.
ENTE PARA EL DESARROLLO PRODUCTIVO Y TECNOLOGICO DE VILLA MARIA S.E.M.
ENTE PARQUE INDUSTRIAL Y TECNOLOGICO DE VILLA MARIA S.E.M.

Con esta definición inicial de actores es que se procede a realizar el análisis de las funciones y roles de cada uno de ellos.

### Identificación de funciones y roles de cada actor

Ya determinados los actores considerados para la realización del MAC, se procede a la identificación de la función y los roles de cada uno de ellos, en este caso se decidió comenzar por la división sectorial de las 160 empresas, agrupándolas en rubros afines agilizando su análisis.

INDUSTRIAL METALMECANICA (49 empresas)
INDUSTRIAL ALIMENTACION HUMANA (43 empresas)
INDUSTRIAL TEXTIL (11 empresas)
INDUSTRIAL PLASTICOS Y CARTONES (7 empresas)
SOFTWARE (5 empresas)
COMERCIAL (11 empresas)
LIMPIEZA Y QUIMICOS (5 empresas)
INDUSTRIAL MADERAS, REVESTIMIENTOS (7 emp.)
INDUSTRIAL COMERCIAL MARMOLERIAS (3 emp.)
INDUSTRIAL NUTRICION ANIMAL (1 empresa)
INDUSTRIAL ELECTRICOS, ELECTRODOMESTICOS (3 empresas)
SERVICIOS (4 empresas)
INDUSTRIAL SALUD (1 empresa)
INDUSTRIAL AGROPECUARIO (1 empresa)

El rol del Empresariado en la región Villa María - Villa Nueva puede ser analizado desde diferentes puntos de vista, ya sea económico o social, desde el punto de vista económico se puede decir que el rol desempeñado por el empresario es vital y ha logrado posicionar a la región como un polo productivo de importancia, ha fomentado el desarrollo regional contribuyendo a la generación de riqueza genuina, que mediante la demanda de puestos de trabajo beneficia a la economía local.

En cuanto al aspecto social, los empresarios relevados cumplen el rol de ser constantes demandantes de Recursos Humanos, contribuyendo a generar un mercado laboral que brinda oportunidades para el desarrollo de estudiantes, profesionales, y mano de obra calificada presente en la comunidad regional. De esta manera reafirman su rol de importancia como actores sociales contribuyendo no solo al desarrollo económico de las personas sino también a su desarrollo intelectual a través de la constante exigencia del mercado laboral, siendo este un indicador que obliga también a las instituciones educativas locales a estar atentas a la formación de personas con un alto grado de capacitación.

A continuación se detallan el conjunto de organizaciones públicas, privadas y sociales consideradas para la elaboración del MAC:

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL VILLA MARÍA (UTN - FRVM).
UNIVERSIDAD NACIONAL DE VILLA MARÍA (UNVM).
INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA.
INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA INDUSTRIAL.
ASOCIACIÓN DE EMPRESARIOS DE LA REGIÓN CENTRO ARGENTINA (AERCA).
CENTRO COMERCIAL INDUSTRIAL DE LA PRODUCCIÓN Y SERVICIOS DE LA CIUDAD DE VILLA NUEVA.
ENTE PARA EL DESARROLLO PRODUCTIVO Y TECNOLÓGICO DE VILLA MARÍA S.E.M.
ENTE PARQUE INDUSTRIAL Y TECNOLÓGICO DE VILLA MARÍA S.E.M.

El rol que este grupo de organizaciones cumplen en la región va a estar definido por la naturaleza de cada una de ellas. En un primer momento vamos a analizar aquellas organizaciones de naturaleza educativa, considerando en este punto a la Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Villa María y a la Universidad Nacional de Villa María.

Para establecer las relaciones existentes entre las empresas relevadas y las organizaciones presentes en ambas ciudades se optó por considerar solo algunas de las preguntas realizadas durante el relevamiento, seleccionadas en base a su capacidad para determinar relaciones y vínculos. Las preguntas consideradas son las siguientes:

¿Cuáles de los siguientes programas del Estado conoce?
1. FONAPyME (Fondo Nacional para el Desarrollo de la Micro, Pequeña y Mediana Empresa)
2. FONCyT (Fondo para la Investigación Científica y Tecnológica)
3. FONTAR (Fondo Tecnológico Argentino)
4. FONSOFT (Fondo Fiduciario de Promoción de la Industria del Software)
5. Crédito Exporta
6. PACC Empresas (Programa de Acceso al Crédito y la Competitividad)
7. PACC Emprendedores
8. FONDER (Fondo Integral para el Desarrollo Regional)

Indique si tiene relaciones con las siguientes Instituciones
1. Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Villa María (UTN FRVM)
2. Universidad Nacional de Villa María (UNVM)
3. Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI)
4. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)
5. Asociación de Empresarios de la Región Centro Argentina (AERCA)
6. Centro Comercial Industrial de la Producción y Servicios de la Ciudad de Villa Nueva
7. Ente para el Desarrollo Productivo y Tecnológico de Villa María SEM
8. Ente Parque Industrial y Tecnológico de Villa María SEM

En primer lugar se buscó establecer las relaciones existentes con las instituciones presentes en la región, sirviendo también esto para detectar las debilidades latentes en el entramado de relaciones del sector institucional público/privado con el empresariado local.

A su vez se decide indagar acerca del conocimiento que las empresas poseen sobre los diferentes fondos de financiamiento que ofrece el estado nacional, que generalmente son de público conocimiento por la labor realizada en las Unidades de Vinculación Tecnológica de la ciudad.

### Elaboración de la matriz de mapeo de actores clave

Ya finalizado el proceso de identificación de funciones y roles de cada actor analizado se procede a volcar toda la información obtenida en el programa VISIONE 2.16 para la generación de matrices graficas en donde se exprese las

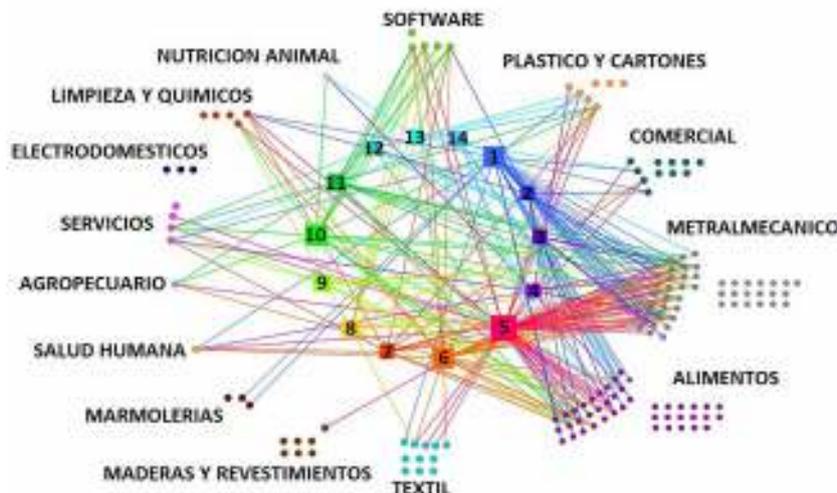


Fig. 1, Matriz de mapeo de actores clave.

### Conclusión del estudio realizado

Como conclusión de este informe podemos establecer que existe una clara deficiencia en el entramado de relaciones intersectoriales, desconocimiento de las labores de vinculación e incluso ausencia de relaciones entre sectores que pueden ver incrementado su potencial a través del intercambio de información o mediante acuerdos de trabajo conjunto.

Se pretende que con la publicación de este trabajo, los actores considerados se vean dotados de una herramienta de gran importancia decisora, para poder entablar procesos de acercamiento, desarrollo y fortalecimiento del intercambio mediante conexiones fluidas que favorezcan la retroalimentación entre los mismos.

Este fortalecimiento de las conexiones entre actores permitirá, dar a conocer el potencial de cada uno de ellos ya sea oferta académica, oferta de servicios, asesoramiento, conocimientos o incluso contactos con otros sectores dedicados al desarrollo de actividades similares o complementarias.

### Referencias

EC-FAO. 2006. "Stakeholders Analysis", Annex I to lesson "understanding the Users Information Needs", Food Security Information for Action Programme, FAO-EU.

Pozo Solís, A. 2007. "Mapeo de Actores Sociales", document de trabajo PREVAL-FIDA.



# EJEMPLO DE ANÁLISIS SÍSMICO DE ESTRUCTURA DE HªAª CON SISTEMAS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LA NORMA ASCE 7-10

Autores: Darío Segura<sup>1</sup>, Cristian Bay<sup>1</sup>

Director: Carlos Martínez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional San Rafael, Urquiza 314 CP 5600, San Rafael, Mendoza

**Resumen** En las últimas décadas se han investigado, desarrollado e implementado dispositivos de disipación pasiva de energía para incorporarse a estructuras sismorresistentes nuevas o existentes. Estos dispositivos pueden tener comportamiento viscoso, viscoelástico o histerético. Definida la clase y propiedades del disipador a emplear en una estructura, es necesario realizar el análisis de la misma con estos dispositivos, a los efectos de verificar las condiciones de aceptación de la misma. Normas internacionales como el ASCE/SEI 7 (2016), especifican para esta clase de estructuras procedimientos de análisis estático lineal equivalente, superposición modal y análisis dinámico no lineal. Considerando esta temática, se plantea como objetivo de este trabajo la aplicación de la metodología de análisis estático lineal equivalente de la norma ASCE, para una estructura de HªAª con disipadores viscosos. Para ello se selecciona la estructura ejemplo del INPRES CIRSOC 103 parte 2, y se especifican los disipadores a incorporar en la misma. La aplicación del método estático equivalente resulta sencilla y es compatible con el método con el que los profesionales están familiarizados

## Introducción

El análisis de las estructuras civiles bajo vibraciones generadas por actividad sísmica se vuelve de vital importancia en ciudades que, debido a la densidad poblacional, se desarrollan cada vez más en sentido vertical. Por este motivo se debe comprender el comportamiento dinámico de una estructura de N grados de libertad, sometido a aceleraciones en su base. Un sistema dinámico de N grados de libertad, con disipadores viscosos incorporados, sometido a aceleraciones en la base se rige por la ecuación de movimiento en la forma matricial

$$M\ddot{x}(t) + [C + Cv]\dot{x}(t) + Kx(t) = -Mr\ddot{x}_s(t) \quad (1)$$

Esta ecuación matricial representa N ecuaciones diferenciales lineales de segundo orden y gobierna la respuesta de la estructura  $x$  sometida a la aceleración en la base  $\ddot{x}_s(t)$ . Las matrices M, C y K representan la matriz de masa, amortiguamiento y rigidez de la estructura, respectivamente, Cv es la matriz de amortiguadores incorporados y r es un vector unitario de N elementos. Un amortiguador de fluido viscoso normalmente consiste en un dispositivo en el que la energía es disipada mediante el movimiento del fluido viscoso dentro de un cilindro. En el presente trabajo nos centraremos en el diseño de disipadores viscosos mediante la metodología de cálculo de la norma ASCE/SEI 7. Siguiendo dicha norma se procede a establecer los requerimientos de diseño.

- 1) Identificación de los elementos SFRS y elementos del sistema de amortiguamiento
- 2) Determinación del coeficiente de amortiguamiento CL de cada amortiguador para obtener un amortiguamiento viscoso suplementario en el primer modo de vibración de  $\beta v = 0.1$
- 3) Determinación del corte basal de diseño para el SFRS
- 4) Verificación de que el Método Estático Equivalente es aplicable a la estructura

5) Determinación de las fuerzas laterales de diseño para los elementos del sistema de amortiguamiento.

### Estructura estudiada

La estructura estudiada es el edificio del ejemplo del reglamento CIRSOC 103 parte 2. La misma cuenta con un sistema resistente a la acción sísmica (SFRS) y un sistema de disipación sísmica, los cuales se describen a continuación.

El sistema resistente a la acción sísmica está formado por un edificio regular de hormigón armado cuyas características constructivas se detallan en la tabla 1

Tabla 1: Características Técnicas

Zona Sísmica 4	Hormigón tipo H-25
Suelo tipo C - Grupo B	Densidad: 24 KN/m <sup>3</sup>
10 niveles - Hmáx: 35.5m	Acero ADN 420

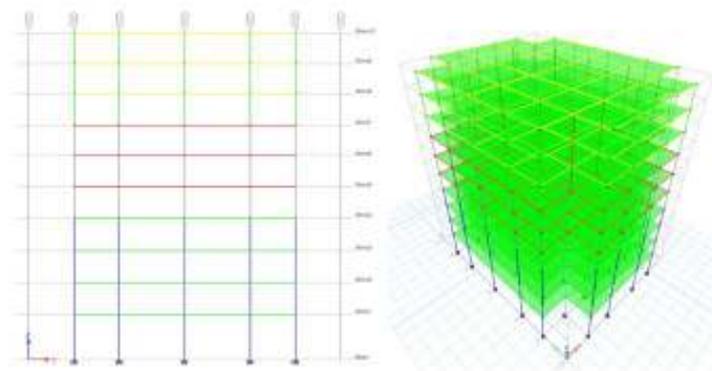


Figura 1: Esquemas del edificio modelado

### Método Estático Equivalente

#### 1) Identificación de los elementos SFRS y elementos del sistema de amortiguamiento

El sistema resistente a la acción sísmica está conformado por un edificio regular de hormigón armado de diez niveles, considerando nulos los efectos torsionales. La estructura corresponde a pórticos resistentes a momentos y con empotramiento en sus bases, según se especifica en el ASCE/SEI 7 (2010). Según este reglamento, se tiene un factor de reducción global  $R = 8$ , y un factor de amplificación de deformaciones  $C_d = 5.5$ .

#### 2) Determinación del coeficiente de amortiguamiento $CL$ de cada amortiguador para obtener un amortiguamiento viscoso suplementario en el primer modo de vibración de $\beta_v = 0.1$

La norma ASCE 7-10 Establece la siguiente expresión para el cálculo de los disipadores:

$$CL = \frac{\beta * T1 * \sum_{i=1}^{Nf} Ki * \delta i^2}{\pi * \sum_{i=1}^{Nd} \delta i^2 * \cos^2 \gamma i} \quad (2)$$

Dónde:

$\beta$ : Amortiguamiento viscoso suplementario; para nuestro caso adoptado  $\beta = 0.01$

$T1$ : Periodo correspondiente a la primer forma modal

$K_i$ : Rigidez para el piso  $i$

$\delta_i$ : Desplazamiento relativo entre pisos consecutivos

$\gamma_i$ : Ángulo formado entre el disipador y la dirección  $x$  El valor obtenido de CL según (2) fue:

$$CL = \frac{\beta * T_1 * \sum_{i=1}^{N_f} K_i * \delta_i^2}{\pi * \sum_{i=1}^{N_d} \delta_i^2 * \cos^2 \gamma_i} = 8,8867 \times 10^4 \frac{Ns}{m} \quad (3)$$

### 3) Determinación del corte basal de diseño para el SFRS

a) Peso sísmico en el modo fundamental

$$\overline{W1} = \frac{(\sum_{i=1}^{10} w_i * \phi_{i,1})^2}{\sum_{i=1}^{10} w_i * \phi_{i,1}^2} = 798.9485 \text{ ton} \quad (4)$$

b) Factor de participación modal

$$\Gamma_1 = \frac{\overline{W1}}{\sum_{i=1}^{10} w_i * \phi_{i,1}} = 0.0194 \quad (5)$$

c) Periodo fundamental efectivo al desplazamiento de diseño

$$T_S = \frac{SD_1}{SD_S} = \frac{0.7172}{0.925} = 0.7753 \text{ s} \quad (6)$$

Con  $SD_1$  y  $SD_S$  obtenidos mediante la norma ASCE 7-10 aplicando la norma CIRSOC-103

Ductilidad asumida bajo sismo de diseño

$$\mu_d = 1.3 \quad (7)$$

$$T_{1D} = T_1 \sqrt{\mu_d} = 0.9762 \text{ s} \quad (8)$$

d) Amortiguamiento hysterético del SFRS al desplazamiento de diseño

$$0.5 < qh = 0.67 * \frac{T_S}{T_1} = 0.6068 \leq 1 \quad (9)$$

$$\beta_{HD} = qh * (0.64 - \beta_i) * \left(1 - \frac{1}{\mu_d}\right) = 0.0854 \quad (10)$$

e) Amortiguamiento total efectivo en el modo fundamental para el desplazamiento de diseño

Utilizando la Tabla 2 y resolviendo por interpolación lineal se obtienen los coeficientes de amortiguamiento necesarios.

$$\beta_{1D} = \beta_i + \beta_{vi} * \sqrt{\mu_d} + \beta_{HD} = 0.2294 \quad (11)$$

$$B_{1D} = 1.625 \quad (12)$$

f) Coeficiente sísmico en el modo fundamental

Asumiendo un pórtico con ductilidad completa [4]

$$\Omega_0 = 3; R = 7; Cd = 5.5 \quad (13)$$

$$Cs1 = \left(\frac{R}{Cd}\right) * \left(\frac{SD1}{T1D * \Omega_0 * B1D}\right) = 0.1918 \quad (14)$$

$$T1D > Ts$$

Tabla 2: Coeficientes de amortiguamiento en relación al amortiguamiento efectivo

Effective Damping, $\beta$ (percentage of critical)	$B_{v+i}, B_{1D}, B_R, B_{1M}, B_{mD}, B_{mM}$ (where period of the structure $\geq T_0$ )
$\leq 2$	0.8
5	1.0
10	1.2
20	1.5
30	1.8
40	2.1
50	2.4
60	2.7
70	3.0
80	3.3
90	3.6
$\geq 100$	4.0

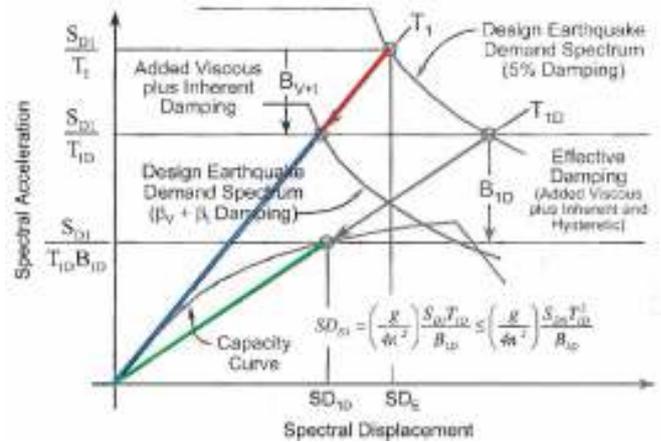


Figura 2: Reducción del amortiguamiento efectivo de la demanda de diseño

- g) Corte basal de diseño en el modo fundamental

$$V1 = Cs1 * \overline{W1} = 153.245 \text{ KN} \quad (15)$$

- h) Desplazamiento de diseño para el techo en el modo fundamental

$$\beta 1E = \beta i + \beta v = 0.13 \quad (16)$$

$$B1E = 1.32 \quad (17)$$

$$a) \left(\frac{g}{4\pi^2}\right) * \left(\frac{\Gamma 1 * SD 1 * T 1 D}{B 1 D}\right) = 0.2025 \quad (18)$$

$$b) \left(\frac{g}{4\pi^2}\right) * \left(\frac{\Gamma 1 * SD 1 * T 1 D}{B 1 E}\right) = 0.2493 \quad (19)$$

En este caso se deben comparar ambos valores y tomar el mayor como el desplazamiento de diseño para el modo fundamental (D1D)

$$D1D = 0.2493 \text{ m} = 249.3 \text{ mm} \quad (20)$$

- i) Desplazamiento de fluencia de techo

$$Dy = \left(\frac{g}{4\pi^2}\right) * \frac{\Omega_0 * Cd}{R} * \Gamma 1 * Cs1 * T 1^2 = 0.1558 \quad (21)$$

- j) Demanda efectiva de ductilidad

$$\mu d = \frac{D1D}{Dy} = 1.6004 \quad (22)$$

- k) Propiedades modales en el modo residual

$$\overline{WR} = W - \overline{W1} = 6.56 * 10^3 \text{ ton} \quad (23)$$

$$\Gamma r = 1 - \Gamma 1 = 0.9806 \quad (24)$$

$$TR = 0.4 * T 1 = 0.3425 \quad (25)$$

- l) Amortiguamiento viscoso equivalente en el modo residual

$$\beta vr = \frac{\pi * CL * \sum_{i=1}^{Nd} \delta i^2 * \text{Cos}^2 \gamma i}{T 1 * \sum_{i=1}^{Nf} Ki * \delta i^2} = 0.3142 \quad (26)$$

Por interpolación lineal de la Tabla 2 se obtiene el valor de  $B_R=1.9326$  el cual será utilizado en el siguiente paso de cálculo.

m) Desplazamiento de diseño para el techo en el modo residual

$$\left(\frac{g}{4\pi^2}\right) * |\Gamma r| * \frac{SD_s * TR^2}{BR} = 1.3310 \quad (27)$$

n) Coeficiente de respuesta sísmica y corte basal de diseño en el modo residual

$$Csr = \left(\frac{R}{Cd}\right) * \frac{SD_s}{\Omega_0 * BR} = 0.2031 \quad (28)$$

$$VR = Csr * \overline{WR} = 1.3221x10^3 \quad (29)$$

o) Corte basal de diseño

$$VD = \sqrt{V1^2 + VR^2} = 1.3409x10^3 \quad (30)$$

p) Verificación del mínimo corte basal de diseño

Para la verificación del mínimo corte basal de diseño, se utiliza la Tabla 2 y a través de los coeficientes de amortiguamiento se interpola el valor necesario para obtener  $B_{v+i}$

$$B_{v+i} = 1.32 \quad (31)$$

$$V_{codigo} = V = \frac{SD_s}{I_e} * W \quad (32)$$

$$a) V_{min1} = 0.75 * V = 729.3589 \quad (33)$$

$$b) V_{min2} = \frac{V}{B_{v+i}} = 736.726 \quad (34)$$

De donde  $I_e$  es el factor de importancia de la estructura, tomado como 1 de INPRES CIRSOC 103

Los valores obtenidos con las ecuaciones a y b se deben comparar con el valor de VD calculado en el punto anterior, de ser menores, se tomará VD como corte basal de diseño.

En nuestro caso:

$$VD > V_{min1} \quad (35)$$

$$VD > V_{min2} \quad (36)$$

Se selecciona

$$VD = 1.3409x10^3 \text{ KN} \quad (37)$$

4) Verificar que el procedimiento de fuerza lateral elástica ELF es aplicable a la estructura

Condiciones de aplicabilidad del procedimiento:

Colocar al menos dos disipadores por piso

Amortiguamiento efectivo en el modo fundamental menor al 35% del crítico

SFRS sin irregularidades (estructura simétrica)

Pisos diseñados como diafragmas rígidos

5) *Determinar las fuerzas laterales de diseño para los elementos del sistema de amortiguamiento.*

En la Figura 3 se muestra el esquema de cálculo.

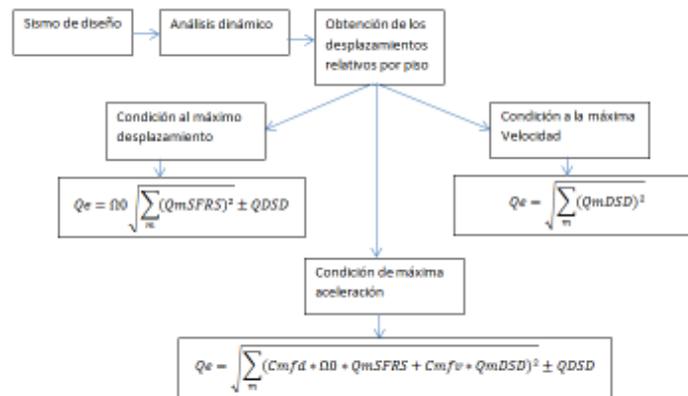


Figura 3: Esquema de cálculo.

Donde:

$Q_e$ : Fuerza sísmica total de diseño para un elemento del sistema de amortiguamiento.

$Q_mSFRS$ : Fuerza para un elemento del sistema de amortiguamiento correspondiente a la forma modal  $m$  del sistema SFR bajo excitación del sismo de diseño

$QDSD$ : Fuerza para un elemento del sistema de amortiguamiento correspondiente a las fuerzas causadas por amortiguadores histeréticos para los desplazamientos máximos de diseño de la estructura

$\Omega_0$ : Factor de sobrecarga del sistema SFRS (dado por INPRES CIRSOC 103)

### Conclusiones de la metodología de cálculo

Los reglamentos internacionales proponen distintos procedimientos de análisis para estructuras que incorporan sistemas de disipación. Aunque recomiendan especialmente el análisis dinámico no lineal, los otros procedimientos (análisis modal espectral o análisis estático) pueden tener más limitaciones, son útiles en la fase de diseño, ya que permiten obtener parámetros de respuesta con mucho menos tiempo computacional. En este trabajo se muestra el método estático equivalente según los requerimientos del ASCE 7/16. Su aplicación es sencilla y es compatible con el método estático equivalente con el que los profesionales están familiarizados. Es necesario analizar la estructura y las características de diseño antes de aplicar la metodología ya que requiere condiciones especiales para su aplicación. Si bien los resultados son preliminares, los resultados obtenidos por el método propuesto verifican los requerimientos de diseño y cálculo estructural.

### Referencias

CIE626-Chapter 7-ASCE 7/10 desing provisions for structures with passive energy dissipating systems. Disponible en: <http://sharif.edu/~ahmadizadeh/courses/strcontrol/>  
 INPRES CIRSOC, 2013, Reglamento INPRES CIRSOC 103.  
 INPRES CIRSOC, 2005, Ejemplo de diseño sísmico de un edificio estructurado con pórticos de hormigón armado.

## MODULADOR DIGITAL QPSK

Matías Bruschini, Santiago Quinteros. Tutor: Javier G. Panero  
Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Villa María  
Av. Universidad 450 - X5900 - Villa María – Córdoba. (0353) 453-7500 / 01

### Resumen

El siguiente proyecto está basado en la beca realizada por los alumnos Matías Ezequiel Bruschini y Santiago Quinteros, a cargo del profesor Javier Guillermo Panero, consistente en el desarrollo de un modulador digital QPSK. Se realizó desde la programación del modulador en Matlab y placa de prueba hasta la puesta en punto y regulaciones del modulador.

La duración de esta beca fue de diez meses, en el transcurso entre los meses de marzo y diciembre del año 2017.

El modulador consta de tres bloques fundamentales: microcontrolador (unidad de procesamiento), conversor digital/análogo y etapa de amplificación y filtrado. El microcontrolador utilizado fue la placa de prueba de un Pickit 3, cuyo microcontrolador es PICK 18F45K20, dado que sus frecuencias de trabajo eran más adecuadas a las requeridas y estaban disponibles para su uso en el laboratorio de la facultad.

En el trabajo se adjuntan imágenes tanto de simulaciones como fotografías tomadas de los osciloscopios en las que se comprueba que el comportamiento del proyecto se cumple por igual en ambos casos.

### Desarrollo del proyecto

Mediante el uso del programa Matlab, se desarrolló un código en lenguaje Matlab que realiza toda la simulación de la modulación, mediante una cadena de valores binarios aleatorios generados automáticamente.

Una vez generada la cadena, se separará en dos canales lo cual llamaremos Canal I y el otro Canal Q, a los que se les asignarán las posiciones impares y pares respectivamente. Estos canales poseerán la mitad de la longitud original, por lo que su cantidad de valores binarios deberá ser un número par para no generar errores en la futura modulación digital. Se llegó a la siguiente conclusión luego de una serie de pruebas en la que el programa no se comportaba de la manera esperada, ya que en la modulación analógica no es necesaria una longitud idéntica por ser una modulación de señales y no de vectores. En ese caso, modularía un solo canal analógico mientras el otro no tendría valor alguno.

Luego estos sub vectores pasarán por un filtro pasa bajo o de conformación de onda que reduce los armónicos no principales, provenientes de la señal cuadrada digital. Con esto se obtiene una reducción considerable de ancho de banda con una respuesta final aproximada a la esperada en toda la cadena de valores. A esta inferencia llegamos luego del estudio de cátedras como Sistemas de Comunicaciones y Tratamiento de Señales Digitales.

El filtro elegido para el trabajo es de tipo coseno realzado. Este filtro reduce al mínimo la interferencia intersímbolo (ISI), por lo que es muy usado en telecomunicaciones. Su respuesta a las distintas señales de entrada depende de varios factores, siendo el valor de rolloff (beta) el más importante. Este varía entre 0 y 1; cuanto menor sea su valor la respuesta en amplitud será más cercana a la ideal, teniendo una forma cuadrada con pendiente infinita. En cuanto al ancho de banda, un valor de beta igual a cero nos da el mínimo ancho de banda, y beta igual a uno el máximo (el doble).

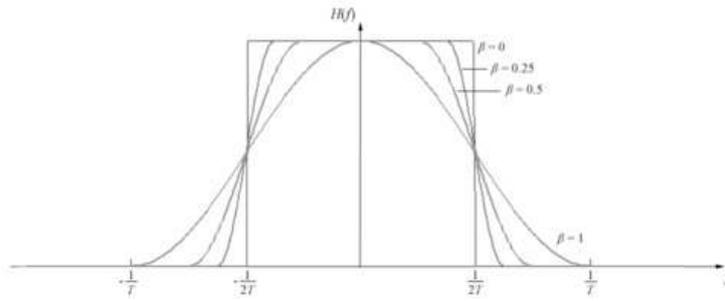


Fig. 1. Respuesta en amplitud de los distintos valores de rolloff

Dentro de Matlab todos los valores, ya sea frecuencia de portadora, largo del vector de bits aleatorios, bits de resolución, parámetros del filtro (cantidad de símbolos, muestras por símbolo, roll-off), así como los canales de la placa por los cuales saldrá cada señal modulada, pueden ser elegidos por el usuario antes de ponerlo en funcionamiento. De esta manera el usuario puede corroborar el comportamiento de la simulación antes de la carga en el microcontrolador. También puede ser cargado todas las veces que se necesite mediante una PC, cambiando los valores previos para evaluar los distintos comportamientos, a su vez de la posibilidad de ingresar una cadena de bits no filtrados para observar un comportamiento de señal cuadrada ideal.

Una gran utilidad del programa que no se obtiene luego en la placa, es la visualización de todos los valores de los vectores, como longitudes, valores pre y post modulación, amplitud, etc. así como la posibilidad de cerciorarse que la memoria del microcontrolador tenga la suficiente capacidad de almacenamiento para la carga completa. Debe tenerse en cuenta que esto es fijo (cantidad de bytes), dependiente del microcontrolador utilizado.

El siguiente paso es la multiplicación de Canal I por el seno y el Canal Q por el coseno, también definidos en Matlab.

Finalmente ambos canales son sumados por un sumador analógico, obteniéndose una salida modulada digitalmente.

El programa en Matlab genera una tabla que relaciona los valores máximos y mínimos de la simulación en una escala truncada entre 1 y  $2^n$  (64, 128, 256, etc.), donde n es la cantidad de bits de salida del microcontrolador. Posteriormente agrega las palabras reservadas del código del microcontrolador para que este envíe los valores a las salidas de los puertos, además de las librerías necesarias, frecuencia de trabajo en MHz, especificación del microcontrolador. La carga se realiza con otro programa llamado PCW-HD, un compilador conectado vía USB a la placa de carga de PICs.

Aquí finaliza el bloque de procesamiento de señal.

El microcontrolador es insertable en la placa de conversión D/A. De éste, la señal digital pasa por un convertor D/A de tipo R/2R que transforma los n bits digitales en una salida analógica de acuerdo a la ponderación de sus bits.

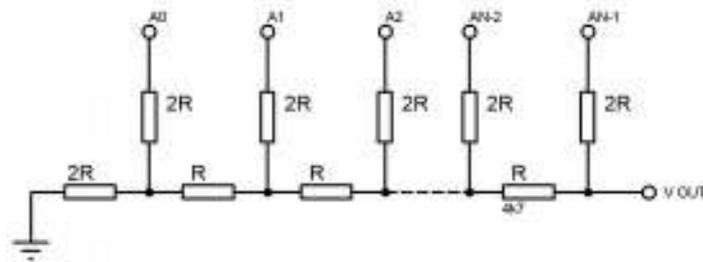


Fig. 2. Conversor R/2R

La placa posee pines de medición en varias etapas del circuito para realizar mediciones, tanto digitales como analógicas.

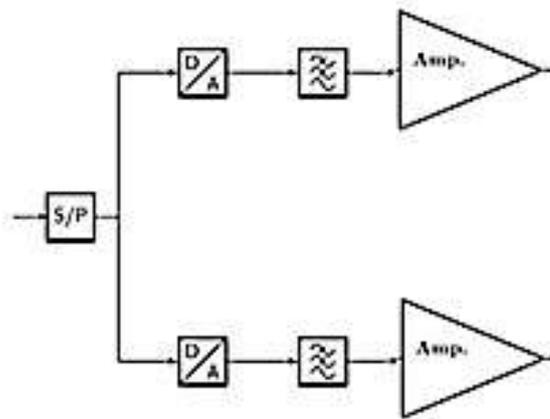


Fig. 3. Diagrama en bloques del proyecto

En el diagrama omitimos la inclusión del microcontrolador, debido a que es un componente ajeno al desarrollo de la placa. Como aclaración, iría antes del cuadro S/P de la figura 3.

La utilidad de tener los canales separados (que se verán en figuras posteriores) es la posibilidad de observarlos por separado tanto el canal I como el Q.

A continuación se podrá ver la placa realizada, una simulación del programa Matlab y una imagen de la señal de salida modulada en canales separados vista en un osciloscopio en las que se observan los resultados obtenidos.

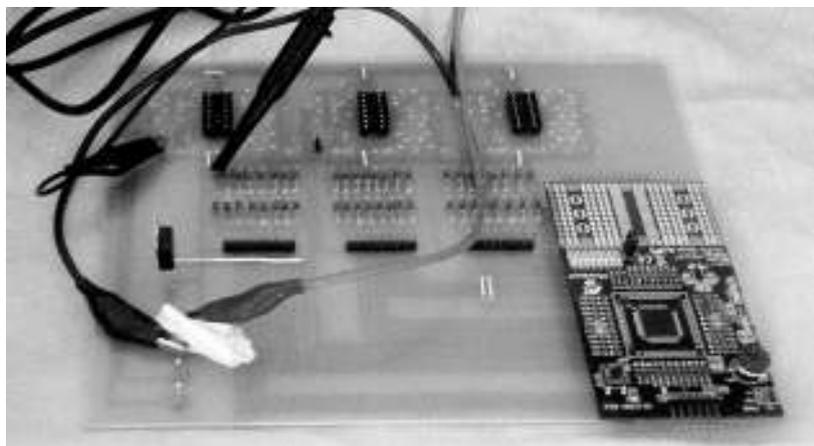


Fig. 4. Placa desarrollada conectada al microcontrolador y elementos de medición

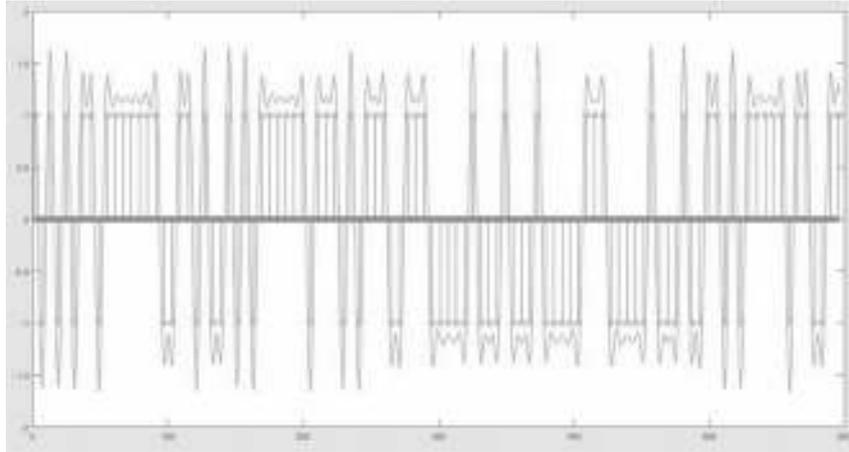


Fig. 5. Simulación en Matlab, datos binarios de entrada y señal modulada superpuestos

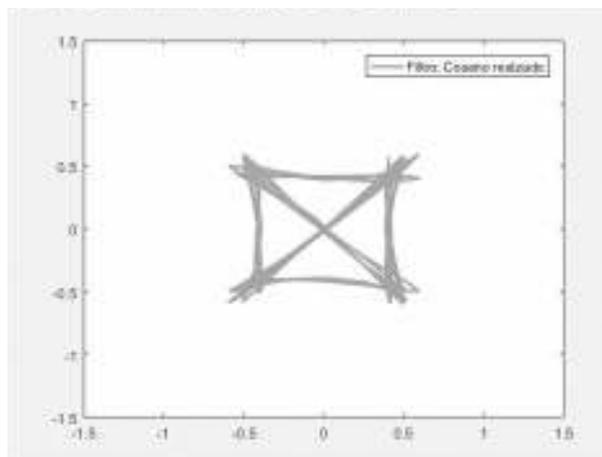


Fig. 6. Imagen en modo paramétrico XY de la señal IQ con filtro intersímbolo coseno realizado en Matlab con rolloff 0.8

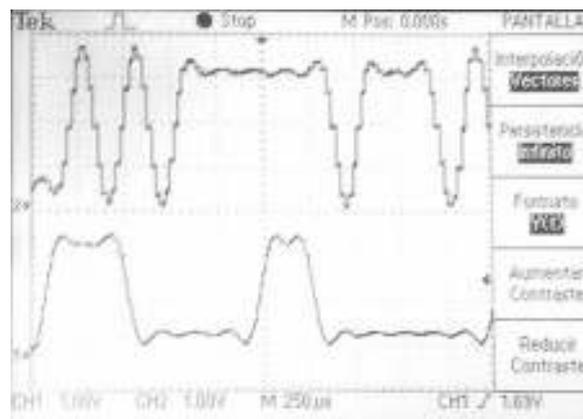


Fig. 7. Imagen obtenida de la señal modulada a través de un osciloscopio (vista de algunos bits)

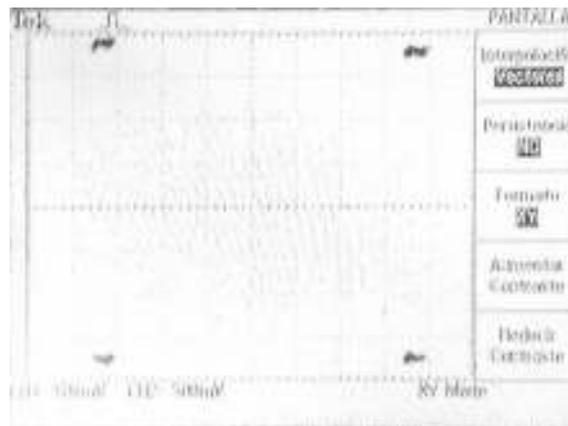


Fig. 8. Imagen en modo paramétrico XY de la señal IQ

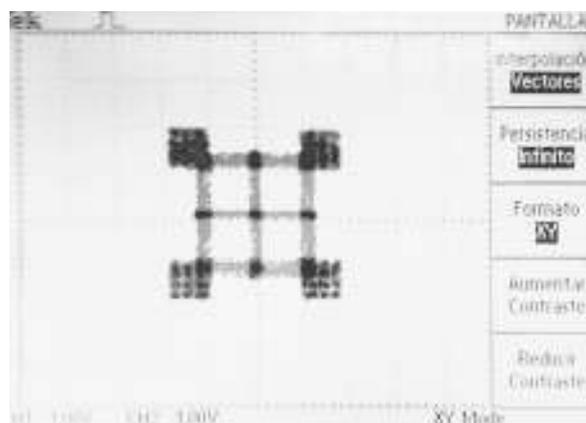


Fig. 9. Imagen en modo paramétrico XY de la señal IQ con filtro intersímbolo coseno realizado

## Conclusión

El proyecto fue realizado en los laboratorios de la facultad y en tiempos extras fuera de ella. Fue un proyecto interesante de desarrollar ya que en meses previos se había solicitado en la cátedra Proyecto Final la necesidad de dispositivos de enseñanza de los últimos años de la carrera, por lo que fue una oportunidad de comenzar con esta idea que permite a los estudiantes no pasar tiempo realizando placas que van a usar pocas veces y que llevan mucho tiempo de construcción, sino avocarse a comprender los conocimientos específicos de las cátedras con las placas ya desarrolladas.

Como objetivos personales creemos haber cumplido y superado las expectativas, pudiendo mejorarlas incluso más, o bien extenderla a un posible Proyecto Final. Durante el curso de la beca pudimos comprender mucho más ciertos conocimientos adquiridos en las cátedras ya cursadas y el ahondamiento en los temas particulares que eran clave en el modulador.

Una aclaración válida para que no se preste a confusiones, es que la modulación la realiza Matlab y la placa lo que hace es una emulación de una modulación en base a lo precargado en el microcontrolador.

Todo lo realizado, tanto software como hardware, quedan en la facultad para que quien lo necesite o quiera mejorar pueda hacerlo teniendo una placa base como guía, además de nuestra predisposición en el caso de que así fuera requerido de concurrir para despejar dudas sobre lo realizado.

## **Referencias bibliográficas**

Comunicaciones I: Señales modulación y transmisión (Enrique Herrera Perez) Editorial LIMUSA.  
Manuales de Matlab. Fuente: [www.mathworks.com](http://www.mathworks.com)  
Sistemas de comunicaciones (Danizio, Pedro E.) Editorial Universitas.

# SELECCIÓN DE SISTEMA DE COMPRESIÓN DE IMÁGENES PARA CÁMARA SATELITAL DE ALTA RESOLUCIÓN

**Autor:** MSc. Ing. Matías L. Martini <sup>(1)</sup>. **Director:** Dr. Ing. Sebastián Pazos <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Maestría en Instrumentos Satelitales UFS-CONAE FRM-UTN, [matias.leonel.martini@gmail.com](mailto:matias.leonel.martini@gmail.com)

<sup>(2)</sup> UNLP

## Resumen

Las imágenes adquiridas por instrumentos satelitales ópticos de alta resolución, representan grandes volúmenes de datos y su compresión con pérdidas a bordo es una alternativa para mitigar las restricciones de memoria y transmisión de datos, a costa de una degradación de la calidad. El objetivo de este trabajo es presentar la selección de un sistema de compresión de imágenes para la Cámara de Alta Resolución (CAR) de la misión SARE de la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) teniendo en cuenta la relación de compromiso entre la tasa de compresión, la complejidad y la degradación de la calidad de imagen. En primer lugar, mediante el análisis del estado del arte en compresión de imágenes a bordo, considerando sistemas basados en predicción, Transformada Discreta de Coseno (DCT) y Transformada Discreta de Wavelet (DWT); se preseleccionan cuatro sistemas de compresión. Finalmente, se presentan los resultados de simulaciones que permiten la evaluación del desempeño de los sistemas de compresión JPEG-Baselines, JPEG2000, JPEG-LS y CCSDS-IDC, y se muestra que los últimos dos presentan las mejores opciones considerando la relación de compromiso que se persigue en este trabajo.

## 1. Introducción

Los satélites de observación terrestre orbitan alrededor de la tierra y llevan distintos tipos de instrumentos para adquirir datos. Un tipo de estos, son los instrumentos ópticos de alta resolución, capaces de producir imágenes del espectro visible con una resolución tal que un píxel equivale a una porción de la tierra menor o igual a 10 m, incluso, actualmente existen instrumentos con resoluciones del orden de las decenas de centímetros. Estos instrumentos generan grandes volúmenes de información que deben ser almacenados a bordo y transmitidos a la estación terrena. Por otro lado, debido a las limitaciones de masa y potencia, y al alto costo del equipamiento de uso espacial, es importante reducir al mínimo la capacidad de almacenamiento y la tasa de transmisión. En este escenario, la cantidad de imágenes que puede tomar el instrumento es limitada [1].

Una alternativa para aprovechar eficientemente el limitado espacio de almacenamiento y canal de datos, es la compresión de imágenes a bordo, que es el mecanismo que permite reducir la cantidad de datos necesarios para representar una imagen. Esta compresión puede ser sin pérdidas (*lossless*), lo cual, luego de un proceso de descompresión en tierra, permite recuperar la imagen exactamente igual a la original; o con pérdidas (*lossy*), que implica alguna pérdida de información y consecuentemente una degradación de la calidad de la imagen con el beneficio de lograr una mayor reducción del espacio ocupado por ella [2].

Al aplicar la compresión a una imagen original se obtiene un grupo de datos que representa a la imagen y ocupa una menor cantidad de espacio de memoria. La relación entre el tamaño de la imagen original y la imagen comprimida es la tasa de compresión,  $CR$ . Cabe destacar que, cuando se realiza compresión con pérdidas, existe una relación inversa entre la tasa de compresión y la calidad de imagen. Por lo tanto, es esencial para un diseño óptimo del sistema, encontrar un equilibrio entre estos parámetros.

Otra variable a considerar es la complejidad del sistema de compresión, ya que el hardware disponible para el espacio no tiene grandes prestaciones de memoria, velocidad, etc. Si bien existen algoritmos con una alta tasa de compresión, son demasiado complejos para ser implementados en hardware tolerante al ambiente espacial [3].

En el marco del Plan Espacial Nacional Argentino, de la CONAE, se desarrolla el proyecto SARE 2A que como carga útil llevará la CAR que tiene capacidad de detección pancromática

(PAN), y multiespectral (MS) de cuatro bandas: rojo, verde, azul e infrarrojo cercano. Cuenta con un detector de líneas con 12.288 píxeles en la banda PAN y 3.072 píxeles en cada una de las bandas MS. Cada píxel de la imagen equivale a una porción cuadrada de la tierra de 1 m de lado para el canal PAN y de 4 m de lado para los canales MS. Estas características comparadas con la capacidad de almacenamiento y transmisión de a bordo hacen que sea necesaria la aplicación de un sistema de compresión con pérdidas para un mejor aprovechamiento de los recursos. En efecto, en este trabajo se propone la selección de un sistema de compresión para la CAR considerando la relación de compromiso entre la tasa de compresión, la complejidad y la degradación de la calidad de imagen.

## 2. Compresión de imágenes a bordo

En una imagen de una componente espectral hay tres tipos de redundancias que pueden ser reducidas o eliminadas para lograr la compresión. La redundancia espacial, que involucra elementos que están duplicados en la imagen e información de cada píxel que puede deducirse de sus vecinos. Para removerla se aplican métodos de descorrelación espacial basados en predicción y transformaciones (DCT y DWT). La redundancia de codificación (o estadística), que se basa en la probabilidad de ocurrencia de los símbolos (en el caso de imágenes, un determinado nivel de gris). Para mitigarla, la idea básica es asignar palabras de código cortas a símbolos con alta probabilidad de ocurrencia y palabras de código largas a símbolos con baja probabilidad. Los dos métodos más populares son la codificación de Huffman y codificación aritmética, generalmente llamados codificación de entropía. El último tipo de redundancia es la información irrelevante, caracterizada por la existencia de información sensada que es ajena a la utilización prevista de la imagen o que el sistema de visión humano no percibe. Este tipo de redundancia se explota en la compresión con pérdidas por medio de una cuantificación. Acorde a esto un compresor queda determinado por la combinación de un bloque para eliminar cada tipo de redundancia como se muestra en la Fig. 1 y la descompresión por las operaciones inversas en sentido inverso, recordando que la cuantificación no es reversible [4]. La clasificación más habitual de los sistemas de compresión es según la base teórica de la etapa de descorrelación espacial.



Fig. 1. Arquitectura típica de un sistema de compresión.

En misiones satelitales la aplicación de compresión a bordo inició en el SPOT-1 lanzado en 1986 con un sistema basado en predicción, más adelante surgieron sistemas basados en predicción adaptativa hasta recientes aplicaciones de JPEG-LS en la misión DMC-3 lanzada en 2015. La aplicación de sistemas basados en DCT se dio por primera vez en 1988 a bordo de la sonda PHOBOS y tuvo su auge con la estandarización del sistema JPEG-Baselines, siendo éste el compresor más utilizado. La implementación de técnicas basada en DWT tuvo lugar luego del 2000 tras la estandarización de JPEG2000, no obstante este algoritmo es demasiado complejo lo cual impulsó al desarrollo del sistema CCSDS-IDC especialmente diseñado para el uso a bordo de misiones espaciales. Una reseña histórica más completa puede encontrarse en [2] y [5]. En la Tabla I se puede apreciar un resumen de la cantidad de aplicaciones de cada sistema clasificados según la base teórica de la etapa de descorrelación espacial.

Otro importante aspecto relevado es que la  $CR$  obtenida con compresión sin pérdidas es de aproximadamente 2, mientras que para los sistemas con pérdidas en ningún caso se excede el valor de 10 aunque en la mayoría de los casos se encuentran por debajo de  $CR = 5$ . En efecto solo se realiza el análisis para tasas de compresión hasta 10.

Partiendo de la Tabla I se descartaron todos los algoritmos que son exclusivamente para compresión sin pérdidas (LOCO-I, JPEG Lossless, CCSDS-LDC y CCSDS-MHDC) ya que no son el objeto de estudio principal de este trabajo y se descartaron todos los algoritmos no estandarizados (DPCM, ADPCM, SAICS, DCT-DE, ICM, DWT-DE, MRCPB-CORECI e ICER) ya

que no se tiene la seguridad de contar con toda la información necesaria al momento de la implementación. De ésta manera se obtuvieron como preseleccionados JPEG-LS, JPEG-Baselines, JPEG2000 y CCSDS-IDC. A continuación se presenta una breve descripción de cada uno de ellos.

Tabla I. Cantidad de implementaciones de cada algoritmo [5].

Predicción	DCT		DWT		
	(Trasformada Discreta de Coseno)		(Trasformada Discreta de Wavelet)		
DPCM	5	DCT-DE <sup>(a)</sup>	3	DWT-DE <sup>(a)</sup>	2
ADPCM	3	ICM	5	<b>JPEG2000</b>	6
LOCO-I	2	<b>JPEG-Baselines</b>	18	<b>CCSDS-IDC</b>	3
<b>JPEG-LS</b>	3			MRCPB-CORECI	4
SAICS	1			ICER	2
JPEG Lossless	3				
CCSDS-LDC	12				
CCSDS-MHDC	0				

<sup>(a)</sup> Diseñado Específicamente

JPEG-LS [6] es un sistema eficiente y de baja complejidad que provee compresión sin pérdidas y casi sin pérdidas (*near-lossless*). En el modo casi sin pérdidas (caso particular de la compresión con pérdidas) el error absoluto máximo se mantiene dentro de un rango predefinido por el parámetro de control de calidad *NEAR*. La etapa de descorrelación está basada en un predictor adaptativo que detecta los bordes, y la etapa de codificación en codificación aritmética adaptativa y RLE (Run Length Encoding). Debido a su modo de operación este algoritmo solo necesita almacenar en la memoria de entrada una fila de la imagen. Para *NEAR* = 0, el error absoluto será cero y por lo tanto se obtiene compresión sin pérdidas. Para *NEAR* > 0, se obtiene compresión con pérdidas. Mientras mayor sea *NEAR* mayor será la *CR* y mayor el error.

JPEG-Baselines [7] es un sistema para compresión con pérdidas únicamente. En primer lugar realiza la DCT en dos dimensiones de bloques de 8 x 8 píxeles, luego los 64 coeficientes resultantes son cuantificados uniformemente al ser divididos por un coeficiente de cuantificación y redondeados al entero más cercano. Por último se codifica con códigos de Huffman predefinidos. Debido a que en las imágenes predominan las componentes de baja frecuencia la mayoría de los coeficientes de la DCT son cero o bien son muy pequeños y luego del proceso de cuantificación quedan igual a cero sin que esto signifique la pérdida la información más importante. Debido a su modo de operación solo se necesitan almacenar en la memoria de entrada ocho filas de la imagen. Los coeficientes de cuantificación se ordenan en una matriz de 8 x 8 elementos que puede ser adaptada a la aplicación. Distintos niveles de compresión pueden obtenerse escalando los coeficientes originales acorde al parámetro de control de calidad *Quality* que puede tomar valores de entre 100 y 0. Para *Quality* = 100 se obtiene los coeficientes más pequeños, es decir la máxima calidad de imagen.

Los sistemas JPEG2000 [8] y CCSDS-IDC [9] aplican la DWT en dos dimensiones para la descorrelación espacial. Como resultado se obtienen las sub-bandas de aproximación y de detalle, donde muchos coeficientes son igual a cero o cercanos y pueden truncarse sin perder mucha información. Esta DWT puede ser de punto flotante, lo que implica una compresión con pérdidas, o en punto fijo, que permite compresión sin y con pérdidas. Luego se aplica codificación y cuantificación integrada que permite ajustar el tamaño de la imagen comprimida al valor deseado, es decir, el parámetro de control de la calidad de imagen es *CR*. Debido a su modo de operación la cantidad de filas que deben almacenarse en la memoria de entrada es configurable.

### 3. Metodología

Para realizar la evaluación de los cuatro sistemas de compresión preseleccionados se eligieron imágenes satelitales de instrumentos con características similares a la CAR, tanto PAN como MS

de zonas urbanas y rurales. De esta manera se definieron los cuatro conjuntos de datos de prueba que se resumen en la Tabla II.

Tabla II. Conjuntos de imágenes de prueba.

Conjunto	Características de las imágenes	Cantidad de imágenes	Satélites de procedencia
P_Urb	PAN de zonas urbanas	6	SPOT-6/7, OrbView-3, EROS-B
P_Rur	PAN de zonas rurales	6	SPOT-6/7, OrbView-3
M_Urb	MS de zonas urbanas	3	GeoEye-1, QuickBird-2, WorldView-3
M_Rur	MS de zonas rurales	4	SPOT-6/7, OrbView-3

Para evaluar los sistemas de compresión se implementó un esquema de simulación en el cual se utilizaron códigos en C/C++ de todos los compresores. Para cada sistema, con cada conjunto de imágenes, se realizó la compresión y descompresión variando los parámetros de configuración o de control de calidad. En cada iteración se computó la tasa de compresión,  $CR$ ; el Tiempo de ejecución medio Por Píxel,  $TPP$ , (dado por el tiempo total invertido sobre la cantidad de píxeles); y la degradación de la calidad de imagen.

Como métricas para evaluar la degradación de la calidad de imagen se utilizaron la relación señal a ruido de compresión,  $SNR_C$ , y la media del índice de similitud estructural,  $MSSIM$ . La  $SNR_C$  entre la imagen recuperada,  $I_2[x, y]$ , y la original,  $I_1[x, y]$ , expresada en dB está dada por

$$SNR_C = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{Signal\ Power}{MSE} \right) = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{\frac{1}{M \cdot N} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} I_1[x, y]^2}{\frac{1}{M \cdot N} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} (I_2[x, y] - I_1[x, y])^2} \right), \quad (1)$$

donde  $M$  es la cantidad de filas y  $N$  la cantidad de columnas de la imagen. Este tipo de métricas, derivadas del error entre la imagen recuperada y la original, no se ajustan bien al error percibido por el sistema de visión humano. Por ello surgió la  $MSSIM$  que está basada en el principio de que el sistema de visión humano extrae información basándose en la estructura. El algoritmo utilizado para su cómputo puede ser encontrado en [10]. Dicho índice toma un valor en el intervalo  $(-1, 1]$ , aproximándose al máximo mientras menos distorsionada se encuentra la imagen.

Ya que los resultados no son idénticos para todas las imágenes de un determinado conjunto, se obtuvieron los valores promedios para facilitar en análisis.

#### 4. Resultados de las simulaciones y análisis

A continuación se presentan y analizan los resultados de las simulaciones y se comparan los resultados teniendo en cuenta la tasa de compresión, la complejidad y la calidad de imagen para finalmente seleccionar el sistema de compresión más adecuado.

Los sistemas JPEG-Baselines, JPEG2000 y CCSDS-IDC tienen parámetros de configuración que fueron optimizados aplicando la relación de compromiso que se persigue en este trabajo. Así JPEG-Baselines presenta su mejor comportamiento con la matriz de cuantificación dada por la expresión

$$Q_{ij} = 1 + i + j, \quad \text{para } j, i = \{0, 1, \dots, 6, 7\}. \quad (2)$$

JPEG2000 presenta su mejor comportamiento con una DWT en punto fijo de 4 niveles y 512 filas de la imagen almacenadas en la memoria de entrada. CCSDS-IDC muestra su desempeño óptimo con DWT en punto fijo y 512 filas de la imagen almacenadas en la memoria de entrada [5].

Se muestran los resultados solo para el conjunto de imágenes PAN de zonas urbanas, mientras que los resultados para el resto de los conjuntos de imágenes de prueba conducen a las mismas conclusiones y pueden ser encontrados en [5].

##### 4.1. Tasa de compresión

Para los sistemas JPEG-LS y JPEG-Baselines, ésta no se puede especificar de manera directa sino que es consecuencia del valor que toma el parámetro de control de calidad y de las

características de la imagen a comprimir. En la Fig. 2 se muestra la  $CR$  para cada una de las imágenes del conjunto P\_Urb en función del parámetro de control de calidad. Aunque para cada valor de  $NEAR$  o  $Quality$  se podría obtener una  $CR$  promedio (línea continua en la Fig. 2), nunca se conocerá de antemano con exactitud el tamaño final de la imagen. Por lo contrario, los sistemas basados en DWT son de  $CR$  fija, ya que el parámetro de control es directamente ésta, y no se tiene el problema antes mencionado lo que presenta una ventaja desde el punto de vista de la operación del satélite.

De aquí en adelante el desempeño de los sistemas JPEG-LS y JPEG-Baselines se analiza en función de la tasa de compresión promedio para poder hacer comparaciones con los restantes.

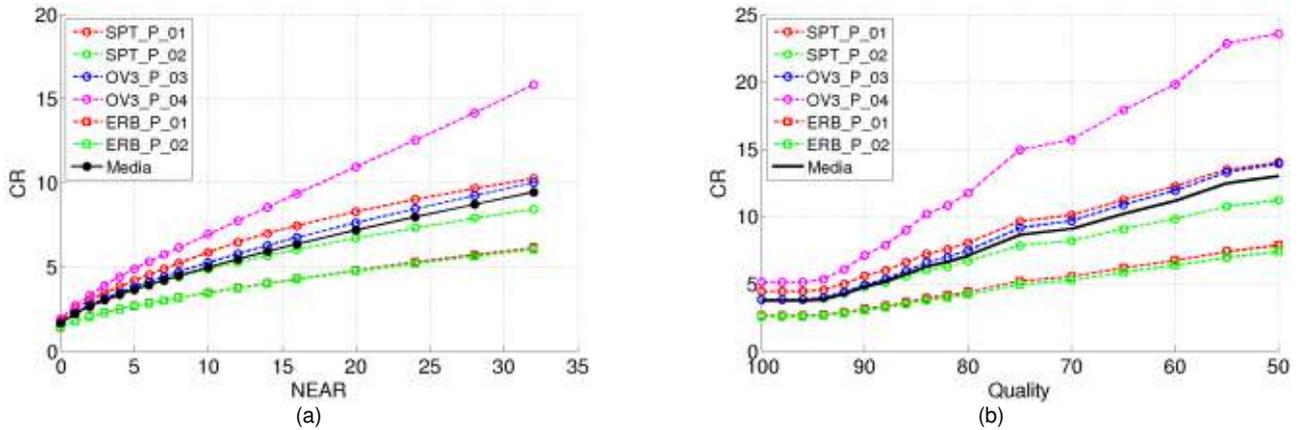


Fig. 2.  $CR$  vs. (a)  $NEAR$  para JPEG-LS y (b)  $Quality$  para JPEG-Baselines con conjunto P\_Urb.

#### 4.2. Complejidad

Respecto a la complejidad, se tienen en cuenta dos factores, la cantidad de filas que deben almacenarse en la memoria de entrada del sistema de compresión,  $M_{in}$ , y  $TPP$ , que se muestran en la Tabla III para cada compresor. Cabe destacar que para los sistemas de compresión basados en DWT se muestra el valor que fue encontrado como óptimo, no obstante es posible lograr sistemas donde  $M_{in}$  se minimiza a 32 filas, pero debería evaluarse la posibilidad de que franjas adyacentes presenten diferentes calidades de imagen y las discontinuidades sean visibles.

Tabla III. Indicadores de complejidad para cada uno de los sistemas de compresión evaluados.

Algoritmo	$M_{in}$ [Filas]	$TPP$ [ns]
JPEG-LS	1	56 <sup>(a)</sup>
JPEG-Baselines	8	53 <sup>(a)</sup>
JPEG2000	512	697 <sup>(a)</sup>
CCSDS-IDC	512	181 <sup>(a)</sup>

(a) Valor promedio para todas las imágenes del conjunto P\_Urb.

#### 4.3. Degradación de la calidad de imagen

En la Fig. 3 se puede observar que a bajas tasas JPEG-LS presenta el mejor comportamiento, desde el punto de vista de  $SNR_C$  y  $MSSIM$ , mientras que para  $CR \geq 6$  los sistemas basados en DWT pasan a tener un mejor desempeño. En general se ve que JPEG-Baselines da como resultado las imágenes que presentan el error más grande con la imagen original y la mayor degradación de la estructura. La degradación causada por JPEG2000 y CCSDS-IDC es prácticamente igual.

#### 4.4. Selección del sistema de compresión

El sistema de compresión JPEG-LS es el de menor complejidad y presenta el mejor desempeño de calidad de imagen en base a todas las métricas empleadas. Su única desventaja es que no es de tasa de compresión fija lo cual podría complicar la operación del instrumento. En virtud de lo antes mencionado, JPEG-LS se selecciona como primera opción. El algoritmo JPEG-Baselines, aunque tiene una complejidad comparable a JPEG-LS, es el que peor calidad de imagen entrega,

aun con  $Quality = 100$ , por lo tanto se descarta. Respecto a los sistemas basados en DWT, se ha observado que JPEG2000 presenta una calidad levemente mejor que CCSDS-IDC a costa de al menos duplicar la complejidad computacional. En consecuencia como segunda alternativa se propone CCSDS-IDC con la configuración adoptada en este trabajo.

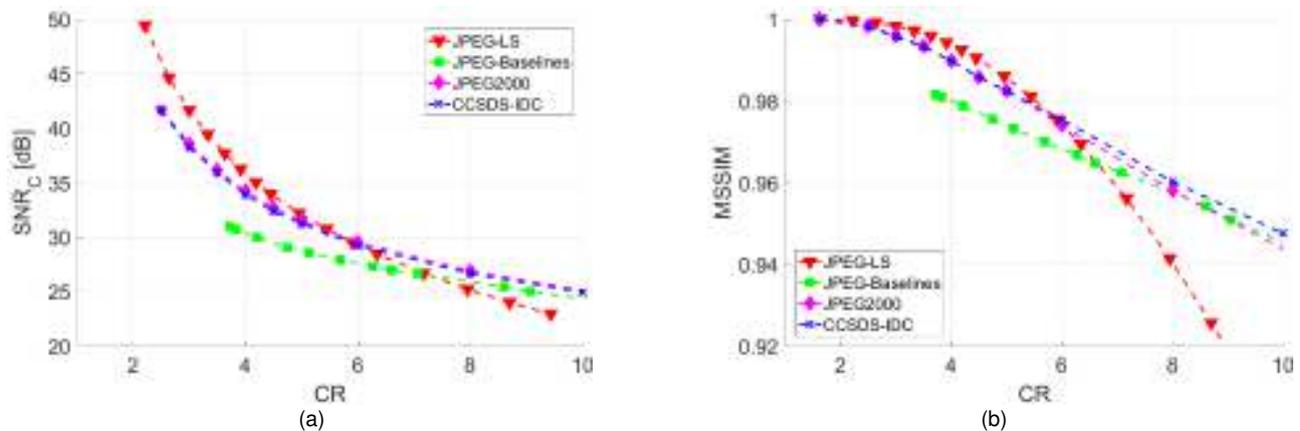


Fig. 3. Comparación de CR vs. (a)  $SNR_C$  y (b)  $MSSIM$  para conjunto de imágenes P\_Urb.

## 5. Conclusión

En este artículo se ha presentado una comparación entre sistemas de compresión para imágenes ópticas a bordo de misiones espaciales. Mediante la revisión del estado del arte se preseleccionaron los sistemas JPEG-LS, JPEG-Baselines, JPEG2000 y CCSDS-IDC que luego fueron evaluados mediante simulaciones en las que se utilizaron como datos de prueba imágenes satelitales de la tierra con características similares a la CAR. Se encontró que los sistemas de compresión JPEG-LS y CCSDS-IDC presentan las mejores opciones para la CAR en términos de tasa de compresión, complejidad y degradación de la calidad de imagen.

## 6. Referencias

- [1] C. Lambert-Nebout and G. Moury, "A survey of on-board image compression for CNES space missions," in *IEEE 1999 International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 1999.
- [2] G. Yu, T. Vladimirova and M. N. Sweeting, "Image compression systems on board satellites," *Acta Astronautica*, vol. 64, pp. 988-1005, 5 2009.
- [3] C. Thiebaut and R. Camarero, "CNES Studies for On-Board Compression of High-Resolution Satellite Images," in *Satellite Data Compression*, Springer Science + Business Media, 2011, pp. 29-46.
- [4] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing*, 3rd ed., PEARSON, 2008.
- [5] M. Martini, «Estudio de sistemas de compresión de imágenes para cámara satelital de alta resolución.» Maestría en Instrumentos Satelitales FRM-UTN UFS-CONAE, 2017.
- [6] M. J. Weinberger, G. Seroussi and G. Sapiro, "The LOCO-I lossless image compression algorithm: principles and standardization into JPEG-LS," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 9, pp. 1309-1324, 2000.
- [7] G. Wallace, "The JPEG still picture compression standard," *IEEE transactions on consumer electronics*, vol. 38, pp. xviii-xxxiv, 1992.
- [8] D. S. Taubman and M. W. Marcellin, "JPEG2000: standard for interactive imaging," *Proceedings of the IEEE*, vol. 90, pp. 1336-1357, 8 2002.
- [9] P.-S. Yeh et al., "The new CCSDS image compression recommendation," in *Proc. IEEE Aerospace Conf*, 2005.
- [10] Z. Wang et al., "Image Quality Assessment: From Error Measurement to Structural Similarity," *IEEE Transactions on image processing*, 2004.

## MEJORA DE PROCESO DE FABRICACIÓN DE PISTONES CON CAMARAS DE REFRIGERACION MEDIANTE METODOLOGIA TRIZ

Autores: Ignacio Ardiles<sup>(1)</sup>, Natacha González Omahen<sup>(1)</sup>, Juan Pablo Riechert<sup>(1)</sup>

Tutores: Lic. Carlos Eduardo Requena<sup>(2)</sup>, Ing. Juan Carlos Nishiyama<sup>(2)</sup>

- (1) Estudiante de la carrera de Ingeniería Mecánica. Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional General Pacheco. H. Irigoyen 288 – Gral. Pacheco, Buenos Aires, Argentina. natachaomahen@gmail.com
- (2) Docente. Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional General Pacheco. H. Irigoyen 288 – Gral. Pacheco, Buenos Aires, Argentina.

### Resumen

La fabricación de la cámara de refrigeración en los pistones para vehículos turbo diésel, se logra por medio de un noyo de cloruro de sodio prensado. Una vez colado en aluminio y conformado el pistón en bruto, el noyo de sal es disuelto por medio de agua a presión. Posteriormente se le realiza un tratamiento térmico y mecanizado para obtener el producto final. Un problema que surge durante el proceso de manufactura de pistones, en la superficie interna donde estuvo el noyo, es un defecto en las cavidades, ajeno al diseño. Éstas disminuyen el espesor de la pared entre la cámara de combustión y la galería de refrigeración. Por lo que una vez colocado en el motor, la alta presión y temperatura producida en la cámara de combustión provoca la fusión de la zona donde el espesor es más fino, por consiguiente quedan comunicadas la cámara de combustión y el cárter, provocando la pérdida de compresión.

La metodología TRIZ nos permitió elegir una solución conceptual entre varias halladas, y que ya está siendo aplicada para la solución del problema. TRIZ es una metodología altamente estructurada para hallar soluciones conceptuales, en todas las ramas de la ingeniería. Se basa en la modelización del problema para luego aplicar un modelo de solución surgido de emplear la herramienta adecuada a ese problema. TRIZ, prescinde totalmente de la inercia psicológica de quién la maneje. Se intenta así, realizar una aplicación inmediata de lo aprendido en la materia denominada “Metodologías para el desarrollo de la creatividad en ingeniería” que se cursa en el tercer año como materia electiva en la carrera de Ingeniería Mecánica en la UTN FRGP.

Un último propósito es la de divulgar esta metodología.

Palabras clave: Pistón - Cámara de Refrigeración – Noyo - TRIZ.

### Introoucción

Para Federal Mogul S.A. las actuales demandas de potencias cada vez mayores en los motores de combustión interna, especialmente para vehículos turbo diésel, tanto livianos como pesados, conducen inevitablemente a temperaturas de funcionamiento cada vez mayores y, como consecuencia, la presencia de temperaturas superiores en la cabeza de los pistones. Por ello, es preciso conseguir una refrigeración adecuada en la parte superior de los mismos.

Generalmente, esta refrigeración suele conseguirse por medio de un chorro de aceite que refrigera la parte interna de la cabeza del pistón. Sin embargo, se logra una refrigeración mucho más eficaz mediante el diseño de galerías internas en el cuerpo y cabeza del pistón. Dichas galerías se obtienen por medio de un noyo, que se utiliza durante la fundición del pistón de aleación de aluminio. Una vez colado el aluminio y conformado el pistón en bruto, el noyo (NaCl prensado) es sometido a una operación en la que se consigue su disolución. Los materiales que se utilicen en la construcción del mismo deben poseer las siguientes características [1]:

- Elevado punto de fusión permite contacto sin deformaciones de la masa de aluminio fundido.
- Una adecuada resistencia.
- Una buena colabilidad.
- Un acabado superficial poco rugoso.
- Permitir ser fácilmente disueltos, de preferencia en agua.

En la Figura 1 se puede apreciar el noyo antes de verter la colada. Posteriormente, al pistón se le realiza un tratamiento térmico. Para luego ser mecanizado y obtener así, el producto terminado con las especificaciones requeridas por el mercado (Figura 2).



*Fig. 1. Noyo antes de verter la colada.*



*Fig. 2. Pistón, producto final.*

Sin embargo, surge un problema durante el proceso de manufactura de dichos pistones con cámaras de refrigeración. En la superficie interna de la cavidad aparecen defectos con suaves superficies redondeadas (Figura 3).

Estas cavidades producen que el espesor de la pared entre la cámara de combustión y la galería de refrigeración sea muy pequeño. Posteriormente, una vez colocado el pistón en el motor, la alta presión y temperatura producida en la cámara de combustión provoca la fusión de la zona donde el espesor entre cámara de refrigeración y la cámara de combustión es más fino, por consiguiente quedan comunicadas la cámara de combustión y el cárter, provocando la pérdida de compresión.



*Fig. 3. Defecto por burbuja.*

### **Característica de producto**

Se ha notado, en cuanto a la característica del pistón, en particular la galería de refrigeración, que el defecto producido por el noyo recién puede ser detectado una vez obtenido el producto final, a través de un análisis con un equipo de ultrasonido Krautkramer (Figura 4).

En la Figura 5, se observa la correcta disposición de la cámara de refrigeración en la cabeza del pistón.

En la Figura 6, se puede percibir el adelgazamiento de la pared entre la cámara de combustión y la galería de refrigeración. Defecto que resulta en la no conformidad del producto final.



Fig. 4. Equipo de ultrasonido Krautkramer



Fig. 5. Muestra aceptada



Fig. 6. Muestra rechazada

### Caso de análisis

Para llevar adelante la resolución del problema planteado, la disminución del espesor de la pared entre la cámara de combustión y la galería de refrigeración, producto de cavidades indeseadas, se sigue el método propuesto en el esquema de la Figura 7, haciendo uso de TRIZ mediante planteo y resolución de Contradicciones Técnicas. Las contradicciones ocurren cuando mejoramos un parámetro o una característica de ingeniería en un sistema, afectando a otra característica o parámetros de ingeniería. En particular, una Contradicción Técnica es una acción que es consecuentemente útil y perjudicial.

El creador de TRIZ, el ingeniero mecánico naval ruso Geinrich Altshuller, con su equipo de colaboradores, estudió más de un millón de patentes de invención, de las cuales extrajo una 200000 de las más interesantes y de ellas se abocaron al estudio de las 40000, aproximadamente, más relevantes. De este estudio, llevado a cabo alrededor del año 1947, concluyeron que de la muestra representativa de ese más de un millón de patentes, se habían utilizado solamente 39 parámetros de ingeniería y que los principios de inventiva eran tan solo 40. Es con esos parámetros, tabulados, que se establecen las contradicciones antes mencionadas. Los 40 principios también están tabulados. Para las dos últimas tablas el interesado puede consultar en [2] y [3], en donde se encuentran más completas y con las descripciones de los parámetros y de los principios inventivos.



Fig. 7. Esquema Resolución de Problemas, según TRIZ [4].

La Matriz de Contradicciones está diseñada así: En la primera columna de la izquierda están listados del 1 al 39 los parámetros que empeoran y en la primera fila están listados los parámetros que mejoran. Ver Figura 8.

En el cruce de fila y columna se encuentran desde ninguno hasta 4 números. Estos son algunos de los 40 Principios de Inventiva. Ellos señalan qué caminos debe recorrer el pensamiento para alcanzar el espacio de soluciones. No están colocados por orden de jerarquía numérica, sino que el orden está dado por la cantidad de patentes que se resolvieron en diferentes y variados problemas con esas mismas contradicciones en “pugna” con las cuales el problema de uno coincide. “Es como si se tuvieran muchos colegas anónimos aconsejándonos indirectamente acerca de cómo alcanzar ese tan ansiado espacio de soluciones” [6].

### Desarrollo del análisis del caso

Con el objetivo de encontrar una posible solución utilizando la metodología TRIZ, se aplica una herramienta llamada “Matriz de Contradicciones”.

#### Primer Análisis:

*Parámetro que mejora:* Estabilidad de la composición del objeto (13).

*Parámetro que empeora:* Daños generados por el propio objeto (31).

Principios encontrados:

Principio 35 - Transformación de propiedades o cambio de parámetros.

Soluciones propuestas:

- Variar la temperatura de la matriz.
- Insertar horno de precalentamiento de noyos para sacar humedad.

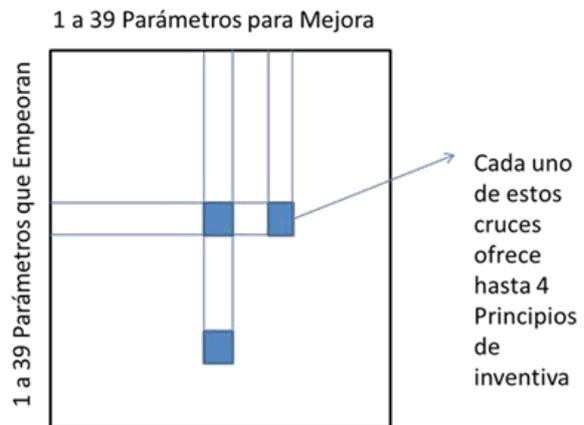


Fig. 8. Matriz de Contradicciones. En la primera columna de la izquierda están listados de 1 a 39 los parámetros que empeoran y en la primera fila están listados los parámetros que mejoran [5].

- Estabilizar temperatura de la matriz y noyos antes de colar.

Principio 40 – Materiales compuestos (“Composites”)

Soluciones propuestas:

- Consultar con proveedor sobre las propiedades generales de los noyos para poder variar composición y mejorarlos.
- Cambiar proveedor con el fin de mejorar las propiedades de los noyos.

Principio 27 – Desechar. No Aplica

Principio 39 – Ambiente inerte.

- Agregar bomba de vacío que se conecte con el noyo durante el colado con el fin de evacuar humedad e impurezas residuales en la matriz.

Segundo Análisis:

*Parámetro que mejora:* Estabilidad de la composición del objeto (13).

*Parámetro que empeora:* volumen del objeto estacionario (8).

Principios Encontrados:

Principio 34 – Desechando y regenerando partes. No Aplica.

Principio 28 – Reemplaza un sistema mecánico por otro. No aplica.

Principio 35 - Transformación de propiedades o cambio de parámetros.

Soluciones propuestas:

- Variar la temperatura de la matriz.
- Insertar horno de precalentamiento de noyos para sacar humedad.
- Estabilizar temperatura de la matriz y noyos antes de colar.

Principio 40 – Materiales compuestos (“Composites”)

Soluciones Propuestas:

- Consultar con proveedor sobre las propiedades generales de los noyos para poder variar composición y mejorarlos.
- Cambiar proveedor con el fin de mejorar las propiedades de los noyos.

Tercer Análisis:

*Parámetro que mejora:* Estabilidad de la composición del objeto (13).

*Parámetro que empeora:* Capacidad/Productividad (39).

Principios encontrados:

Principio 23 – Retroalimentación. No aplica.

Principio 35 - Transformación de propiedades o cambio de parámetros.

Soluciones Propuestas:

- Variar la temperatura de la matriz.
- Insertar horno de precalentamiento de noyos para sacar humedad.
- Estabilizar temperatura de la matriz y noyos antes de colar.

Principio 40 – Materiales compuestos (“Composites”)

Soluciones propuestas:

- Consultar con proveedor sobre las propiedades generales de los noyos para poder variar composición y mejorarlos.
- Cambiar proveedor para conseguir mejorar las propiedades de los noyos.

Principio 3 – Calidad local. No aplica.

## **Resultados del uso de la matriz**

Se destacaron tres principios particulares. Se propuso trabajar sobre éstos:

Principio 35 - Transformación de propiedades o cambio de parámetros.

Soluciones Propuestas:

- Variar la temperatura de la matriz.
- Emplear horno de precalentamiento para extraer humedad de los noyos, pues esta produce burbujas al evaporarse en la colada.
- Estabilizar temperatura de la matriz y noyos antes de colar.

Principio 40 – Materiales compuestos (“Composites”)

Soluciones propuestas:

- Consultar con proveedor sobre las propiedades generales de los noyos para poder variar composición y mejorarlos.

- Trabajar con el proveedor para mejorar la calidad de los noyos.

Principio 39 – Ambiente inerte.

Solución Propuesta:

- Usar bomba de vacío que se conecte con el noyo durante el colado con el fin de evacuar humedad e impurezas residuales en la matriz, además del aire que pueda, también, quedar atrapado provocando burbujas durante el colado.

## Resultados en el campo

De los principios 35 y 40, se trabajó con los proveedores y se logró que los noyos llegaran a la planta en bolsas de nylon cerradas al vacío dentro de cajas de cartón y separadores. Estos quedan en las bolsas cerradas hasta su utilización. Para la producción, se retira cierto stock y se lo almacena en un mueble de acopio a una temperatura entorno a los 50°C y 60°C. De ahí se van retirando en lotes pequeños (20 noyos) y pasan a una estufa que oscila entre 300°C y 350°C, permaneciendo en ésta durante 5 minutos. Luego según la demanda de la producción, el operador de fundición irá retirando los noyos y los colocará en una mufla a 600°C siendo ésta la última etapa de precalentamiento antes de ser insertados en la matriz. Con este proceso de precalentamiento se logró eliminar la humedad residual que podían tener los noyos al momento de fundir, obteniendo un porcentaje de falla hasta el momento de 0%, comparado con un porcentaje del 1% antes de la modificación. Siguiendo los procesos de control de calidad de los pistones, se pudo validar la mejora del proceso, ya que hasta el momento no se han producido defectos por burbuja. Si bien se ha dado la solución como ya se comentó anteriormente, también se exploró la propuesta de la bomba de vacío, correspondiente al principio 39, no pudiendo obtener buenos resultados en cuanto a los tiempos requeridos en los procesos de producción.

## Conclusión

Ante un problema tecnológico, la aplicación de la metodología TRIZ, nos permite encontrar un espacio de soluciones conceptuales, en el cuál, podemos elegir, de acuerdo con nuestras necesidades y posibilidades, el o los conceptos de solución que mejor se adapten al problema de ingeniería. Se pueden elegir otros parámetros en conflicto, distintos a los de este trabajo, y derivar en soluciones iguales, similares y distintas.

Durante el proceso, el método, no exige la aplicación de métrica alguna, pues, ellas son de aplicación posterior al proceso de búsqueda de las soluciones conceptuales, es decir, el siguiente paso es la aplicación de las métricas, la ingeniería se despliega en esta etapa. Se ve claramente que con TRIZ, todas las organizaciones pueden innovar y hacerlo sistemáticamente. El analista logra despojarse de la Inercia Psicológica, lo cual le permite salir del encasillamiento que a veces aprisiona al especialista, no permitiendo, o en el mejor de los casos, sesgando el camino para alcanzar soluciones novedosas, innovadoras. Aplicar TRIZ, no es exclusivo de las grandes empresas tipo multinacionales. Estamos convencidos de que TRIZ es un procedimiento altamente recomendable a las PyMES.

## Referencias

- [1] [http://www.espatentes.com/pdf/0395668\\_A3.pdf](http://www.espatentes.com/pdf/0395668_A3.pdf) /Página Web sobre Procedimiento de Fabricación de un Pistón con Galerías de Refrigeración.
- [2] Savransky, Semyon D. "Engineering of Creativity (Introduction to TRIZ Methodology of Inventive Problem Solving)" © 2000 by CRC Press LLC.M.
- [3] J. Nishiyama, T. Zagorodnova y C. Requena. "TRIZ - Resolución Estructurada de Problemas Ingenieriles", Vertientes del Conocimiento. Año 3 | Volumen 3 | pág. 41-52. mayo 2016 ISSN 2422-7463. SCyT. UTN FRGP.
- [4] TRIZ. La Metodología más Moderna para Inventar O Innovar Tecnológicamente de Manera Sistemática. Enrique Rico Arzate, Margarito Coronado Maldonado. Editor: Panorama México, 2004. ISBN-13: 978-9683813596
- [5] Desarrollo de la Creatividad en Ingeniería. C. E. Requena, J. C. Nishiyama y S. G. Vaca. UTN FRGP-UCA. 1er. Congreso Latinoamericano de Ingeniería. Entre Ríos, Argentina. 2017
- [6] "Metodologías para el Desarrollo de la Creatividad en Ingeniería". Zagorodnova, Requena, Nishiyama). UTN FRGP, Gral. Pacheco, Tigre, Prov. de Buenos Aires. Argentina. Uso interno. 2016.

# PANELES AISLANTES DE REVESTIMIENTO INTERIOR A PARTIR DE RESIDUOS CELULÓSICOS

Natacha Bourquen, Victoria Defagot, Loreley Beltramini, Néstor Ulibarrie

*natachabourquen@hotmail.com, victoriadefagot@gmail.com*

Centro de Investigación y Desarrollo para la Construcción y la Vivienda (Lavaise 610, Santa Fe),  
Facultad Regional Santa Fe, UTN.

## Resumen.

En el ciclo productivo de la cerveza, el envasado se realiza en botellas retornables de vidrio, lo que requiere su esterilización antes de introducir el producto para su nuevo ciclo de uso. En la etapa de limpieza de las botellas, se retira todo material adherido al envase mediante una solución de agua y soda cáustica, siendo las etiquetas de los envases el principal residuo de este proceso. Desde la perspectiva del reciclado, se investiga la factibilidad de utilizar este residuo en la generación de paneles aislantes de revestimiento interior, utilizando una mezcla optimizada de tres componentes: cemento, agua y residuos celulósicos, mediante el uso de un diseño de experimentos para luego evaluar sus propiedades, principalmente su resistencia térmica y densidad.

En relación al objetivo planteado y a partir de los resultados de un diseño de experimentos, se selecciona la dosificación que presenta los mejores valores en cuanto al coeficiente de conductividad térmica (0,396 Kcal /h°Cm) y su densidad (388,16 kg/m<sup>3</sup>). La destacada propiedad aislante obtenida, junto con la densidad favorable responde a los objetivos planteados, lo que permite continuar con las etapas de caracterización, forma, montaje y terminaciones del sistema constructivo para los paneles.

## Introducción.

El proyecto responde a la necesidad de ayudar a preservar el medio ambiente, con el fin de lograr una disminución del volumen de desechos sólidos urbanos y una reducción de su incineración [1]. El residuo industrial a utilizar se compone de etiquetas de los envases que retornan a la industria cervecera. Los componentes principales de las etiquetas son celulosa, restos de soda cáustica, tintas contaminantes y aditivos incorporados para la obtención de las características propias de las mismas [2].

El proceso del reciclaje de dicho material es limitado, debido a la mezcla particular de diferentes tipos de fibras que producen una pérdida de las propiedades específicas que podrían obtenerse de pulpas vírgenes, además de que dicho proceso implica el destintado de las etiquetas, lo cual genera residuos tóxicos potencialmente contaminantes [1]. Esto conduce a trabajar con dicho material para otras utilidades que no sea el papel reciclado, empleándolo como materia prima de materiales de construcción [2,3].

En investigaciones previas realizadas se ha determinado que no es posible obtener un material resistente y de baja densidad mediante la mezcla exclusiva de cemento, agua y etiquetas[4]. El valor máximo de resistencia a compresión tiende a 5,50 kg/cm<sup>2</sup> aproximadamente, cualquiera sea la forma de utilización de las etiquetas. Es decir que, sin importar si la muestra de etiquetas fuera licuada, triturada o molida en estado seco o previamente humedecida, el valor máximo de resistencia a compresión alcanzado es el mismo. Este valor es pequeño en comparación con la que ofrecen otros materiales tradicionales de la construcción, por lo tanto se descarta la posibilidad de obtener un material resistente y se plantea la búsqueda de una mezcla optimizada, a través de un diseño de experimentos [5], que permita desarrollar un elemento constructivo termo-aislante [6], evaluando la factibilidad de producir paneles de estética atractiva, económicos y de fácil montaje.

## Desarrollo.

### Etapa experimental.

Para obtener una mezcla optimizada, se utiliza un diseño de experimentos, permitiendo hacer pruebas de manera más eficaz, ya que la potencialidad del mismo consiste en determinar qué pruebas se deben realizar y de qué manera para obtener datos que, al ser analizados estadísticamente, proporcionen evidencias objetivas que respondan las interrogantes planteadas[5].

Los diseños de mezcla parten de la base de una región experimental o de trabajo, acotada por restricciones impuestas. Para el caso en estudio se tienen mezclas de tres componentes, los cuales generan una región experimental con forma de triángulo equilátero, donde en cada vértice se posiciona el compuesto puro, y entre cada vértice y la mitad de la base contraria (no adyacente) se considera un rango de fracción másica de 0 a 1[2, 7, 8].

Para aplicar el diseño de experimentos se utiliza el programa MINITAB. En dicho software se introducen como datos un rango de los valores de coeficientes de conductividad térmica y densidades que se desean obtener, y un intervalo de la cantidad de cada componente [9, 10]. El modelo está acotado por las condiciones que se muestran en la Tabla 1. Estas restricciones impuestas sobre la cantidad mínima y máxima de cada componente responden a la trabajabilidad de la mezcla [2]. A partir de estos valores se acota el modelo (Figura 1), generando 13 experimentos para analizar las variables de respuesta del material en estudio: densidad y conductividad térmica.

Tabla 1. Cantidades utilizadas en el modelo

Material	Máximo [g]	Mínimo [g]
Cemento	200	60
Papel	30	10
Agua	500	250

Para cada uno de los experimentos se moldeó una probeta a la cual se le determinó la densidad y el valor del coeficiente de conductividad térmica. Para la fabricación de las mismas se utilizan etiquetas procesadas con agua (Figura 2) y luego, homogenizadas con cemento (Figura 3), cuya mezcla puede ser manipulada manualmente en estado fresco. Se vierte sobre moldes de dimensiones apropiadas para la posterior realización del ensayo de conductividad térmica. Al cabo de unos días se procede a desmoldar la probeta y se deja secar en ambiente de laboratorio, completando los días de secado en estufa hasta que el peso de la probeta permanece constante en función del tiempo. Finalmente, se determina la densidad como la relación entre el peso y el volumen de la probeta.

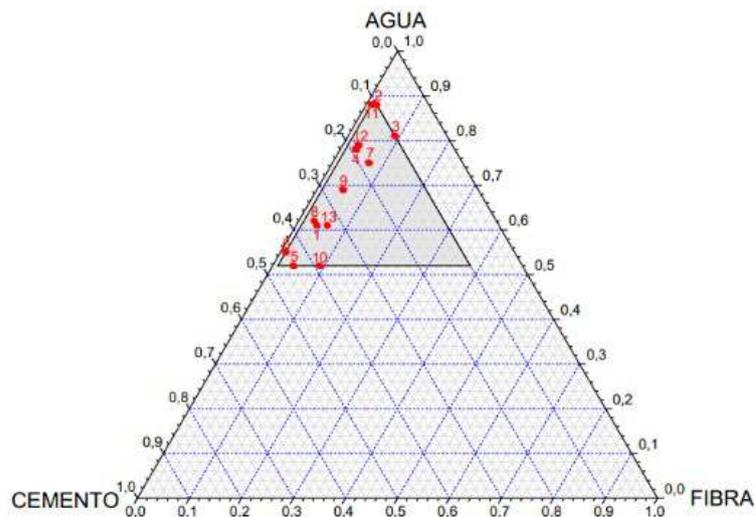


Figura 1. Gráfica de Diseño Simplex



Figura 2. Etiquetas procesadas con agua.



Figura 3. Homogenización de los componentes.

Obtenidas las dimensiones y densidad de la probeta, se realiza el ensayo de conductividad térmica. El equipo utilizado para este ensayo se basa en la teoría de la “Placa Caliente”[11] y esquemáticamente se compone de dos placas metálicas a las cuales se les interpone una probeta del material que se ensaya. Una de las placas, la superior, cumple el rol de ser emisora de energía puesto que proporciona calor de manera controlada (a través de resistencias eléctricas), este calor atraviesa la probeta y es recepcionado por la otra placa, la inferior. El dispositivo se completa con instrumentos de medición automática de temperatura, seteado a una determinada frecuencia (secuencia de mediciones), que posibilita analizar y coleccionar valores periódicos de lecturas de temperatura en cada placa de manera de monitorear todo el proceso. El ensayo culmina en el momento en que las temperaturas en cada placa se mantienen estables evidenciando que el sistema alcanzó la condición de régimen estacionario. La probeta debe estar contenida dentro de un marco aislante para evitar la pérdida de calor en las caras laterales que no están en contacto con las placas, y así medir sólo la transferencia de calor transversal [12], perpendicular a las caras de la probeta (Figura 4 y Figura 5).



Figura 4. Probeta en condiciones de ser ensayada



Figura 5. Ensayo a conductividad de una probeta

#### Etapa de producción.

Uno de los objetivos particulares que se persigue es la realización de un sistema de paneles termoaislantes que aporten un agregado estético a las paredes interiores, cuyo sistema de montaje sea práctico, rápido y que pueda ser colocado por cualquier usuario (Figura 6).

Luego de una exhaustiva búsqueda de opciones de texturas y formas en distintas bibliografías, fundamentalmente en la web, se definió en primera instancia, una geometría particular y sus posibles dimensiones asociadas a la fabricación de paneles de revestimiento. Se trabajó con una placa de 18 cm de lado, con forma de triángulo equilátero cuyas dimensiones son prácticas para evaluar de manera experimental el sistema de montaje (Figura 7). Y en caso de ser necesario, escalar el modelo de trabajo.

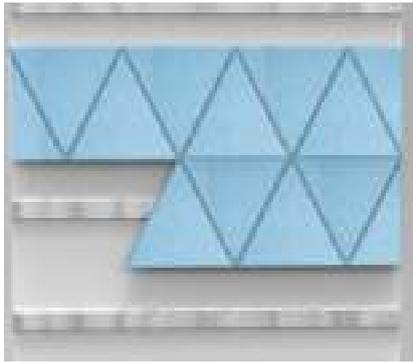


Figura 6. Esquema del diseño del sistema de montaje de paneles

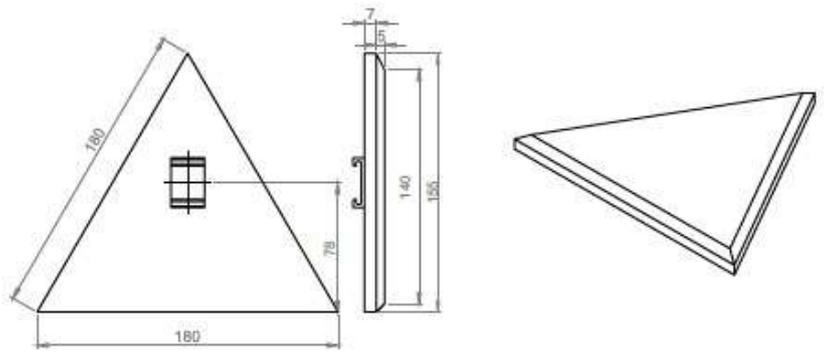


Figura 7. Dimensiones del prototipo de panel

El sistema de montaje diseñado consiste en un montante, con una pequeña ranura longitudinal, que se fija de manera horizontal en la pared (Figura 8 y Figura 9). Los paneles se sujetan del montante a través de un vínculo que se inserta en ellos cuando el panel se encuentra en estado fresco. Dicho vínculo tiene sección en C para acoplarse al montante y desplazarse horizontalmente a través de éste (Figura 10 y Figura 11). El sistema permite realizar un diseño libre y variable en el tiempo, ya que los paneles pueden colocarse y retirarse del montante cómo y cuándo el usuario disponga.

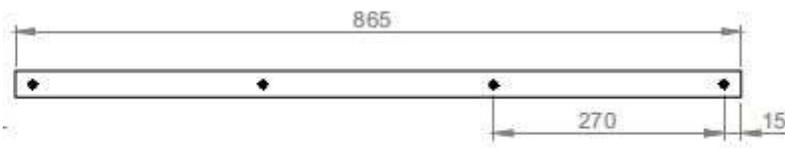


Figura 8. Vista del montante

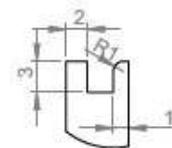


Figura 9. Corte del montante

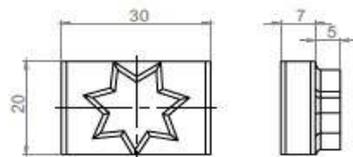


Figura 20. Vista y corte del vínculo

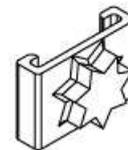


Figura 11. Perspectiva del vínculo

Los moldes para la confección de los paneles triangulares consisten en una caja diseñada de tal manera que permita el moldeado de la placa in situ, brindando su forma y terminación final, y a la vez permita insertar el vínculo en la mezcla en estado fresco, necesario para su montaje. Éstos fueron fabricados, en esta etapa experimental, con impresión 3D (filamento termoplástico) (Figura 12) para generar el prototipo a escala de laboratorio. Se midió el tiempo de fragüe y se comprobó su capacidad de desmolde (Figura 13).



Figura 12. Molde y vínculo de filamento termoplástico



Figura 13. Panel de extremo.

## Resultados

Los resultados de los parámetros evaluados, densidad y coeficiente de conductividad térmica (Tabla 2), se introdujeron en el programa MINITAB y como consecuencia se obtuvieron las superficies de respuesta del diseño de experimento planteado [5], ajustado a un modelo lineal (Figura 14).

Tras el moldeo y ensayo de las probetas, se observó que la mezcla en estado endurecido presenta un importante desprendimiento superficial de fibras e indeseadas propiedades absorbentes frente al agua, lo que implicó incorporar un nuevo componente a la mezcla, un impermeabilizante. Éste reduce la porosidad del material, mejora la adherencia de los componentes y aumenta la resistencia de la mezcla. Por lo tanto, en función de los resultados obtenidos y las consistencias de las mezclas, se selecciona el experimento N°3 para continuar con el desarrollo de la investigación [2]. Se moldea una probeta incorporando un aditivo impermeabilizante (cuya relación agua-impermeabilizante es igual a 1:20), y los valores de los parámetros característicos son de 0,396 Kcal/h°C para el coeficiente de conductividad térmica y de (388,16 kg/m<sup>3</sup>) para su densidad.

Tabla 2. Valores de densidad y conductividad de los experimentos

Experimento N°	Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ promedio [Kcal/h°Cm]
1	864	0,499
2	597	0,249
3	390	0,306
4	603	0,318
5	971	0,605
6	1036	0,673
7	508	0,424
8	913	0,523
9	658	0,350
10	769	0,659
11	431	0,220
12	531	0,292
13	697	0,472

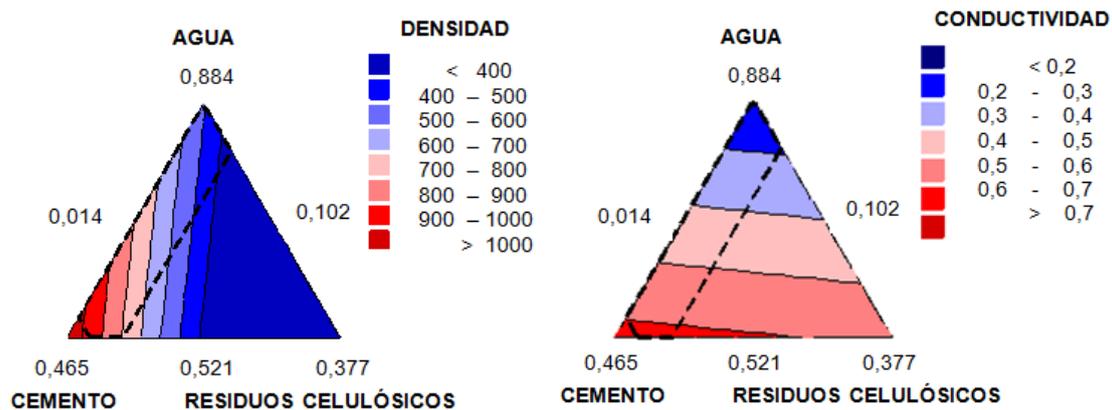


Figura 14. Superficie de respuesta de los valores de densidad y conductividad de los experimentos.

## Discusión.

A partir de los resultados, se observa una relación directa entre los coeficientes de conductividad térmica de los experimentos y sus densidades [3]; aumentando el primero con el aumento de la densidad. Se establece, también, una correlación entre la densidad y el contenido de cemento, dándose el aumento de la densidad con el incremento de cemento, y como consecuencia, la probeta disminuye su capacidad aislante. Asimismo, los resultados muestran que a medida que aumenta la cantidad de agua y la cantidad de fibra, disminuye el valor del coeficiente de conductividad térmica, así como su densidad.

El valor de conductividad térmica óptimo ( $\lambda=0,396$  Kcal/h°Cm), comparado con otros materiales destinados a proveer aislamiento, se encuentra en competencia con las placas de yeso que tienen un valor de  $\lambda=0,37$  Kcal/h°Cm y los revoques interiores de  $0,93$  Kcal/h°Cm, valores aproximados en función del valor de densidad de cada material [13].

## Conclusiones.

Respecto a la utilización del diseño de experimentos, se facilitó la investigación tras la reducción de tiempo y experimentación, asegurando buenos resultados.

Se concluye que la propiedad aislante obtenida de la mezcla de etiquetas con agua, impermeabilizante y cemento, junto con su densidad favorable, lo hacen un material apto y competitivo para su uso en la fabricación de paneles aislantes interiores.

Se espera que, a partir de los resultados obtenidos, el material generado forme parte de la arquitectura sustentable, introduciendo no solo la reutilización de un material de descarte, sino también promoviendo el uso responsable de energía para el acondicionamiento de viviendas.

## Agradecimientos.

Este trabajo ha sido realizado bajo la dirección del Ing. Néstor Oscar Ulibarrie, en el marco de un proyecto PID UTN, código: MAUTIFE0004381TC, título: "Desarrollo de paneles aislantes a partir de residuos celulósicos".

## Referencias.

- [1] Zanuttini, M.A. (2012). Reciclado celulósico. Red Iberoamérica para la revalorización del reciclado celulósico. Primera edición. Páginas: 1-24; 33-119; 264-303.
- [2] Polo, M., (2015). Aplicación del diseño de experimentos al estudio de nuevos bloques de construcción basados en residuos celulósicos. Tesis Final de la Maestría en Ingeniería en calidad.
- [3] Bentchikou, M., Guidoum, A., Scrivener, K., Silhadi, K., Hanini, S. (2012). Effect of recycled cellulose fibres on the properties of lightweight cement composite matrix. *Construction and Building Materials* 34. Páginas: 451–456.
- [4] Andrés, F., Romano, M. (2013) Hormigones Livianos: una alternativa para el reciclado de pasta celulósica. JIT Jornadas de Jóvenes Investigadores. Páginas 1-4
- [5] Gutiérrez Pulido, H., De La Vara Salazar, R. (2008). Análisis y Diseño de Experimentos. México D.F. Mc Graw-Hill Interamericana. Segunda edición. Páginas 2-6; 480-493.
- [6] Muñoz, A., Chejne, F., Espinel S. J., Londoño G.C.(2006). Evaluación de la celulosa de papel y de las cenizas de carbón, como materiales aislantes alternativos. *Dyna* 148. Páginas: 1-8.
- [7] Eriksson, L., Johansson, E., Wikstrom, C., (1998). Mixture design—design generation, PLS analysis, and model usage. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*. Volume 43, Issues 1–2. Pages 1-24.
- [8] Jiao, D., Shi, C., Yuan, Q., An, X., Liu, Y. (2018). Mixture design of concrete using simplex centroid design method. *Cement and Concrete Composites* 89. Páginas: 76-88.
- [9] Menéndez, G., Bonavetti, V.L., Irassar, E.F., (2008). Los Diseños de Experimentos y la Tecnología del Hormigón. *Revista de la Construcción* Volumen 7 - No 1.
- [10] Montgomery, D.C., (1998). Diseño y análisis de experimentos. Grupo Editorial Iberoamérica. Páginas: 8; 472-479.
- [11] Martina, P., Aeberhard, A., Aeberhard, M., Corace J. (2003). Fabricación de un equipo de placa caliente para determinación de la conductividad térmica de materiales. Uso en investigación y docencia. *Comunicaciones científicas y tecnológicas* 2003. Universidad Nacional del Nordeste.
- [12] Kreith, F., Manglik, R., Bohn, M. (2012). Principios de transferencia de calor. México D.F. Cengage Learning. Séptima edición. Páginas: 9-16.
- [13] Instituto Argentino de Normalización, (2002). Norma IRAM 11601: Aislamiento térmico de edificios. Métodos de cálculo. Propiedades térmicas de los componentes y elementos de construcción en régimen estacionario.

# DETERMINACION DE LA VARIACION DE LA COHESION, SUSCEPTIBILIDAD TERMICA, ADHERENCIA Y ENVEJECIMIENTO AL INCORPORAR ARENAS NATURALES EN CONCRETOS ASFALTICOS EN CALIENTE, MEDIANTE EL METODO UCL.

1) Adrián Segura, Sofía Ledezma, Franco Vázquez, Cristian Di Gioia. 2) Cecilia Soengas  
3) Oscar Rebollo

1) CINTEMAC. Facultad Regional Córdoba. Universidad Tecnológica Nacional. Cruz Roja esq. Maestro López. Córdoba (Ciudad), Argentina. adrian-segura@hotmail.com 2) CIDER. Facultad Regional San Rafael. Universidad Tecnológica Nacional. Av. Gral. J. J. Urquiza 314. Mendoza (San Rafael). C.soengas@hotmail.com 3) LEMaC. Facultad Regional La Plata. Universidad Tecnológica Nacional. Av. 60 esq. 124. Bs As (La Plata). orebollo@frlp.utn.edu.ar

Palabras claves: Arenas trituradas y naturales - Mezclas asfálticas - UCL

## Resumen

En el presente trabajo se han evaluado a través del método Universal de Caracterización de Ligantes (UCL), las variaciones en las propiedades de cohesión, adherencia, susceptibilidad térmica y envejecimiento de una mezcla asfáltica, al incorporar distintos porcentajes de arena natural y su influencia en éstos parámetros. Para el desarrollo del mismo se caracterizaron los agregados y el ligante asfáltico, y con ellos se elaboraron probetas con diferentes porcentajes de arena para luego ser ensayadas mediante el método UCL.

Del análisis de los resultados obtenidos en esta primera evaluación, se evidencia que dicho método permite determinar la influencia de la arena en los parámetros mencionados, usando una metodología simple y rápida.

## 1. Introducción

Las propiedades y comportamiento de las mezclas asfálticas dependerán de las características del asfalto y de los agregados.

El método (UCL) fue desarrollado en la Universidad Politécnica de Cataluña por los doctores Pérez Jimenez y Miró Recasens [1], y se basa en el ensayo Cántabro de pérdida por desgaste. Este permite caracterizar propiedades de los ligantes asfálticos pero sobre el producto que se tiene realmente en la práctica, y no solo al ligante. O sea evaluarlo ya estando en contacto con los agregados, luego de haber realizado la mezcla y su compactación.

El ensayo Cántabro ha sido desarrollado para valorar la cohesión en mezclas de granulometría abierta. Asimismo, ha mostrado ser apropiado para evaluar propiedades de los ligantes asfálticos, como la cohesión, susceptibilidad térmica, adhesividad y envejecimiento. Este método tiene por objeto evaluar las respuestas de cualquier ligante asfáltico y los demás materiales intervinientes de una mezcla asfáltica, evidenciando ventajas, desventajas y diferencias relativas de cada uno de ellos.[2]

Se han evaluado cuatro parámetros de desempeño de mezclas asfálticas, al incorporar diferentes porcentajes de arena en la misma. Los parámetros valorados son: cohesión, susceptibilidad térmica, adherencia y envejecimiento.

## 2. Método y materiales

### 2.1. Método UCL

Este método permite evaluar la cohesión que los ligantes asfálticos otorgan a las mezclas asfálticas. Esta propiedad, se valora a partir del trabajo necesario para separar las partículas de dicha mezcla. Es decir se determina la resistencia a la disgregación de una mezcla patrón de granulometría y composición definida, a través de ensayo Cántabro (NLT-352 y NLT-362) [3][4] a 25 °C.

El ensayo Cántabro consiste en introducir en el tambor de la máquina Los Ángeles una probeta Marshall y someterla a 300 vueltas sin las esferas. Esto genera que por impacto y abrasión los agregados superficiales de la probeta se desprendan; y se determina en porcentaje esta pérdida de peso, respecto del peso inicial.

Este método permite también evaluar la adherencia, susceptibilidad térmica y envejecimiento. Para determinar cada una de ellas se procede de la siguiente manera:

- Adherencia: se realiza la misma determinación del ensayo Cántabro, previo acondicionar las probetas durante un día en agua a 60 °C.
- Susceptibilidad térmica: se realiza la misma determinación del ensayo Cántabro, previo al ensayo las probetas se acondicionan durante 6 hs a diferentes temperaturas de análisis.
- Envejecimiento: se realiza la misma determinación del ensayo Cántabro, previo a ello, las probetas se envejecieron en estufa con aire forzado y luego de envejecidas se acondicionaron a las diferentes temperaturas de ensayo durante 6 hs. Para las edades de envejecimientos se adoptaron 3 y 7 días.

## 2.2. Materiales

Las mezclas asfálticas están formadas por una combinación de agregados y un ligante hidrocarbonado que, junto con las partículas más finas, denominadas fíller o polvo mineral, constituyen el mástico que aglomera y cohesiona al conjunto. [5]

Las actuales recomendaciones en las mezclas asfálticas, son evitar el uso de agregados no triturados, ya que los agregados naturales disminuyen la capacidad de resistir las deformaciones permanentes (ahuellamiento). Esto es debido a que por su formación, éstos poseen baja fricción interna.

En nuestro medio se elaboran mezclas asfálticas incorporando arenas naturales y que por su tamaño, también forman parte del mástico de dicha mezcla. Es por esto que se han evaluado la cohesión, adherencia, susceptibilidad térmica y envejecimiento considerando una mezcla que en su elaboración incorpore arena de trituración y arena natural.

Por lo antes mencionado, los materiales utilizados son: Arena de trituración (AT): 0-6 mm, Arena Natural (AN) y ligante Asfáltico. Estos materiales fueron aportados por una empresa del medio local, la cual se encontraba realizando con ellos una mezcla asfáltica, para ser colocada como carpeta de rodamiento en una ruta nacional de la provincia de Córdoba.

### Arena de trituración 0-6 mm (AT)

La misma proviene de una cantera de la provincia de Córdoba dedicada a la extracción y trituración de piedra granítica de montaña. Se determinó las densidades y el equivalente de arena de acuerdo a las normas IRAM 1520 [6] e IRAM 1682 [7] respectivamente, obteniéndose los siguientes resultados en la Tabla 1:

Tabla 1: Características agregado arena de trituración 0-6 mm.

Ensayo	Unidad	Valor
Dens. Relativa Real	-	2.801
Dens. Relativa del agregado Seco	-	2.753
Dens. Relativa del agregado Saturado	-	2.753
Absorción	%	0.6
Eq. Arena	%	75.0

### Arena natural (AN)

La misma proviene de una cantera de la provincia de Córdoba y a continuación se presenta los resultados de densidades y equivalente de arena en la Tabla 2:

Tabla 2: Características agregado arena natural.

Ensayo	Unidad	Valor
Dens. Relativa Real	-	2.638
Dens. Relativa del agregado Seco	-	2.604
Dens. Relativa del agregado Saturado	-	2.617
Absorción	%	0.5
Eq. Arena	%	86.2

### Ligante Asfalto

El mismo proviene de la provincia de Buenos Aires de la destilaría ubicada en Dock Sud. Para su caracterización se procedió a la determinación del punto de ablandamiento, penetración y viscosidad rotacional. Estos permitieron clasificarlo como un CA-30 de acuerdo a la norma IRAM

6835 [8]. Con las determinaciones de las viscosidades a diferentes temperaturas se construyó la curva de calentamiento del ligante asfáltico. Con la misma, se determinaron las temperaturas de mezclado (165 °C a 170 °C) y compactación (155 °C a 160 °C) de las mezclas asfálticas.

Tabla 3: Caracterización del ligante asfáltico.

Ensayo	Unidad	CA-30	Met. De ensayo
Penetración	1/10 mm	40	IRAM 6576 [9]
Punto de Ablandamiento	°C	52	IRAM 6841 [10]
Viscosidad 60 °C	dPa s	3285.0	IRAM 6837 [11]
Viscosidad 135 °C	mPa s	610.6	
Viscosidad 150 °C	mPa s	307.3	
Viscosidad 170 °C	mPa s	143.3	
Índice Penetración Pfeiffer	-	-1.2	IRAM 6835 [8]

#### Procedimiento de preparación de las muestras

Las probetas se elaboraron considerando la metodología del ensayo, que propone una granulometría determinada, un porcentaje de asfalto de 4,5% y 50 golpes por cara. La granulometría utilizada se denomina T5, en donde en el tamiz N°4 retiene 0%, en el N°8 el 80% y en el N° 30 el 100%.

Se muestra en las Figuras 1 y 2, una imagen detallada para apreciar su forma de las dos fracciones, el retenido en el tamiz N° 8 y en el N° 30, de los dos agregados utilizados.



Figura 1: Izq. detalle AT retenido Tamiz N° 8. Der. detalle AN retenido Tamiz N° 8.

Para la evaluación y comparación de los resultados se confeccionaron probetas con la granulometría T5 y con los agregados mencionados. Es decir, éstas se elaboraron para la mezcla patrón, sin arena natural, y para los diferentes porcentajes de arena natural analizados. La mezcla patrón se realizó con el 100 % del agregado triturado 0-6 mm, siendo para el tamiz N° 8, un 80% de retenido por ese tamiz y el 20% del retenido por el tamiz N° 30.

Posteriormente se elaboraron probetas con porcentajes de reemplazo crecientes de arena de trituración por la arena natural que normalmente se utiliza en Córdoba. Los porcentajes de reemplazo analizados fueron 3, 5, 7, 12, 50 y 100. Es decir, se reemplazó esos porcentajes en los retenidos anteriores del 0-6, por los mismos retenidos de la arena natural.

Como ya se mencionó, los parámetros evaluados son cohesión, susceptibilidad térmica, adhesividad y envejecimiento. Para el primer parámetro (cohesión), las probetas se ensayaron a 25 °C (Figura 3 y 4), para la segunda (susceptibilidad térmica, Figura 7) las mismas se acondicionaron a -10°C, 0°C, 40°C y 60 °C durante 6 horas para luego ser ensayadas, para la tercera se acondicionaron en agua durante 24 hs a 60°C, y para el último parámetro se realizaron probetas con los diferentes porcentajes de arena tanto para envejecer a 3 y a 7 días en estufa con aire forzado. Para todas estas determinaciones se elaboraron un total de 300 probetas, considerando también la repetición de algunas determinaciones.



Figura 3: Probetas antes de ensayar a 25 °C a cohesión.

### 3. Resultados y discusión

Para la evaluación de los resultados se realizaron curvas, en las cuales se pueden observar los valores obtenidos para las diferentes mezclas analizadas. En la Figura 5 y 6, se muestran en ordenadas la pérdida en peso luego del ensayo al Cántabro y en abscisas el porcentaje de arena. En la Figura 8, se presenta igual que las anteriores pero en abscisas las diferentes temperaturas de ensayo para las distintas mezclas realizadas con los diferentes porcentajes de arena. La Figura 9 se construyó con los resultados obtenidos de las probetas con los diferentes porcentajes de arena de trituración por arena natural, a las dos edades de envejecimiento (3 y 7 días).

#### Cohesión

Para analizar la cohesión se confeccionó la Figura 5, en la que se observa la pérdida de peso, expresado en porcentaje, luego del ensayo del Cántabro. La misma muestra que a medida que aumenta el contenido de arena, mayor cantidad de agregado se desprendió de la superficie de la probeta.



Figura 4: Probetas después de ensayar a 25 °C a cohesión.

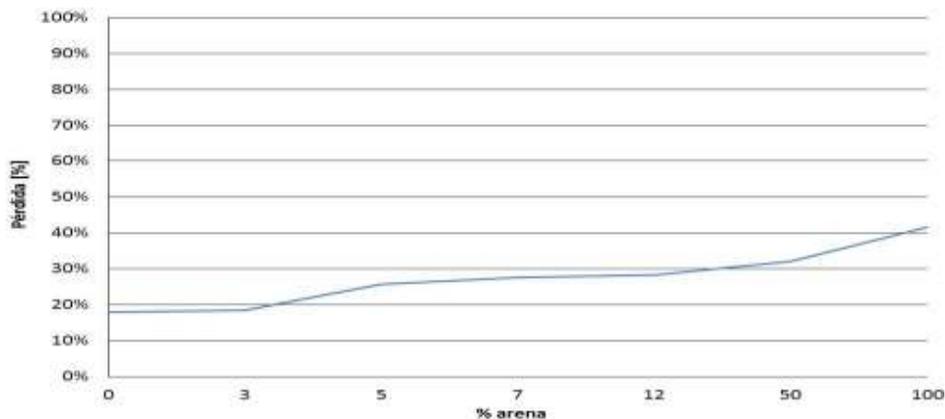


Figura 5: Pérdida a 25 °C vs. cantidad de arena. Cántabro seco - cohesión

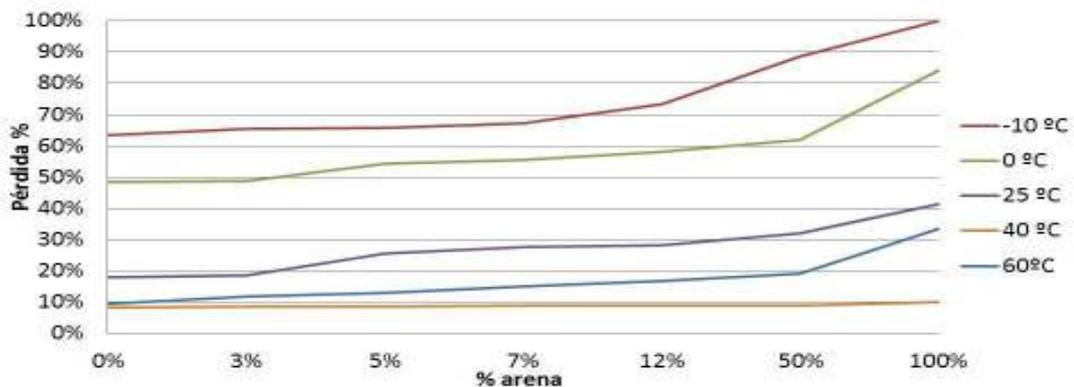


Figura 6: Pérdida vs. cantidad de arena, a diferentes temperaturas de ensayo. Cántabro seco.

#### Adherencia

Las probetas no resistieron el acondicionamiento en agua a 60°C durante 24 hs, las mismas se disgregaron antes de ensayarlas.

## Susceptibilidad térmica

Para analizar este se confeccionó la Figura 8, en la que se puede ver que todas las mezclas mostraron similares comportamientos a la misma temperatura de ensayo, y que a mayor contenido de arena mayor es el porcentaje que se disgregaron las probetas. Es decir, que las mezclas con menor contenido de arena mostraron menor susceptibilidad térmica.

Las mayores pérdidas se dieron en las temperaturas más bajas, mostrando un comportamiento particular a la temperatura de 40 °C.



Figura 7: Probetas después de ensayadas (-10 °C) para susceptibilidad térmica.

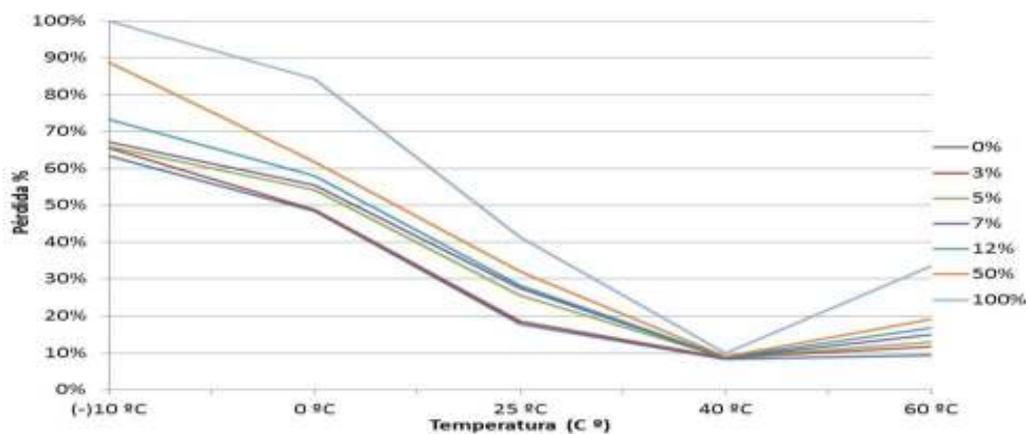


Figura 8: Pérdida vs. distintas temp. de ensayo, para diferentes % de arena. Cántabro seco.

## Envejecimiento

Con los resultados obtenidos de envejecimiento se obtuvo la Figura 9, en la que se puede observar que las mezclas mostraron similares comportamientos a la misma temperatura de ensayo para las distintas edades de envejecimiento.

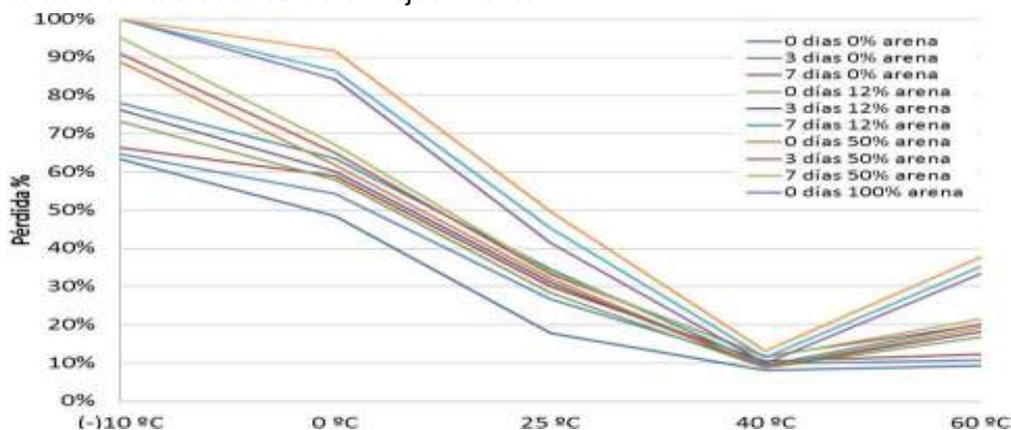


Figura 9: Pérdida vs. distintas temp. de ensayo, para diferentes % de arena y edad de envejecimiento. Cántabro seco.

Presentando, como se esperaba, a más edad de envejecimiento y de contenido de arena, mayor es el porcentaje que se disgregaron. Es decir que las mezclas con menor contenido de arena presentaron menor envejecimiento.

#### 4. Conclusiones

- El método UCL ha permitido obtener un importante número de datos frente a las diferentes mezclas analizadas y también ponderar la influencia de la incorporación de la arena natural estudiada.
- La presencia de mayores porcentajes de arena natural produce una disminución en las fuerzas de cohesión de la mezcla asfáltica. Esto se estima que uno de los motivos es por la forma más esférica de la arena natural, lo que genera menos puntos de contacto entre los agregados. Esto se traduce en una menor cantidad de puntos que colaboran para mantener los agregados sobre la superficie de la probeta.
- Los mayores desprendimientos de las probetas se han observado a temperaturas bajas, como se puede ver en la Figura 6. Esto se estima sea el resultado de la disminución del poder ligante del asfalto a estas temperaturas.
- Las diferentes mezclas analizadas con los distintos porcentajes de arena, presentan a 40 °C una disgregación similar. Esto se presume se deba al comportamiento aglomerante del asfalto a esta temperatura.
- Las mezclas elaboradas no han mostrado resistencia a las condiciones de ensayo de adherencia, lo que se estima puede revertirse utilizando un asfalto modificado.
- Los resultados obtenidos han puesto de manifiesto que la incorporación de arenas naturales en las mezclas estudiadas, genera un deterioro en los parámetros de cohesión, susceptibilidad térmica y envejecimiento.

#### Agradecimientos

- CINTEMAC. Centro de Investigación, Desarrollo y Transferencia de Materiales y Calidad. Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Córdoba.
- LEMAC. Centro de Investigaciones Viales. Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional La Plata.
- Docentes y becarios por su trabajo, dedicación y aporte.

#### Referencias

- [1] R. Recasens, F. Jimenez, 2002. Nuevos ensayos para la caracterización de ligantes y mezclas asfálticas. Universidad politécnica de Catalunya Barcelona Tech. 19 pp <http://upcommons.upc.edu/handle/2117/2853>
- [2] H. Bianchetto, R. Recasens, F. Jimenez. 2006 Resistencia al envejecimiento de las mezclas bituminosas en caliente: beneficios y imitaciones de la incorporación de filles comerciales. Primera parte: estudio en base al método UCL. Universidad politécnica de Catalunya Barcelona Tech. 20 pp <http://upcommons.upc.edu/handle/2117/2834>
- [3] Norma NLT-352/00. Caracterización de las mezclas bituminosas abiertas por medio del ensayo Cántabro de pérdida por desgaste. 2pp
- [4] Norma NLT-362/92. Efecto del agua sobre la cohesión de mezclas bituminosas de granulometría abierta, mediante el ensayo Cántabro de pérdida por desgaste. 4pp
- [5] LEMaC Centro de investigaciones Vial UTN FRLP. 2015. Valoración del desempeño de una mezcla asfáltica densa modificando el tipo de filler y asfalto. Capítulo 5: Valoración por medio del método UCL, Caracterización Universal de Ligantes.
- [6] Norma IRAM 1520:2002. Agregados finos. Métodos de laboratorio para la determinación de la densidad relativa real, de la densidad relativa aparente y de la absorción de agua.
- [7] Norma IRAM 1682:1992. Agregado fino. Determinación del equivalente arena.
- [8] Norma IRAM-IAPG A 6835:2002. Asfaltos para uso vial. Clasificación por viscosidad – Requisitos.
- [9] Norma IRAM 6576:2004. Determinación de la penetración utilizando un penetrómetro de aguja.
- [10] Norma IRAM 6837:2016. Determinación de la viscosidad mediante un viscosímetro rotacional con cámara termostatazada, de tipo Brookfield Thermosel o de características similares.
- [11] Norma IRAM 6841:2011. Determinación del punto de ablandamiento. Método del anillo y esfera.

# EFFECTOS DE ACEITES ESENCIALES DE ORÉGANO (*Origanum vulgare*, L) Y CANELA (*Cinnamomum cassia*) SOBRE EL CRECIMIENTO DE LA LEVADURA *Zygosaccharomyces parabaillii*.

María Kupervaser(1), Carolina Díaz(1), Carola Sosa(1).

(1) Grupo de Investigación en Biotecnología y Alimentos (BIOTEC), Facultad Regional Resistencia, UTN. French 414. Resistencia-Chaco.

## Resumen

La utilización de aceites esenciales como antimicrobianos naturales contribuye a la conservación microbiológica de los alimentos, además de conferirles particularidades de aroma y sabor. Pueden incorporarse como ingrediente constitucional de los mismos, o bien ser parte de un film o recubrimiento comestible que actúe como envase. En el presente trabajo, se estudió el efecto sobre el crecimiento de una levadura deteriorativa, *Zygosaccharomyces parabaillii*, en dispersiones filmogénicas adicionadas de diferentes concentraciones de aceite esencial de orégano y canela (0.5; 1.0; 1.5; 2.0%), con el fin de aplicarlas como recubrimiento comestible de caramelos de base vegetal. Se aplicaron dos técnicas microbiológicas: difusión en agar Saboreaud que permitió obtener halos o zonas de inhibición (cualitativa), y la determinación de la concentración mínima inhibitoria (cuantitativa), de soluciones de concentraciones crecientes de aceite esencial en el mismo caldo. Se obtuvieron halos de inhibición máximos de  $20.5 \pm 0.5$  mm con el aceite esencial de canela, y de  $17 \pm 1.0$  mm con el de orégano, con una concentración del 2.0% de ambos aceites. En el ensayo de microdilución ambos aceites adicionados en el recubrimiento, inhibieron el crecimiento de la levadura en suspensión. Estos estudios preliminares demostraron el efecto inhibitorio de compuestos naturales sobre el crecimiento de una levadura que se desarrolla en alimentos azucarados, lo que sugiere su potencial uso como agentes antimicrobianos naturales.

## Introducción

En la actualidad, el número de consumidores que prefieren alimentos mínimamente procesados y elaborados sin conservantes químicos se encuentra en constante crecimiento (Appendini y Hotchkiss, 2002). La conservación de los alimentos ha experimentado un cambio complejo debido a un continuo requerimiento de productos naturales, libres o con bajos niveles de aditivos químicos, bajo impacto sobre el medio ambiente e inocuos. Esto ha impulsado a la búsqueda de conservantes naturales para reemplazar a los químicos convencionales (Vásquez *et al.*, 2014). Es por esto, que los productos naturales obtenidos de plantas surgen como una importante alternativa para el control de microorganismos.

Los aceites esenciales derivados de compuestos aromáticos y algunas especias han demostrado tener efecto antimicrobiano sobre bacterias, levaduras y mohos (Adam *et al.*, 2009). Muchos de ellos, como eugenol, citral, pineno, timol, ácido cinámico y carvacrol se caracterizan por una actividad antimicrobiana prominente (Konning *et al.*, 2004). Asimismo, Rojas-Grau *et al.*, (2007) evaluaron las actividades antimicrobianas frente a *E. coli* (O157: H7) de varios aceites como orégano, canela y limón, y de los compuestos activos de los aceites de carvacrol, cinamaldehído y citral, incorporados en películas comestibles de alginato-puré de manzana. Los resultados mostraron que el carvacrol exhibió la mayor actividad antimicrobiana, seguido del aceite de orégano, citral, hierba de limón, cinamaldehído y canela (Parra, 2014). Otras especies de vegetales y plantas como ajo, cebolla, menta, anís, albahaca, cilantro, canela y orégano han sido usados primeramente como flavorizantes y, posteriormente reconocidos por su potencial antimicrobiano. Dentro de ellas, se destaca el orégano por su uso como antiespasmódico, antifúngico, anticoccidial y antibacteriano, gracias a la presencia en sus hojas de *p*-cimeno y los derivados fenólicos carvacrol y timol (Vásquez *et al.*, 2014).

Para determinar la actividad antimicrobiana contra microorganismos aeróbicos, el método de difusión en agar ha sido probablemente el más utilizado. El principio es la difusión del aceite esencial hacia el agar, lo que conduce a la inhibición del crecimiento mediante la formación de

zonas de inhibición (Reyes-Jurado *et al.*, 2014). Lo anterior supone que el diámetro de estas zonas aumentará al incrementar la concentración del antimicrobiano (Bonev *et al.*, 2008). Los resultados son cualitativos y la susceptibilidad del microorganismo en prueba está relacionada con el tamaño de la zona de inhibición (en milímetros) (López-Malo *et al.*, 2005).

En este trabajo se propuso incorporar dos aceites esenciales, canela y orégano, a una matriz delgada y continua de material comestible en base a almidón de mandioca, que se utilizó como recubrimiento de caramelos gummies de batata. Se determinó la capacidad inhibitoria de los mismos frente la especie *Zygosaccharomyces parabaillii*, una levadura deteriorativa y resistente a altas concentraciones de azúcar. Se evaluó además la eficacia antimicrobiana “*in vitro*” en medios microbiológicos para poder tener conocimiento exacto de la concentración inhibitoria mínima de los aceites esenciales.

## **Materiales y Métodos**

### **Preparación del recubrimiento comestible**

Primeramente, se mezclaron cantidades de fécula de mandioca y agua, acompañado de agitación y calentamiento uniforme hasta gelificación completa del almidón ( $69 \pm 2^\circ \text{C}$ ). Por otra parte, se preparó una solución de lecitina de soja, aceite esencial (AE) y agua, y se homogeneizó a 24000 rpm con un dispersor ULTRA-TURRAX. Se mezcló dicha solución con la de almidón gelificado y, finalmente se agregó la cantidad correspondiente de glicerol como plastificante. Se obtuvieron muestras conteniendo 0.5; 1.0; 1.5; y 2.0% de aceite esencial, y se las comparó con una muestra control (0% de aceite esencial).

### **Preparación Inóculo**

El inóculo de *Zygosaccharomyces parabaillii* (DMic031766) se preparó transfiriendo una ansada de la cepa pura a tubos conteniendo 10 ml de Agar Saboureaud Glucosado sólido (Marca Britania, composición: glucosa (40g/l); tripteína (5.0 g/l); cloranfenicol (0.05 g/l), agar (15.0 g/l), peptona (5.0 g/l)), con inclinación de  $45^\circ$ : El agar inoculado se incubó a  $28^\circ \text{C}$  durante 48 horas, resultando dicho tiempo suficiente para que el cultivo alcance la fase exponencial de crecimiento.

### **Ensayo de Inhibición- Método de difusión en agar**

Primeramente, se inoculó una placa de Petri con Agar Saboureaud Glucosado, con una concentración de colonias de *Zygosaccharomyces parabaillii* de  $1 \times 10^6 \text{UFC/mL}$ .

Posteriormente, se cortaron discos de papel de filtro (ASHLESS FILTER PAPER 201 FAST) de 1 cm de diámetro, previamente esterilizados e impregnados en la solución de recubrimiento, preparada como se detalló anteriormente. Los mismos se depositaron sobre el inóculo de levadura y se incubaron a  $28^\circ \text{C}$  por 48 h.

El efecto antimicrobiano se determinó observando la existencia de zonas de inhibición (halos) en el área de contacto, así como alrededor de los discos.

La capacidad de inhibición de cada aceite esencial se informa como el diámetro (mm) del halo desarrollado alrededor del disco.

### **Método de micro dilución en caldo**

Se realizó en placas de ELISA con fondo plano de 96 pocillos. En primer lugar, se realizaron ensayos con los aceites esenciales puros para evaluar su potencial actividad antimicrobiana. Para ello, se incubaron volúmenes iguales de aceite esencial y suspensión de levaduras (volumen final:  $200 \mu\text{L/pocillo}$ ) a  $37^\circ \text{C}$  y se leyó la absorbancia a 620 nm en un lector de microplacas (Thermo Multiskan Ex), cada 24 horas. Con los aceites que demostraron poseer un efecto inhibitorio (lecturas de absorbancia constantes) se repitieron los ensayos con las muestras de recubrimiento en las condiciones descritas anteriormente. Las levaduras incubadas con caldo Saboureaud (sin recubrimiento), fue utilizado como control positivo de crecimiento.

## **Resultados**

### **Zona de Inhibición**

La capacidad de migración de los antimicrobianos contenidos en las películas hacia el agar sólido se evaluó en relación al control del crecimiento de *Z. parabaillii*. La actividad inhibitoria de diferentes concentraciones de aceites esenciales de canela y orégano, se cuantificó a través del diámetro de la zona de inhibición. Las mismas fueron uniformemente circulares en una capa homogénea de crecimiento de dicho microorganismo, como se puede observar en las figuras 1 y 2. Cabe aclarar que, en el caso de que se comprobara el desarrollo de colonias individuales, la prueba debería repetirse ya que lo mismo puede deberse a una dilución excesiva del caldo.

Se obtuvieron halos de mayor tamaño para una concentración del 2.0 % de ambos aceites (Tabla 1). Asimismo, se pudo observar un aumento lineal respecto de los diámetros de dichos halos con la concentración de antimicrobiano utilizado. El rango de tamaño de los mismos, entre la concentración mínima y máxima de aceite esencial (0.5 y 2.0%), fue de 8.5 mm para canela y 3.5 mm para orégano. El AE de canela produjo una mayor inhibición que el AE de orégano, debido a que se obtuvieron halos un 20% mayor. El control (0% AE) no causó inhibición en el crecimiento de la levadura, permitiendo su normal desarrollo. Según López-Malo *et al.*, (2005), los microorganismos se denominan “susceptibles” cuando el diámetro de los halos de inhibición es de 30-35 mm, “intermedios” cuando el mismo es de 20-30 mm, o “resistentes” con una zona cuyo diámetro es menor a 15-20 mm. Teniendo en cuenta lo anterior, con los aceites ensayados en el presente trabajo, se pudo corroborar una susceptibilidad “intermedia” con el 2.0% de AE de canela, y para las demás concentraciones una susceptibilidad “resistente” para el crecimiento de la levadura.

Tabla 1: Diámetros (mm) de los halos de inhibición obtenidos para diferentes concentraciones de AE de canela y orégano.

Concentración (%)	Orégano	Canela
0.5	n.d*	12.0 ± 0.0
1.0	13.5 ± 0.5	15.5 ± 0.5
1.5	14.5 ± 0.5	18.0 ± 0.0
2.0	17.0 ± 1.0	20.5 ± 0.5

(\*) no detectado

Valores expresados como el promedio ± desvío estándar.

Las figuras 1 y 2 muestran fotografías de las placas inoculadas con levadura, conteniendo los discos impregnados con recubrimiento adicionado de AE de canela y orégano. Es notable la mayor inhibición exhibida por el AE de canela (Fig. 2), ya que para las mismas concentraciones se obtuvieron halos de mayor diámetro que los del AE de orégano (Fig. 1), tal como se explicó anteriormente. Por otra parte, y en coincidencia con lo expuesto en la Tabla 1, los diámetros desarrollados en ambos casos fueron incrementando a medida que incrementó el porcentaje de AE adicionado al recubrimiento.



Fig. 1: Placas inoculadas con *Z. parabaillii*, con discos impregnados de recubrimiento comestible + AE de orégano.

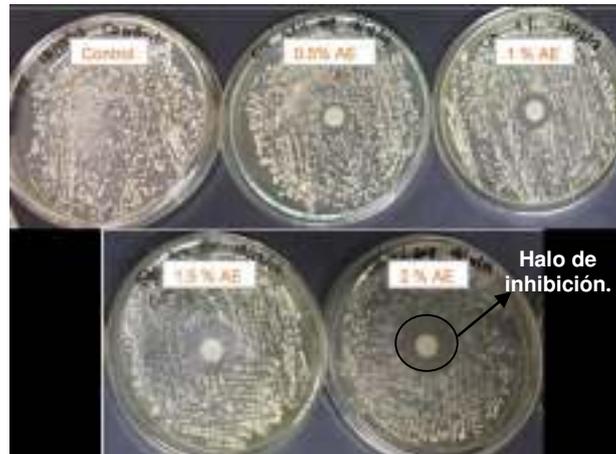


Fig. 2: Placas inoculadas con *Z. parabaillii*, con discos impregnados de recubrimiento comestible + AE de canela.

### Ensayo de micro dilución en caldo

Para este ensayo, los aceites seleccionados de canela y orégano fueron incorporados al recubrimiento comestible de almidón de mandioca, tal como se explicó. Asimismo, se preparó una muestra control (solución de levadura sin aceite esencial). Cabe aclarar que, para este caso, el crecimiento del microorganismo en las muestra se detecta por la presencia de turbidez o sedimentación, posterior a la incubación de los tubos (Reyes-Jurado *et al.*, 2014). Según lo observado, la absorbancia de las muestras se mantuvo constante en el periodo de medición, lo que significó una inhibición del crecimiento de la levadura (poca densidad de levadura, menor turbidez). Los resultados obtenidos demostraron que ambos aceites inhibieron completamente el crecimiento de las mismas, en todas las concentraciones ensayadas (Fig. 3 y 4). Sin embargo, el comportamiento de la muestra control (levadura sin aceite), reflejó una curva de crecimiento normal, propia de un microorganismo, indicando ausencia de inhibición. Estos resultados sugieren que mientras la absorbancia medida se mantenga invariable en un intervalo de tiempo determinado, no se produce crecimiento de levadura, indicando un posible efecto antimicrobiano de los aceites presentes.

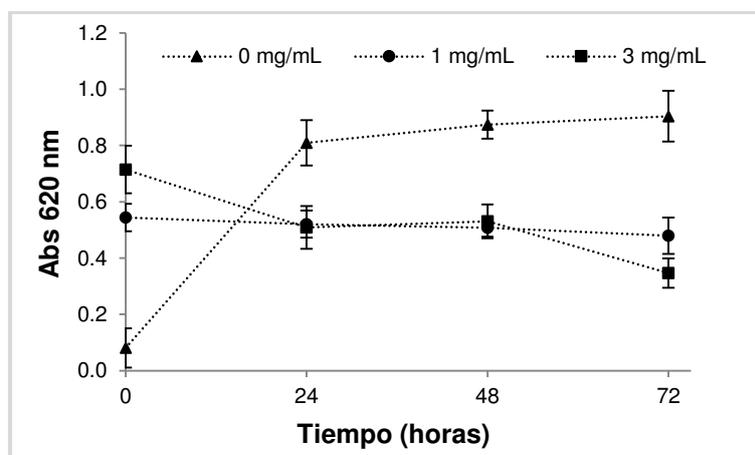


Fig. 3: Variación temporal de la Absorbancia de soluciones de recubrimiento con AE de canela (0.0, 1.0, 3.0 mg/mL), sobre *Z. parabaillii*. Los puntos representan el promedio de 3 ensayos ± DS.

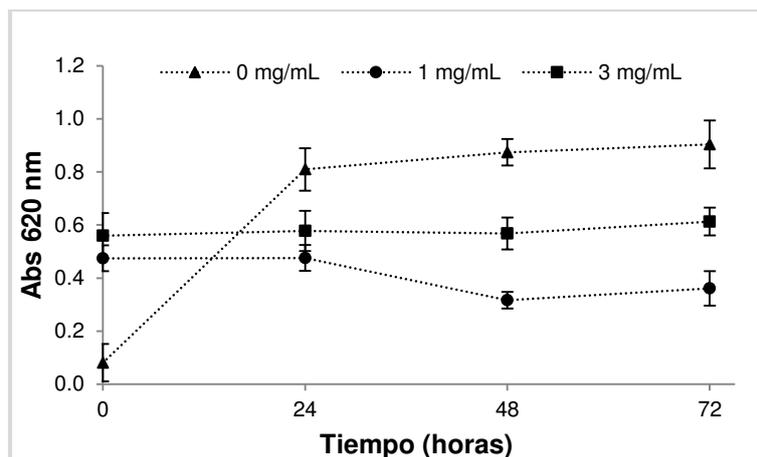


Fig. 4: Variación temporal de la Absorbancia de soluciones de recubrimiento con AE de orégano (0.0, 1.0, 3.0 mg/mL), sobre *Z. parvabailii*. Los puntos representan el promedio de 3 ensayos  $\pm$  DS.

## Conclusiones

Los resultados preliminares obtenidos en el presente trabajo demuestran el efecto inhibitor de los aceites esenciales de orégano y canela, incorporados en un recubrimiento comestible de almidón de mandioca, para la conservación de caramelos gummies de base vegetal. Esto sugiere su potencial utilización como agentes antimicrobianos naturales, frente al crecimiento de una cepa de levadura resistente a altas concentraciones de azúcares. Es importante que se complemente el trabajo con un análisis sensorial descriptivo convencional que permita evaluar la aceptabilidad de los recubrimientos aplicados en dicho alimento, y ensayos fisicoquímicos para estudiar la interacción del mismo con el medio que lo rodea.

## Referencias

- Adam, M.; Dobias, P.; Pavlikova, P.; Ventura, K. (2009). Comparison of solid-phase and single-drop microextractions for headspace analysis of herbal essential oils. *Central European Journal of Chemistry*. 7 (3), 303-311.
- Appendini, P.; Hotchkiss, J.H. (2002). Review of antimicrobial food packaging. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 3, 113-126.
- Bonev, B.; Hooper, J. y Parisot, J. (2008). Principles of assessing bacterial susceptibility to antibiotics using the agar diffusion method. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 61(6), 1295-1301.
- Burt, S. (2004). Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods- a review. *International Journal of Food Microbiology*. 94(3): 223-253.
- Konning, G. H; Agyare, C.; Enninson, B. (2004). Antimicrobial activity of some medicinal plants from Ghana. *Fitoterapia* 75: 65-67.
- López-Malo, A.; Palou, E.; Parish, M.; Davidson, P. (2005). Methods for activity assay and evaluation of results. En P.M. Davidson, J.; Sofos, J.; Branen, A. *Antimicrobials in Food*, 3ª Edición, Capítulo 21. Pg: 659-680.
- Rojas-Grau, M. A.; Avena-Bustillos, R. J.; Olsen, C.; Friedman, M.; Heinka, P.R.; Martin-Belloso, O.; Pan, Z.; Mchugh, T. H. (2007). Effects of plant essential oils and oil compounds on

mechanical, barrier and antimicrobial properties of alginate-apple puree edible films. Journal of Food Engineering. Vol 81, N 3, p. 634-641.

Reyes-Jurado, F.; Palou, E.; López-Malo, A. (2014). Métodos de evaluación de la actividad antimicrobiana y de determinación de los componentes químicos de los aceites esenciales. Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos 8-1:68-78.

Parra, C. (2014). Control ecológico de levaduras alterantes en productos lácteos: ensayo de aceite esencial, 1–64.

Vásquez, M.; Alvarado, P.; Rodríguez, I.; Saldaña, W.; Reyes, W.; Vargas, A. (2014). Efecto del aceite esencial de *Origanum vulgare* en la supervivencia de *Staphylococcus aureus*, *Salmonella thypi*, *Salmonella parathypi* y *Salmonella enteritidis* en carne de cerdo pasteurizada y refrigerada REBIOL, 34(1), 57–68.

# INVESTIGACIÓN DE LA PRESENCIA DE *CLOSTRIDIUM PERFRINGENS* EN AGUAS SUPERFICIALES.

Camila Bellotti, Florencia Tavella  
camibellotti@hotmail.com, flortavella@gmail.com  
Estudiantes de Ingeniería Química.  
Laboratorio de Química y Microbiología, UTN Facultad Regional Villa María.  
TUTOR. Mgter. Silvia Moyano; Mgter Graciela Marín.

## Resumen

*Clostridium perfringens* pertenece al grupo de microorganismos utilizados como indicador microbiológico de la contaminación del aguas superficiales, y su presencia actúa como alerta para detectar cuándo el agua puede estar contaminada por otros patógenos más difíciles de identificar. Para su determinación se utiliza el método de filtración en membrana. El mismo usa el Agar m-CP, cuya composición se detalla en la Directiva 98/83/CE del Consejo de 3 de Noviembre de 1998. En el presente trabajo se puso a punto la técnica de filtración en membrana, con la cepa de referencia *C. perfringens* ATTC 13124. A su vez, se determinó la presencia de *C. perfringens* en el río Ctalamochita (río Tercero) en muestreos realizados en la zona cercana a la ciudad de Villa María y se comparó los resultados obtenidos con los parámetros microbiológicos tradicionales de agua de río (coliformes totales, coliformes termotolerantes y *Escherichia coli*). Los resultados demostraron que en todas las muestras analizadas las determinaciones de coliformes termotolerantes y *E.coli* estuvieron dentro de los límites establecidos por la legislación vigente de la provincia de Córdoba para agua de vertido. En relación a la determinación de *C. perfringens* en 100 ml, todas las muestras analizadas fueron positivas.

**Palabras claves:** *Clostridium perfringens*, filtración en membrana, agua de río, río Tercero.

## Introducción

Las bacterias del genero *Clostridium* son bacilos Gram positivos, anaerobios, sulfitorreductores y producen esporas termorresistentes. (Ministerio de Agua, Ambiente y Servicios Públicos provincia Córdoba (MAA y SP<sub>a</sub>) 2016). La especie *Clostridium perfringens* pertenece al grupo de microorganismos utilizados como indicador microbiológico de la contaminación del agua. Su presencia actúa como alerta para detectar cuándo el agua de consumo humano es apta para consumo, debido que son excelentes indicadores de contaminación fecal reciente o lejana en el tiempo (Ríos. S, et al. 2017; Muñoz. D et al. 2010). El control de la calidad microbiológica del agua de consumo requiere de análisis dirigidos a determinar la presencia de microorganismos patógenos, capaces de causar enfermedades de mayor o menor gravedad en los consumidores (Pietro Sierra. D,2017; UNE-EN, 2017).

Dada la extraordinaria resistencia de las esporas de *C.perfringens* a los procesos de desinfección se la propuso como indicador de los procesos de desinfección y de otras condiciones ambientales de la presencia de protozoos y virus entéricos en aguas de consumos tratadas. Además sobrevive en el agua mucho más tiempo que los coliformes, como *E.coli* (MAA y SP<sub>a</sub>, 2016 y UNE-EN, 2017).Se lo ha utilizado para determinar la calidad sanitaria de moluscos bivalvos ya que no son parte de la microflora de ambientes marinos (Rodríguez- López. M.L. et al. 2016).

Incluso es un estupendo indicador del funcionamiento de las plantas de tratamiento del agua, ya que su presencia puede significar que el proceso de filtración y/o desinfección han resultado deficientes. También puede indicar una deficiente limpieza de las tuberías o depósitos de agua. El método de análisis más utilizado para el recuento de *C. perfringens* es la Filtración de Membrana propuesto por la Comunidad Económica Europea (CCE, 1998). Investigaciones recientes realizadas en la Universidad de Antioquía han realizado la verificación del método de filtración por

membrana de C.perfringenes en agua legando a resultados confiables, precisos y exactos y usando el agar TSC (triptosa-sulfito- cicloserina) (Rodríguez- López M.L et al. 2016).

## Materiales métodos

Se realizaron dos muestreos en el rio Tercero, en la zona del puente andino (32°25'09.4"S 63°18'09.8"W), en la bajada de la calle Entre Ríos (32°25'14.4"S 63°15'12.2"W) y en barrancas del río (32°25'33.1"S 63°13'28.6"W). El primero se realizó en el mes de Octubre del 2017 y el segundo en Abril del 2018.

Para realizar la evaluación de la contaminación se utilizaron los métodos establecidos por las Normas Provinciales de la Provincia de Córdoba para el agua de vertido. En la determinación coliformes totales y termotolerantes y *E.coli* se usó la tabla del número más probable (NMP) de 3 tres tubos; Ministerio de Agua, Ambiente y Servicios Públicos provincia Córdoba (MAA y SP<sub>b</sub>, 2016).

Para investigar la presencia de *C. perfringens* se usó la técnica de filtración por membrana. Se filtró 100 ml de la muestra con una bomba de vacío y el filtro se colocó en Agar m-CP solicitado en Directiva del Consejo de Comunidad Económica Europea 98/83/EC (CCE, 1998). La composición del Agar m-CP se detalla en la tabla 1 y se preparó a través de Agar M-CP base y se adicionó como suplemento a la D-cicloserina, el sulfato de polimixina y la solución de fenolftaleína.

**Tabla 1.** Composición del Agar m-CP

Medio de base	
Tryptora	30 g
Extracto de levadura	20 g
Sacarosa	5 g
Hidrocloreuro de L-cisteina	1 g
MgSO <sub>4</sub> -7H <sub>2</sub> O	0,1 g
Purpura de bromocresol	40 mg
Agar	15 g
Agua	1000 ml
Disolver los ingredientes en el medio de base, ajustar el pH a 7,6, y mantener el autoclave a 121 °C durante 15 minutos. Dejar enfriar el medio y añadir:	
D-cicloserina	400 mg
B-sulfato de polimixina	2,5 mg
B-D-glucosuro de indoxyl	60 mg
Deberá disolverse en 8 ml de agua destilada estéril antes de añadirse	
Solución de difosfato de fenolftaleína al 0,5% esterilizada por filtración	20 ml
FeCl <sub>3</sub> – 6H <sub>2</sub> O al 4,5 % esterilizada por filtración	2 ml

Las muestras fueron filtradas y la membrana filtrante colocadas en las placas con el Agar m-CP e incubadas en anaerobiosis durante 24 horas a 44 ±1°C. La anaerobiosis se logró incubando las placas en una jarra de anaerobiosis (Gas- PaK Anaerobic Systems) donde se colocó un sobre (Anaeropack-Anaero) para generar el ambiente carente de oxígeno.

Las placas d Agar m-CP con colonias amarillas, luego de la incubación, se expusieron durante 2 minutos a vapores de hidróxido amonio, dando las colonias de *C. perfringens* un viraje al color rosado (Figura 1,2 y 3).

## Resultados y discusión

A cada muestra de agua del río se realizaron las siguientes determinaciones microbiológicas: Coliformes totales, Coliformes termotolerantes, investigación de *E.coli* y de *C.perfringens*. Los resultados obtenidos se detallan en la tabla 2 y 3.

**Tabla 2.** Resultados de Coliformes totales, Coliformes termotolerantes y *E.coli*

Fecha de muestreo	Lugar de muestreo	Coliformes Totales NMP/100 ml	Coliformes termotolerantes NMP/100 ml	<i>E. coli</i> (NMP/100 ml)
31/10/2017	Puente andino	9300	400	400
31/10/2017	Bajada Entre Ríos	9300	<300	<300
31/10/2017	Barrancas del Río	46000	<300	<300
24/04/2018	Puente andino	15000	<300	<300
24/04/2018	Bajada Entre Ríos	4300	<300	<300
24/04/2018	Barrancas del Río	39000	<300	<300

Los resultados obtenidos en muestras de agua del río Tercero demuestran que la contaminación de coliformes totales fue superior al límite de 5000, NMP/100 ml determinado por las normas para el agua de vertido de la Provincia de Córdoba (MAA y SP)<sub>a</sub>- exceptuando la zona de la bajada de la calle Entre Ríos en el muestreo realizado en abril del 2018 (tabla 2)

Con respecto a la presencia de indicadores de contaminación fecal (coliformes termotolerantes y *E. coli*) en todas las muestras analizadas el valor fue inferior a 1000, NMP/100 ml; valor establecido como máximo en las aguas superficiales de vertido en la Provincia de Córdoba (MAA y SP)<sub>a</sub>(tabla 2).

Para poner a punto la técnica de filtración de membrana para *C.perfringens* en agua (CCE,1998) se trabajó con la cepa de referencia *C.perfringens* ATCC 13124 utilizando el inóculo con 4, 5 y 10 ml caldo DRCM (Caldo diferencial para *Clostridium*) en 120 ml de agua estéril, dando resultados satisfactorios. En la figura 2 se muestra las placas de Agar m-CP antes y después de revelado con hidróxido de amonio especificado por la técnica de la Comunidad Económica Europea.

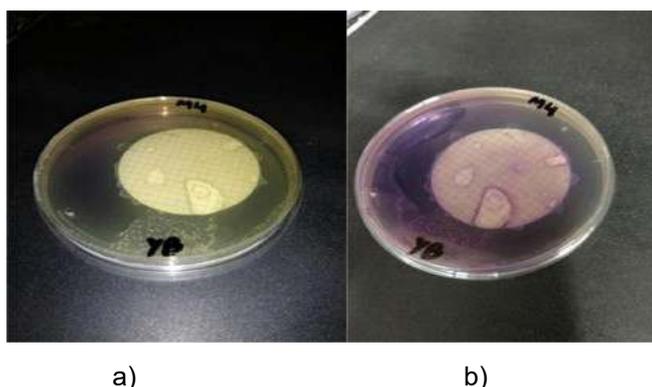


Fig.1: Resultados obtenidos con *C. perfringens* ATCC 13124.a) Colonias amarillas antes de la revelación con hidróxido de amonio y b) Viraje al rosado por la revelación de hidróxido de amonio.

Como puede observarse en la tabla 3 todas las muestras analizadas dieron positivas para la presencia de *C. perfringens* en 100 ml. En el segundo muestreo, debido a los resultados obtenidos anteriormente se decidió variar el volumen filtrado en 50, 25 y 10 ml. Todas las muestras presentaron presencia de *C. perfringens* en 100,50 y 25 ml. Los resultados de este estudio indican que la presencia de bacteria es común en aguas del río Tercero, por lo tanto es una contaminación esperable en agua superficiales (UNE-EN, 2017), a pesar de tener un nivel de contaminación aceptable para indicadores de contaminación fecal (coliformes termotolerables y

*E. coli*) de acuerdo a la normativa de la Provincia de Córdoba (MAA y SP)<sup>a</sup>. En las figuras 2 y 3 se muestran los resultados obtenidos para *C. perfringens* en el primero y segundo muestreo.

Tabla 3. Resultados de *C. perfringens* por el método de filtración por membrana

Lugar de muestreo	Muestreo 31/10/2017			Muestreo 24/04/2018		
	50 ml	100 ml	10 ml	25 ml	50 ml	
Puente andino	>50	>50	<1	3	10	
Bajada Entre Ríos	>50	>50	<1	8	15	
Barrancas del Río	>50	>50	1	1	6	



Fig. 2. Muestreo 31/10/2017. *C. perfringens* en 50 ml, en 100 ml de la muestra de la bajada de la calle Entre Ríos.



Fig. 3. Muestreo 24/04/2018. *C. perfringens* en 25 ml y 100 ml de muestra analizadas antes y después del revelado con hidróxido de amonio.

## Conclusiones

En este estudio, la aplicación de la técnica de filtración por membrana para la determinación de *C. perfringens* en aguas superficiales fue adecuada para detectar la contaminación en aguas del río Tercero. Todas las muestras analizadas fueron positivas para esta bacteria, lo que hace que el agua de este río no sea apta para el consumo humano, por ser considerada como indicadora de la presencia de protozoos, virus entéricos y otros patógenos más difíciles de determinar.

Además se observó que el agua de río Tercero no presenta un nivel de contaminación alto en relación con lo establecido por las normas de la Provincia de Córdoba, para agua de vertido, especialmente para indicadores de origen fecal. Estableciendo, la misma un valor máximo permitido de 1000 NMP/100mL para coliformes termotolerantes y un valor de 5000 NMP/100mL para coliformes totales.

## Referencias

Comunidad Económica Europea (CCE). Directiva del Consejo de 98/83/EC.

Ministerio de Agua, Ambiente y Servicios Públicos de la provincia de Córdoba (MAA y SP)<sub>a</sub>-Julio 2016. Normas para la protección de los recursos hídricos superficiales y subterráneos. Decreto 847

Ministerio de Agua, Ambiente y Servicios Públicos provincia Córdoba (MAA y SP)<sub>b</sub>-2016. Normas provinciales de calidad y control de aguas de bebida. Resolución 174

UNE-EN ISO 14189 Calidad del agua, Febrero 2017. Recuento de Clostridium perfringens. Método de filtración en membrana. (ISO 14189:2013).

Rodríguez- López, Magda; Sepúlveda Sánchez Marisol; Arboleda Baena Clara Arismendi González Lina; Bentacur Urhán Judith Julio 2016. Verificación del método para la detección y cuantificación de Clostridium perfringens en agua potable mediante filtración por membrana. Revista politécnica ISSN 2256-5353, Número 23. Pág. 83-89.

Muñoz D; Grau de Marin, C; Villalobos de Bastardo,L; Marval,H ; Martínez; Zerpa.A. Noviembre-diciembre 2010. Uso de Clostridium perfringens como indicador fecal en zonas de cultivo de moluscos bivalvos en el estado de Sucre. Venezuela. Revista Científica, Vol, XX Número 6Pp. 575-583.

Rios Sandra et al. Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad de agua para consumo humano.

Pietro Sierea. D. 2017 Análisis microbiológicos de aguas naturales. Trabajo de fin de grado Universidad de la Coruña.



# ESTUDIO DE LAS DEFORMACIONES PERMANENTES EN MEZCLAS ASFÁLTICAS USANDO PORCENTAJES VARIABLES DE ÁRIDOS TRITURADOS Y NATURALES

Mariana Buttini, Claudio Del Balle, Paulo Mesa, Natalia Suarez, Tutora: Cecilia Soengas  
Integrantes del Laboratorio Vial de la UTN Facultad Regional Mendoza  
Rodriguez 273, 5500, Mendoza, Argentina  
c.soengas@hotmail.com

## Resumen

En el presente trabajo se exhiben los avances del planteo al Proyecto Final de los alumnos autores, con el apoyo del personal del Laboratorio Vial de la UTN FR Mendoza. En el proyecto se pretenden valorar los cambios registrados en las propiedades de una mezcla asfáltica densa tipo CAC D19, realizada con árido Natural (sin triturar) y árido Triturado variando, según el caso, el contenido de ligante. Se utiliza un asfalto convencional denominado CA-30 para la formulación de las mezclas. La idea es generar estas variantes para poner en evidencia las modificaciones registradas en diferentes propiedades y poder calificar el desempeño de las mezclas. En Mendoza se utilizan áridos naturales para la formulación de mezclas asfálticas teniendo inconvenientes en la resistencia a las deformaciones permanentes.

El diseño de las mezclas se ha desarrollado por medio de la metodología Marshall. Se ha trabajado en colaboración con la Regional La Plata que cuenta con el equipo en la valoración de la resistencia al ahuellamiento por medio del ensayo de Wheel Tracking Test (WTT)

Hasta el momento no se han registrado buenos resultados, algunos eran los esperados, pero en otros casos continuamos trabajando para lograr revertir la situación.

## 1 Introducción

Las mezclas asfálticas son utilizadas como carpeta de rodamiento y como base de éstas, en una cantidad considerable de nuestro sistema vial carretero. Están compuestas por áridos gruesos, finos y filler, y un ligante asfáltico como aglomerante. Las proporciones de los áridos y del ligante asfáltico en la mezcla varían entre el 94% y el 96%; y entre el 4% y el 6% respectivamente, dependiendo del uso otorgado a la mezcla. Actualmente en la Argentina para la construcción o repavimentación de las rutas, las Especificaciones de la Dirección Nacional de Vialidad, recomiendan en la utilización de mezclas asfálticas recurrir a combinaciones de materiales pétreos naturales (cantos rodados en general) o materiales triturados (que pueden ser cantos rodados triturados o bien áridos naturales con forma distinta a la redondeada) con cementos asfálticos y filler (cal o cemento). En Mendoza, se usan mezclas asfálticas con canto rodado triturado, cuyo proceso de trituración, eleva considerablemente su costo, por lo que las empresas en pos de reducir valores llegan a diseñar mezclas que cumplen casi al límite las normas y/o especificaciones, ocasionando que una vez en servicio, presenten diferentes fallas, siendo las deformaciones plásticas permanentes (ahuellamiento) la más importante y la que constituye el mayor porcentaje en las rutas mendocinas. Además es una de las fallas más significativas a nivel país.

### 1.1 Deformaciones longitudinales

El ahuellamiento es el fenómeno de depresión longitudinal (en la dirección del eje de la calzada) en la superficie o capa de rodamiento, debido a las huellas de los neumáticos, ocasionando el desplazamiento lateral de la mezcla asfáltica, que si se extiende a través del tiempo lleva a la rotura completa de la misma y la aparición de los tan conocidos "baches".

En algunas ocasiones no se producen los baches pero el "efecto riel" que producen las deformaciones plásticas atentan contra la seguridad vial en general y en particular al acumularse agua originan el no deseado hidropilano.

El ahuellamiento es generado por la deformación plástica del pavimento asfáltico o por deformación de la subrasante debido a la fatiga de la estructura ante la repetición de cargas por el paso de los neumáticos de los vehículos [R1]. En cualquiera de los casos, falla de la carpeta o de la subrasante, la deformación se ve reflejada en la carpeta de rodamiento como se observa en la Figura 1

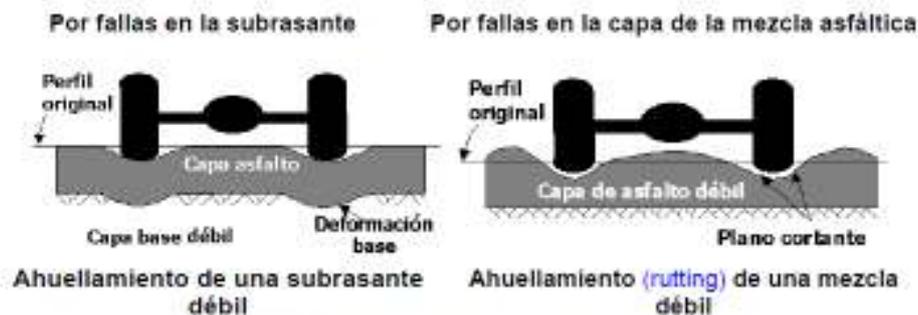


Fig. 1. El ahuellamiento puede ser causado, como se observa a la izquierda por falla de la subrasante o bien, figura de la derecha, por falla en la capa de rodamiento.

La deformación plástica de la mezcla asfáltica tiende a aumentar en climas cálidos, también puede darse por una compactación inadecuada de las capas durante la construcción, por el uso de ligantes asfálticos blandos o agregados redondeados. Esta última situación es la que se eligió como parámetro de estudio.

## 2 Metodología de trabajo

Actualmente en Argentina el diseño de pavimentos asfálticos se realiza en general, siguiendo las Recomendaciones de la Comisión Permanente del Asfalto (CPA) [R2]. Muchas veces las licitaciones se realizan siguiendo los lineamientos de la Dirección Nacional de Vialidad (DNV) [R3] pero basados en las recomendaciones antes citadas. Dentro de las Especificaciones Técnicas de Mezclas Asfálticas en Caliente de la CPA, se distinguen 7 tipos de mezclas de las cuales se eligió para la presente investigación, la denominada CAC D19 la cual responde:

CAC D19: Concreto Asfáltico Convencional Denso, tamaño máximo de agregado, 19 mm.

Dentro de los requisitos de los áridos gruesos, se cita el ensayo de Partículas Triturada (norma IRAM 1851) donde se exige: *En capas de rodamiento, como mínimo el 75 % de sus partículas, con 2 o más caras de fractura, y el porcentaje restante, por lo menos con una. Para el caso de la trituración de rodados, el tamaño mínimo de las partículas a triturar debe ser al menos 3 veces el tamaño máximo del agregado triturado restante* [2].

En base a esto se propuso como objetivo principal: Diseñar una mezcla asfáltica utilizando como agregado pétreo, áridos naturales (canto rodado) y triturados (canto rodado triturado).

Para ello será necesario realizar el diseño de una mezcla asfáltica, para uso vial, que combine material pétreo natural y triturado encontrado el porcentaje adecuado de cada pétreo para cumplir con los requisitos mecánicos y físicos que son exigidos por las normas viales nacionales (ya sea la CPA ó bien la DNV).

Una vez diseñados los áridos se deberá obtener el contenido óptimo de cemento asfáltico cumpliendo con las exigencias del Pliego General de la DNV. Se encontrará el contenido óptimo por el método Marshall [R4 y R5] y a dicha mezcla se la someterá mediante el ensayo Wheel Tracking Test [R6 y R7] (o Ensayo de la Rueda Cargada) para determinar cómo se comporta frente al fenómeno de ahuellamiento, en pos de lograr una mezcla resistente, confiable y financieramente económica.

Por lo expuesto, el plan de trabajo planteado fue adquirir los áridos (naturales y triturados) y caracterizarlos granulométricamente para conformar las curvas de una mezcla CAC D19; adquirir el ligante asfáltico convencional; diseñar la mezcla asfáltica con el árido natural, con el árido triturado y con la mezcla de ambos en las proporciones que se cree son las convenientes; una vez determinado el porcentaje óptimo de las mezclas confeccionar las probetas para ensayar con la rueda cargada. Esta última tarea es la única que no se realiza en Mendoza sino en el LEMaC, Centro de Investigaciones Viales de la UTN FR La Plata ya que cuenta con el equipo para dicho ensayo. Culminada la tarea en laboratorio y analizada las alternativas, se tratarán de difundir los resultados encontrados en ámbitos locales y/o provinciales. Los autores alumnos de este trabajo, presentarán el desarrollo de la experiencia como Tesis en la cátedra de Proyecto Final con el fin de cumplimentar las reglamentaciones curriculares en la Carrera de Ingeniería Civil.

### 3 Desarrollo experimental

#### 3.1 Áridos

El material Natural fue comprado por los integrantes del grupo de trabajo, los cuales acudieron a una empresa reconocida localmente ya que es una de las distribuidoras más importantes en Mendoza de materiales granulados para la construcción (arena, ripio, granza). Se tomaron de los acopios, en la Figura 2 se pueden ver, las siguientes cantidades de materiales:



Fig. 2. Áridos Naturales

Todo el material fue colocado en bolsas de 50 kg cada una, contando con un total de 15 bolsas. Todas fueron rotuladas en el lugar de procedencia identificándose empresa, lugar de extracción y fecha.

El material triturado fue donado por otra empresa, ubicada en el lateral este del Acceso Sur y Ruta Provincial N° 60 de Lujan de Cuyo. En la Figura 3 se pueden observar las muestras adquiridas. El tamaño del material comercialmente donado, se conoce en el mercado vial argentino como Árido Triturado Fino (0:6) y Árido Triturado Grueso (6:19). Se pueden observar las diferencias de color, forma en lo áridos gruesos y en los finos la cantidad de polvo que contienen. Los totales recolectados fueron las siguientes:



Fig. 3. Árido Triturado

En este caso también se identificaron las muestras y se las separó en bolsas de 15 kg cada una pero en esta oportunidad solo contamos con 13 bolsas.

Todas las muestras fueron llevadas al Laboratorio Vial de la UTN FR Mendoza con el fin de realizarle los ensayos característicos para posteriormente conformar las mezclas asfálticas a analizar.

#### 3.2 Mezclas Asfálticas

Definidas las características de los áridos y del ligante (material que se encontraba en el Laboratorio Vial de la UTN FR Mendoza) se procedió a diseñar las mezclas asfálticas según el Método Marshall [R4 y R5] tal como se expresara anteriormente. El diseño de las mezclas se realizó según la normativa vigente en Argentina.

Con el material natural, se logró una curva granulométrica que encuadra en la normativa pero en el caso del material triturado se debió colocar un corrector porque la curva no cumplía con las especificadas, se salía de los límites máximos y mínimos. En la Figura 4 se puede apreciar la curva.

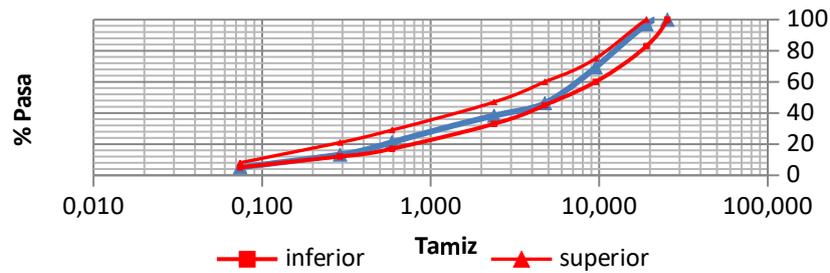


Fig. 4. Curva granulométrica del árido Natural

La muestra de árido triturado contenía mucho material grueso y la parte fina de la curva también se salía de los parámetros, por eso se trabajó con un corrector colocado desde el tamiz 30 a los tamices inferiores. En la Figura 5 se puede observar la curva obtenida.

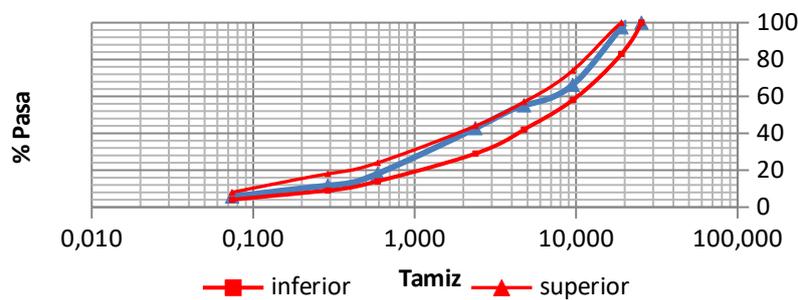


Fig. 5. Curva granulométrica del árido Triturado con la incorporación del Corrector

Los porcentajes de ligante asfáltico analizados fueron: 4,00 - 4,25 - 4,50 - 4,75 y 5,00, estos valores indican el porcentaje de cemento asfáltico del total del peso de la muestra. Del análisis de los resultados se obtuvieron los valores expresados en la Tabla 1 para la mezcla utilizando 100 % de árido natural y en la Tabla 2, la mezcla utilizando 100 % de áridos triturados. No fueron realizados los 5 puntos requeridos por el método Marshall (R4) debido al escaso tiempo con el que contamos para realizar las prácticas.

Tabla 1. Resultados del diseño de Mezclas Asfáltica con el 100 % de árido Natural (canto rodado)

Porcentaje de Ligante	Densidad Marshall (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad Rice (g/cm <sup>3</sup> )	Estabilidad (kg)	Fluencia (mm)	Vacíos (%)	VAM (%)	RVB (%)
4,00	2,340	2,450	877	2,7	4,43	13,81	67,93
4,25	2,350	2,430	918	2,8	3,30	13,27	75,20
4,50	2,370	2,440	916	3,2	2,89	13,53	79,29
4,75	2,360	2,850	834	3,3	2,69	13,90	80,68

Donde: VAM son los Vacíos del Agregado Mineral y RBV es la Relación Betún Vacíos

En base a los porcentajes de ligante asfáltico se aprecia el resultado del promedio de tres determinaciones (por cada mezcla analizada). Se destaca con color el porcentaje adoptado como óptimo ya que se cumple con los parámetros del Pliego general de la DNV (1998) Estabilidad mínimo 800 Kg; Fluencia entre 2,0 y 4,5 mm; Relación Betún Vacíos (RBV) entre 70 y 80%; Vacíos entre 3 y 5%

Tabla 2. Mezcla Asfáltica con el 100 % de árido Triturado (canto rodado triturado)

Porcentaje de Ligante	Densidad Marshall (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad Rice (g/cm <sup>3</sup> )	Estabilidad (kg)	Fluencia (mm)	Vacíos (%)	VAM (%)	RVB (%)
4,50	2,220	2,435	1201	3,2	8,69	18,69	53,70
4,75	2,240	2,405	1357	3,3	6,71	17,36	61,41
5,00	2,190	2,426	995	3,4	9,52	20,49	53,57

En base a los porcentajes de ligante asfáltico se aprecia el resultado del promedio de tres determinaciones (por cada mezcla analizada). Se destaca con color el porcentaje adoptado como óptimo.

Como se observa en las Tablas 1 y 2, los vacíos en ambas mezclas no cumplen con las Especificaciones de la DNV y la RVB en el caso de la mezcla con 100 % de árido triturado tampoco. A pesar de ello decidimos continuar con la investigación ya que se supone que con la mezcla de áridos, estas desventajas se salvarán.

De cada mezcla se volvió a repetir la verificación del porcentaje óptimo para luego enviar los materiales al LEMaC, Centro de Investigaciones Viales de la Regional La Plata con el fin de realizar el ensayo de Rueda Cargada (WTT).

Como era de esperarse la mezcla ejecutada con el 100 % de Áridos Naturales no pudo ser ensayada, el desarrollo del ensayo debió ser suspendido como indica la norma [6] por el exceso de deformación antes de la culminación del ensayo. En cambio la mezcla conformada por el 100 % de Áridos Triturados arrojó buenos resultados.

Se continuó trabajando en la Tesis pero se obtuvieron malos resultados en los parámetros Marshall para la mezcla de áridos naturales, igualmente, se siguió investigando con la posibilidad de formar una curva granulométrica con la mezcla de áridos (naturales y triturados).

Al inicio de la investigación nos planteamos probar con el 100 % de cada árido para luego ir variado el porcentaje de ambos materiales. Así, se decidió primero analizar la mezcla de áridos compuesta por el 80 % de Triturado y el 20 % de Natural para poder determinar más fácil el porcentaje de ligante asfáltico a utilizar y luego tratar de ver si con el resto de las mezclas era posible estar en el mismo entorno de ligante.

Para la mezcla con 80 % de árido triturado y 20 % de árido natural se obtuvo una curva granulométrica que encuadra en los límites de la normativa. En la Figura 6 se puede ver la curva granulométrica.

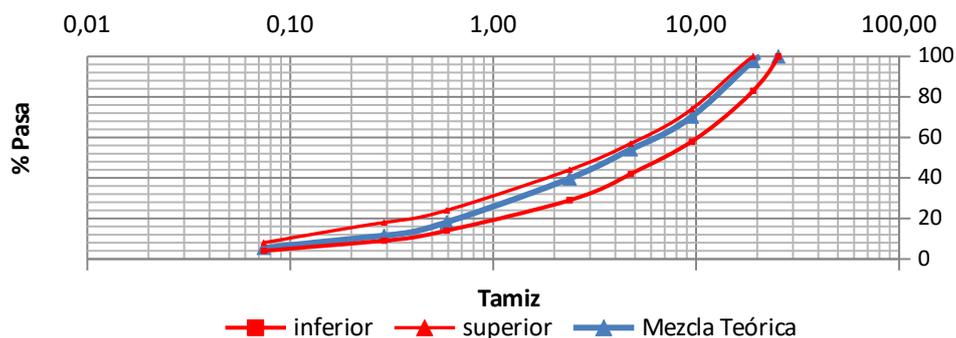


Fig. 5. Curva granulométrica del árido Triturado con la incorporación del Corrector

Se comenzó analizando la mezcla asfáltica con los valores de ligante asfáltico cercano a lo hallado con cada material, recuérdese que para el material 100 % triturado se obtuvo un valor óptimo de 4,75 y para el material 100 % naturales el valor hallado fue de 4,50. Lamentablemente los valores encontrados no fueron los esperados y probamos analizar con un valor aún menor de ligante asfáltico con el fin de verificar si podíamos encuadrarnos en las recomendaciones de la Comisión Permanente del Asfalto o bien en el Pliego de Especificaciones Técnicas Generales de la DNV. En la Tabla 3 se pueden ver los resultados encontrados con los distintos porcentajes de ligante asfáltico.

Tabla 3. Mezcla Asfáltica con el 80 % de árido Triturado (canto rodado triturado) y 20 % de árido Natural.

Porcentaje de Ligante	Densidad Marshall (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad Rice (g/cm <sup>3</sup> )	Estabilidad (kg)	Fluencia (mm)	Vacíos (%)	VAM (%)	RVB (%)
4,10	2,122	2,451	1194	3,1	13,40	8,84	98,48
4,30	2,270	2,398	1313	2,8	5,34	9,82	99,46
4,50	2,260	2,447	1241	3,4	7,64	10,25	99,25
4,70	2,295	2,415	896	2,9	4,98	10,84	99,54

En base a los porcentajes de ligante asfáltico se aprecia el resultado del promedio de tres determinaciones (por cada mezcla analizada). Se destaca con color el porcentaje adoptado como óptimo.

Aquí se planteó el peor de los inconvenientes ya que los vacíos de la mezcla también dieron resultados no esperados o no deseados. Las especificaciones de la DNV recomiendan entre 3 y 5 % de vacíos en la mezcla, en la columna de vacíos se puede calcular el promedio siendo el mismo de 8 %.

Hasta el momento estamos trabajando en encontrar la mejor solución como para poder continuar con nuestro trabajo de Tesis pero tratando de lograr aportes a las necesidades locales.

Una alternativa que aún está en proceso, es mezclar el árido triturado sin la incorporación del corrector con el fin de verificar si lo que le falta a éste árido se lo puede aportar el árido natural.

Además nos resta trabajar lo planteado inicialmente que es mezclar el 90 % de árido triturado y 10 % de áridos natural y la otra mezcla del 70 % de triturado y 30 % de natural. Sabemos, de la bibliografía consultada, que el límite en la mezcla de áridos podría llegar a estar comprendido entre el 70 y 60 % de árido triturado y su diferencia con el árido natural. Por ello tomamos como límite el 70 % de árido triturado.

#### **4 Conclusiones**

Hasta el momento hemos encontrado los valores óptimos de ligante asfáltico para ser utilizado en la mezcla elaborada con el 100 % de áridos naturales y el 100 % de Árido Triturado.

Tal como lo expresa la bibliografía, la utilización de 100 % de Áridos Naturales o redondeados no arroja buenos resultados en el ensayo de ahuellamiento.

Dosificamos por el método Marshall la mezcla asfáltica con el 80 % de Triturado y el 20 % de Natural pero no logramos obtener un buen porcentaje de ligante acorde a las reglamentaciones vigentes.

Continuamos trabajando con las mezclas planteadas con el fin de determinar cuál es la cantidad máxima de Árido Natural (de la provincia de Mendoza) a ser colocado en una mezcla asfáltica del tipo CAC D19.

#### **Agradecimientos**

Los autores desean expresar su agradecimiento a la empresa Frettes Hnos. por la donación de los áridos triturados.

También al Sr. Armando Salinas y al Ing. Esteban Allasino por su apoyo en el Laboratorio Vial, y a todo el personal del LEMaC por la realización de los ensayos de Rueda Cargada.

#### **Referencias**

Rebollo OR, Correa MJ, Soengas CJ, Botasso GH: Características de los procesos de trituración utilizados en áridos rodados y su influencia en las mezclas asfálticas en caliente. XVII Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito del 24 al 28 de octubre en Rosario, Santa Fe Argentina (2016).

Proyecto de pliego de especificaciones técnicas generales para mezclas asfálticas en caliente para carpetas de rodamiento de la Comisión Permanente del Asfalto (2010).

Pliego de especificaciones técnicas generales de la Dirección Nacional de Vialidad (1998).

Normas ASTM D 1557/ AASHTO T 225 y VN – E9 Diseño de Mezcla asfáltica por el Método Marshall.

Norma IRAM 6845 Mezclas asfálticas. Métodos de ensayo para mezclas asfálticas en caliente. Parte 1 - Moldeo de probetas usando el compactador Marshall (2016). Parte 2 – Densidad de la mezcla compactada (2013). Parte 3 - Cálculo de la densidad máxima teórica (Ensayo Rice) (2015). Parte 4 – Determinación de las propiedades volumétricas de la mezcla asfáltica compactada (2015) y Parte 5 – Determinación de la estabilidad y fluencia Marshall (2016).

Norma Española UNE – EN 12697-22: 2008+A1. Mezclas Bituminosas. Método de ensayo para mezclas bituminosas en caliente. Parte 22: Ensayo de rodadura.

Norma Española UNE – EN 12697-33: 2006+A1. Mezclas Bituminosas. Método de ensayo para mezclas bituminosas en caliente. Parte 33: Elaboración de probetas con compactador de placa.

Correo MJ, Botasso GH, Soengas CJ, Rebollo OR, García Eiler L: Primeras observaciones que relacionan las tecnologías de trituración y los tipos litológicos de algunas canteras productoras de áridos en las Sierras Septentrionales, provincia de Buenos Aires. XXXVI Reunión del Asfalto, Buenos Aires (2010).

Bianchetto H, Soengas C, Bianchetto Eduardo, Beraman M: Importancia de las características mineralógicas de los agregados pétreos para su uso en pavimentación vial. Ejemplo con basalto de la región serrana central de Argentina. Revista Carreteras Número 221, marzo, pp. 75-82 (2016)

# CARACTERIZACIÓN SENSORIAL Y FÍSICOQUÍMICA DE PRODUCTOS CÁRNICOS ELABORADOS CON CANTIDADES REDUCIDAS DE SODIO

Autores: Tavella, J. (1), Cabrera, S. (1)  
Tutores: Chesta, A. A. (1), Gonzalez Estevez, V. (1)

(1) Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Villa María, Av. Universidad 450, Villa María, Córdoba, Argentina.  
Dirección de e-mail: [julytavella@hotmail.com](mailto:julytavella@hotmail.com)

## RESUMEN

Los productos cárnicos constituyen una categoría de alimentos que contribuyen en gran medida a la ingesta de sal. Un consumo excesivo de sal causa hipertensión, responsable de graves riesgos. En 2017 se incorporaron al Código Alimentario Argentino (CAA) restricciones de las cantidades de sodio para elaborar productos críticos. Pero la sal es tecnológicamente fundamental por lo que resulta difícil su reducción. El objetivo de este estudio fue determinar una concentración mínima de cloruro de sodio que permita obtener un producto de carne de cerdo curado y otro cocido con características sensoriales apropiadas. Se realizó la elaboración sustituyendo parcialmente el cloruro de sodio por cloruro de potasio en cuatro tratamientos para cada producto. Posteriormente se los sometió a un análisis sensorial y se midieron propiedades como: textura, color, pH y humedad. Se realizó también recuento de grupos microbianos relevantes en cada caso. Los resultados reflejan que no hay diferencias significativas en pH, humedad y carga microbiana en los productos de los cuatro tratamientos de salado. Se encontraron diferencias significativas en algunos parámetros de color y textura. El panel sensorial detectó diferencias en textura y aroma del producto curado. En el cocido no hay diferencias en atributos sensoriales. Esto demuestra que es posible elaborar productos cárnicos de cerdo curados y cocidos más saludables, sensorialmente aceptables.

Palabras Clave: productos cárnicos, sodio, hipertensión, características sensoriales.

## Introducción

Las enfermedades cardiovasculares son responsables de prácticamente un tercio de las muertes mundiales totales anuales y, uno de los factores de riesgo clave en su aparición, es la hipertensión, responsable de al menos el 45% de las muertes por cardiopatías y el 51% de las muertes por accidente cerebrovascular (OMS, 2011). La relación entre el consumo de sal (cloruro de sodio) y las funciones renal y cardíaca ha sido documentada (Aburto et al., 2013; Rohrmann et al., 2013). La comunidad científica internacional recomienda un consumo de sal por persona menor a 5 g por día, equivalente a 2000 mg de sodio (OMS y FSA, 2010). En Argentina, según datos del Ministerio de Salud, el consumo de sal por persona ronda los 12 g diarios, equivalentes a 4800 mg de sodio y, el 70% del consumo proviene de alimentos procesados o industrializados y preparados. A finales de 2013 se aprobó en Argentina la Ley N° 26905 de Reducción del Consumo de sodio, que plantea la reducción progresiva de la sal contenida en los alimentos procesados hasta alcanzar los valores máximos fijados por la cartera sanitaria nacional, en grupos alimentarios definidos. Pero desde el punto de vista tecnológico, la sal resulta esencial en la elaboración de la mayoría de alimentos, en particular en el caso de los productos cárnicos, en los que desempeña un papel fundamental en el desarrollo de la textura, el sabor, el color y contribuye a la conservación (Qiaofen y Da-Wen, 2007; García-García y Totosaus, 2008). Los "productos cárnicos y sus derivados" constituyen uno de los grupos contemplados por la Ley 26905. Por todo lo anterior, tal reducción en estos alimentos resulta especialmente difícil y, hacerlo sin descuidar las características sensoriales del producto final, constituye un desafío. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del reemplazo parcial de cloruro de sodio (NaCl) por cloruro de potasio (KCl) en: lomos salados (tipo salazón) y fiambres cocidos de cerdo para emparedados y determinar si es posible obtener productos con características sensoriales apropiadas. Para ello, se elaboraron los productos con sustitución parcial de NaCl, en cuatro tratamientos. Se midieron propiedades como textura, color, pH y contenido de humedad, parámetros en los que la sal cumple un rol fundamental. Se realizó además recuento de grupos microbianos más relevantes. Por último, se los sometió a un análisis sensorial por panel no entrenado.

## Materiales y métodos

### Elaboración de lomos de cerdo salados

El lomo salado es un producto elaborado a partir del músculo íleo-espinal del cerdo (prácticamente libre de grasa externa, aponeurosis y tendones) salado, adobado y embutido en papel celofán, que se somete a un proceso de maduración apropiado (CAA - Ley 18284/69). Se realizó un proceso tradicional con las etapas de acondicionamiento, salado, lavado, embutido, secado y maduración. La mezcla utilizada en la etapa de salado contenía principalmente NaCl y KCl en distintas proporciones de acuerdo a lo que se detalla en la Tabla 1. Otros ingredientes: nitrato de sodio, nuez moscada, azúcar y pimienta blanca molida fueron adquiridos, al igual que las sales de cloro, en dos empresas abastecedoras de este tipo de insumos (Villa María).

### Elaboración de fiambres

El fiambre cocido de cerdo para emparedados es un chacinado no embutido, elaborado con trozos y/o recortes de carne de cerdo sometido a cocción. Definido así en CAA (Ley 18284/69). Para la elaboración se siguieron las etapas básicas de acondicionamiento, picado, adición de salmuera (en la que se incorporaron todos los aditivos: nuez moscada, pimienta, azúcar, proteína de soja, ácido eritórico, etc.) y almidón, mezclado, amasado, envasado, cocción y enfriamiento. Los tratamientos de salado aplicados a los fiambres son los mismos que a los lomos, detallados en Tabla 1.

Tabla 1. Tratamientos de salado aplicados.

Tratamiento de salado	NaCl	KCl
I	100 %	---
II	65 %	35 %
III	50 %	50 %
IV	40 %	60 %

### Medición de color

Las mediciones de color se realizaron con colorímetro CR-400/410 (Konica Minolta Sensing Inc., Japan) en muestras de todos los tratamientos de lomos y fiambres terminados. De cada muestra se obtuvieron 3 submuestras de 1 cm de espesor. Se realizaron 3 mediciones por submuestra (un total de 9 mediciones por tratamiento). Los parámetros analizados fueron: L\*(luminosidad): (0=negro y 100=blanco); a\*(tono): (negativo=verde, positivo=rojo); b\*(tono): (negativo=azul, positivo= amarillo).

### Análisis del perfil de textura

Se realizó un Análisis de Perfil de Textura (TPA) utilizando un texturómetro TMS-Pro (Food Technology). Los resultados corresponden al promedio de nueve mediciones por tratamiento. Las mismas se realizaron a temperatura ambiente sobre tarugos de 3 cm obtenidos a partir de rodajas de 1 cm de espesor del centro de cada pieza de cada tratamiento de ambos productos. Los parámetros analizados son: dureza, adhesividad, cohesividad, elasticidad y masticabilidad.

### Medición de pH y humedad

El pH se determinó usando un pH-metro, método potenciométrico en mezcla de producto y agua destilada (1:1) según norma ISO 2917:1999 en el producto final de cada uno de los tratamientos. La cantidad de agua presente en los productos finales se determinó siguiendo el procedimiento gravimétrico según método oficial (ISO 1442:1997) mediante su desecación en una estufa a 105 °C a presión atmosférica, hasta la obtención de peso constante.

### Análisis microbiológicos

Para el caso de los lomos salados se cuantificaron bacterias acidolácticas (importantes desde el punto de vista sensorial) por recuento en placa (ISO 7889:2003) y de coliformes a través de la técnica del número más probable (ISO 4831:2006), como se indica en el Capítulo VI de CAA (Ley 18284/69), donde se establecen los criterios microbiológicos.

En los fiambres se cuantificaron aerobios mesófilos por recuento en placa (ISO 4831:2006) y E. coli, a través de la técnica del número más probable (ISO 16649-3:2005), como se indica en CAA para chacinados cocidos no embutidos. Se analizaron 5 muestras de cada tratamiento.

## Análisis sensorial

Se llevaron a cabo pruebas afectivas, conocidas como estudios de consumidores, con la finalidad de evaluar la influencia del reemplazo parcial de NaCl por KCl sobre características sensoriales.

Las muestras de lomos y fiambres, con los cuatro tratamientos, fueron evaluadas por un panel no entrenado de 50 miembros en tres sesiones diferentes. Realizando una evaluación hedónica (o de nivel de agrado) y una prueba de aceptación global y preferencia. A cada miembro se le proveyó un vaso de agua, una galleta sin sal y la hoja de evaluación con las pruebas. Para la evaluación hedónica se utilizaron escalas estructuradas como la de Tabla 2. Para la prueba de aceptación y preferencia, cada panelista debía escoger su muestra favorita y si consideraba que alguna debía ser rechazada y lo registraba al final de la hoja.

Tabla 2. Formato de escala utilizada en la prueba de nivel de agrado

1	Me disgusta mucho
2	Me disgusta bastante
3	Me disgusta levemente
4	Indiferente
5	Me gusta levemente
6	Me gusta bastante
7	Me gusta mucho

## Análisis estadístico de resultados

Los resultados obtenidos fueron analizados estadísticamente empleando el software GraphPad Prism v.5.03, mediante un análisis de varianza ANOVA simple, con el objetivo de determinar si existían diferencias significativas en los parámetros estudiados para los productos elaborados con los cuatro tratamientos propuestos con un nivel de significancia del 95,0%.

## Resultados y discusión

### Color

Los valores de parámetros de color estudiados en lomos se muestran en Tabla 3. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) en los parámetros  $a^*$  y  $b^*$ . Aunque, existen diferencias para el parámetro  $L^*$ : la media para Tratamiento I es menor que cualquiera de los otros tratamientos (sustituídos parcialmente por KCl). Coincidiendo con lo encontrado por Aliño (2010).

En cuanto a los fiambres, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) en los parámetros  $a^*$  y  $L^*$  de color (Tabla 4). Sin embargo, existen diferencias significativas entre todos los tratamientos para el parámetro  $b^*$ , encontrándose las medias de los Tratamientos I y IV en los extremos. Los valores de los parámetros de color se encontraron dentro de los promedios reportados por otros autores para productos similares (Frontela et al., 2006; Torres et al., 2012).

### Perfil de textura

El análisis de textura de los lomos mostró diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en cohesividad y elasticidad (Tabla 3). Resultados similares en cohesividad encontró Corral Silvestre (2010) y en cuanto a elasticidad coinciden con Gou y otros (1996).

El análisis de textura que se llevó a cabo en los fiambres terminados mostró diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en todos los parámetros estudiados, excepto la adhesividad (Tabla 4). Los valores del perfil de textura se encontraron dentro de los promedios reportados por otros autores para productos similares (Frontela, 2006, Kameník, 2017). Barbieri (2016), no encontraron diferencias significativas en el perfil de textura entre distintos tratamientos para jamón cocido, pero ninguno fue tan exigente como el Tratamiento IV del presente estudio. Teniendo eso en cuenta, los resultados obtenidos por los autores concuerdan con los obtenidos en esta investigación.

### pH

El análisis estadístico de los valores de pH de lomos para cada tratamiento de salado aplicado, reflejó que no existen diferencias significativas entre ellos (Tabla 3). Resultados similares obtuvieron Gelabert et al. (2003) y Campagnol et al. (2011).

El pH de los fiambres obtenidos a través de los cuatro tratamientos en ningún caso presentó diferencias significativas. Se observó una tendencia a un pH mayor a medida que aumentaba la concentración de KCl (Tabla 4). Estos valores coinciden con los obtenidos por Frontela et al. (2006).

Tabla 3. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de los lomos con las cuatro formulaciones

Parámetro\Tratamiento	I	II	III	IV
a*	10,70 <sup>a</sup> ± 0,81	10,37 <sup>a</sup> ± 0,86	11,02 <sup>a</sup> ± 1,29	10,37 <sup>a</sup> ± 1,14
b*	1,47 <sup>a</sup> ± 0,33	1,20 <sup>a</sup> ± 0,66	1,41 <sup>a</sup> ± 0,74	1,79 <sup>a</sup> ± 0,40
L*	42,47 <sup>a</sup> ± 1,98	44,40 <sup>b</sup> ± 2,24	46,16 <sup>c</sup> ± 1,68	44,88 <sup>b</sup> ± 1,73
Dureza (N)	104,96 <sup>a</sup> ± 15,61	104,38 <sup>a</sup> ± 11,82	101,20 <sup>a</sup> ± 13,67	108,06 <sup>a</sup> ± 13,51
Adhesividad (N.mm)	6,42 <sup>a</sup> ± 2,37	6,07 <sup>a</sup> ± 0,95	4,32 <sup>a</sup> ± 1,37	4,06 <sup>a</sup> ± 1,89
Cohesividad	0,60 <sup>a</sup> ± 0	0,67 <sup>b</sup> ± 0,05	0,60 <sup>a</sup> ± 0	0,60 <sup>a</sup> ± 0
Elasticidad (mm)	4,12 <sup>a</sup> ± 0,17	4,46 <sup>b</sup> ± 0,11	4,14 <sup>a</sup> ± 0,11	4,24 <sup>c</sup> ± 0,19
Masticabilidad (mJ)	264,77 <sup>a</sup> ± 52,49	304,68 <sup>a</sup> ± 44,86	245,37 <sup>a</sup> ± 26,59	270,68 <sup>a</sup> ± 30,05
pH	6,08 ± 0,15 <sup>a</sup>	6,11 ± 0,17 <sup>a</sup>	6,14 ± 0,19 <sup>a</sup>	6,2 ± 0,13 <sup>a</sup>
% Humedad	25,30 ± 3,05 <sup>a</sup>	24,31 ± 2,01 <sup>a</sup>	23,96 ± 3,33 <sup>a</sup>	24,04 ± 2,25 <sup>a</sup>
Coliformes (log10 ufc/g)	<1	<1	<1	<1
BAL (log10 ufc/g)	2,46 <sup>a</sup> ± 0,085	2,49 <sup>a</sup> ± 0,068	2,45 <sup>a</sup> ± 0,072	2,47 <sup>a</sup> ± 0,061

Tabla 4. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de los fiambres con las cuatro formulaciones

Parámetro\Tratamiento	I	II	III	IV
a*	11,58 ± 0,93 <sup>a</sup>	12,58 ± 1,25 <sup>a</sup>	12,54 ± 1,45 <sup>a</sup>	13,16 ± 0,62 <sup>a</sup>
b*	7,29 ± 0,36 <sup>c</sup>	8,51 ± 1,13 <sup>ab</sup>	8,02 ± 0,65 <sup>bc</sup>	9,32 ± 0,47 <sup>a</sup>
L*	61,02 ± 1,31 <sup>a</sup>	60,64 ± 1,14 <sup>a</sup>	60,50 ± 1,70 <sup>a</sup>	61,41 ± 1,05 <sup>a</sup>
Dureza (N)	74,75 ± 15,97 <sup>b</sup>	72,20 ± 6,15 <sup>b</sup>	71,00 ± 16,75 <sup>b</sup>	52,10 ± 8,47 <sup>a</sup>
Adhesividad (N.mm)	0,31 ± 0,07 <sup>a</sup>	0,28 ± 0,03 <sup>a</sup>	0,29 ± 0,14 <sup>a</sup>	0,28 ± 0,08 <sup>a</sup>
Cohesividad	0,48 ± 0,04 <sup>b</sup>	0,50 ± 0,00 <sup>b</sup>	0,49 ± 0,03 <sup>b</sup>	0,42 ± 0,04 <sup>a</sup>
Elasticidad (mm)	5,25 ± 0,42 <sup>b</sup>	4,97 ± 0,32 <sup>b</sup>	4,89 ± 0,13 <sup>b</sup>	4,47 ± 0,19 <sup>a</sup>
Masticabilidad (mJ)	187,33 ± 51,31 <sup>b</sup>	164,22 ± 25,71 <sup>b</sup>	170,28 ± 43,15 <sup>b</sup>	95,90 ± 27,35 <sup>a</sup>
pH	6,35 ± 0,19 <sup>a</sup>	6,42 ± 0,21 <sup>a</sup>	6,47 ± 0,16 <sup>a</sup>	6,53 ± 0,18 <sup>a</sup>
% Humedad	71,70 ± 2,03 <sup>a</sup>	72,01 ± 2,04 <sup>a</sup>	72,77 ± 2,06 <sup>a</sup>	72,86 ± 2,07 <sup>a</sup>
Aerobios mesófilos	<1000	<1000	<1000	<1000
E. Coli (UFC/g)	<3	<3	<3	<3

#### Contenido de humedad

Se estudió la merma en los cuatro tratamientos a los 20 días de maduración de los lomos con la finalidad de verificar la velocidad de deshidratación (Tabla 3), no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias. Valores similares presentaron Aliño y otros (2010). No se encontraron diferencias significativas entre los cuatro tratamientos estudiados para los fiambres (Tabla 5). Resultados similares obtuvieron Frontela (2006) y Bampi (2016).

#### Análisis microbiológicos

Los resultados de los recuentos microbiológicos (coliformes y BAL) se muestran en la Tabla 3. No se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en los recuentos estudiados entre las diferentes formulaciones aplicadas. Corral Silvestre (2010) y Aliño (2009 y 2010) tampoco hallaron diferencias significativas para coliformes y BAL en distintos tratamientos de salado en embutidos curados. Los fiambres elaborados cumplieron con los criterios microbiológicos de CAA de acuerdo a recuentos de aerobios mesófilos y E. Coli, siendo negativos en todas las formulaciones (Tabla 4).

#### Análisis sensorial

La Tabla 5 y la Figura 1 a) muestran los resultados de la prueba hedónica de consumidores de lomos. Aroma y textura fueron los atributos sensoriales afectados por la reducción de NaCl. Para ambos, pueden observarse valores más bajos en los tratamientos II y III. Al tratamiento IV le corresponden las mejores puntuaciones de apariencia, color y aroma. En el estudio de preferencia, resultó el segundo más elegido por los consumidores (29 %), después del control (32 %).

Tabla 5. Análisis sensorial de los lomos salados con las cuatro formulaciones.

Parámetro\Tratamiento	I	II	III	IV
Apariencia	5,18 <sup>a</sup> ± 1,31	5,25 <sup>a</sup> ± 1,74	5,18 <sup>a</sup> ± 1,42	5,54 <sup>a</sup> ± 1,17
Textura	5,14 <sup>a</sup> ± 0,97	4,25 <sup>b</sup> ± 1,11	4,75 <sup>ab</sup> ± 1,24	4,79 <sup>ab</sup> ± 1,20
Color	5,43 <sup>a</sup> ± 0,99	5,11 <sup>a</sup> ± 1,03	5,14 <sup>a</sup> ± 1,56	5,79 <sup>a</sup> ± 1,03
Aroma	5,18 <sup>ab</sup> ± 1,22	4,25 <sup>a</sup> ± 1,84	4,64 <sup>ab</sup> ± 1,83	5,68 <sup>bc</sup> ± 1,28
Sabor	5,61 <sup>a</sup> ± 1,23	4,82 <sup>a</sup> ± 1,83	4,71 <sup>a</sup> ± 1,86	5,46 <sup>a</sup> ± 1,23

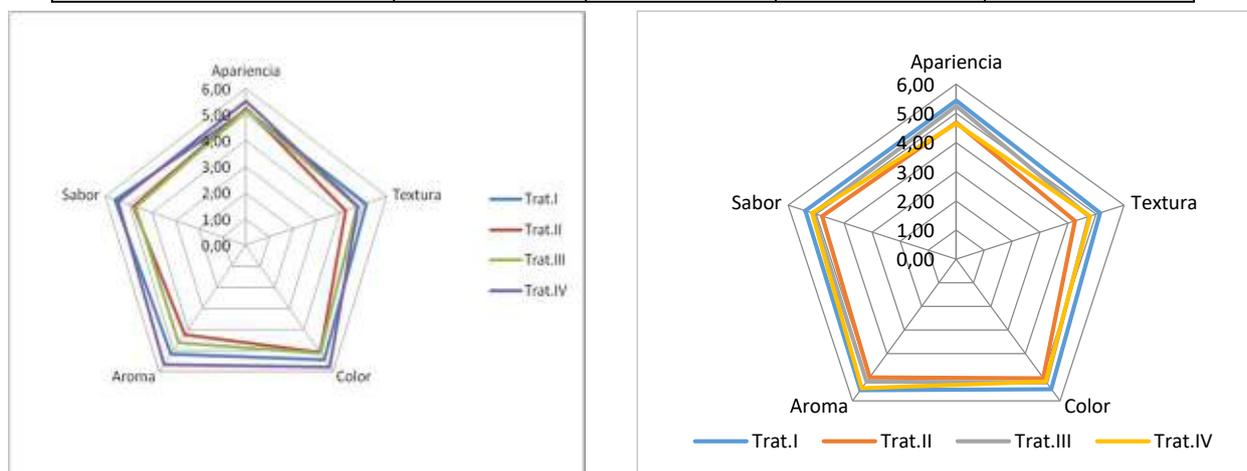


Figura 1. Perfil sensorial de productos con cuatro tratamientos a) Lomos b) Fiambres cocidos

Las diferencias que encontró el panel en la textura del tratamiento II coinciden con los resultados del perfil de textura instrumental, donde había diferencias significativas para este tratamiento.

En cuanto a la aceptación general el 57 % de los consumidores consideró que ninguno de los tratamientos de lomos debía ser rechazado. Sólo el 4 % rechazó el tratamiento IV y el 7 %, el tratamiento I. Los tratamientos II (11%) y III (21 %) fueron los más rechazados. Campagnol (2011) observaron depreciación del aroma al emplear 50 % de KCl como sustituto en lomo. Armenteros Cuesta (2009) obtuvo diferencias significativas en sabor, textura y aroma para tratamientos en lomos con reemplazos del 70 % de NaCl por KCl con respecto al control.

La Tabla 6 y la Figura 1 b) muestran los resultados de la prueba hedónica de consumidores realizada a los fiambres. No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos para ninguno de los atributos. Aun así, la textura fue la más afectada por la reducción de NaCl. El panel no detectó las diferencias en textura y color, que quedaron en evidencia en los análisis instrumentales.

En cuanto a la aceptación general de fiambres, el 57% de los consumidores consideró que ninguno de los tratamientos debería ser rechazado. Sólo el 4 % rechazó el tratamiento IV y el 7 %, el tratamiento I. Los tratamientos II (11%) y III (21 %) fueron los más rechazados.

Tabla 6. Análisis sensorial de los fiambres cocidos de cerdo con las cuatro formulaciones.

Parámetro\Tratamiento	I	II	III	IV
Apariencia	5,43 ± 1,32 <sup>a</sup>	4,68 ± 1,33 <sup>a</sup>	5,25 ± 1,14 <sup>a</sup>	4,64 ± 1,63 <sup>a</sup>
Textura	5,14 ± 0,97 <sup>a</sup>	4,25 ± 1,11 <sup>a</sup>	4,75 ± 1,24 <sup>a</sup>	4,79 ± 1,20 <sup>a</sup>
Color	5,50 ± 1,04 <sup>a</sup>	5,04 ± 1,14 <sup>a</sup>	5,21 ± 1,44 <sup>a</sup>	5,18 ± 1,19 <sup>a</sup>
Aroma	5,54 ± 0,88 <sup>a</sup>	5,00 ± 1,19 <sup>a</sup>	5,18 ± 1,47 <sup>a</sup>	5,46 ± 1,00 <sup>a</sup>
Sabor	5,39 ± 1,29 <sup>a</sup>	4,79 ± 1,66 <sup>a</sup>	5,11 ± 1,23 <sup>a</sup>	5,14 ± 1,08 <sup>a</sup>

## Conclusiones

El análisis de diversas propiedades, los recuentos microbiológicos y el análisis sensorial al que fueron sometidos los lomos de cerdo salados elaborados con los tratamientos de salado propuestos muestra que una sustitución del 60% de NaCl con KCl (Tratamiento IV) en la elaboración, permite obtener productos con características muy aceptables. De hecho, este tratamiento fue preferido en segundo lugar por el panel sensorial y fue el menos rechazado, incluyendo el tratamiento control.

En el caso de los fiambres cocidos de cerdo para emparedados se muestra que una sustitución del 50% de NaCl por KCl en la elaboración (Tratamiento III), es la que permite obtener productos con características sensoriales muy buenas y seguros desde el punto de vista bromatológico. El Tratamiento IV, resultó demasiado exigente y mostró diferencias significativas en relación al perfil de textura; aún así, el panel no identificó diferencias en estos atributos.

La reducción en la concentración de sodio en ambos productos cárnicos (curado y cocido) los convierte en alimentos más saludable que su versión original, lo que resulta beneficioso para los consumidores y también constituye una solución para la industria cárnica en Argentina que debe adaptarse a la nueva legislación que exige dicha reducción en los productos que elaboran.

## Referencias

- Aburto N. J., Ziolkovska A., Hooper L., Elliott P., Cappuccio F P., Meerpohl J. J. 2013. Effect of lower sodium intake on health: Systematic review and metaanalyses. *BMJ*, 346, f1326
- Aliño, M.; Grau, R.; Toldrá, F.; Blesa, E.; Pagán, M.J.; Barat, J.M. 2009. Influence of sodium replacement on physicochemical properties of dry-cured loin. *Meat Science*, 83, p. 423-430.
- Aliño, M.; Grau, R.; Toldrá, F.; Blesa, E.; Pagán, M.J.; Barat, J.M. 2010. Physicochemical properties and microbiology of dry-cured loins obtained by partial sodium replacement with potassium, calcium and magnesium. *Meat Science* 85, p. 580–588.
- Armenteros, M.; Aristoy, M.C.; Barat, J.M.; Toldrá, F. 2009. Biochemical changes in dry-cured loins salted with partial replacements of NaCl by KCl. *Food Chemistry*, 117, p. 627-633.
- Bampi M., Domschke N. N., Schmidt F. C., Laurindo J.B. 2016. Influence of vacuum application, acid addition and partial replacement of NaCl by KCl on the mass transfer during salting of beef cuts. *LWT - Food Science and Technology* 74: 26-33.
- Barbieri G., Barbieri Ge, Bergamaschi M., Francheschini M., Berizi E. 2016. Reduction of NaCl in cooked ham by modification of the cooking process and addition of seaweed extract (*Palmaria palmata*). *LWT - Food Science and Technology*, 73: 700-706.
- Campagnol, P.C.B.; Santos, B.A.; Wagner, R.; Terra, N.N.; Pollonio, M.A.R. 2011. The effect of yeast extract addition on quality of fermented sausages at low NaCl content. *Meat Science*, 87, p. 290-298.
- Corral Silvestre, S. 2010. Tesis de Mg. en Ciencia e Ing. de los Alimentos: Efecto de la reducción de sal en la calidad de embutidos crudo curados. Univ. Politécnica de Valencia Inst. de Agroquím. y Tecn. de Alim.
- Frontela C., López G., Ros G., Martínez C. 2006. Relación entre los parámetros sensoriales, fisicoquímicos e instrumentales en el jamón cocido. *Anales de veterinaria de Murcia*, 22: 67-78.
- García-García E., Totosaus A. 2008. Low-fat sodium-reduced between locust bean gum, potato starch and k-carrageenan by a mixture design. *Meat Science*, 78 (4): 406-413.
- Gelabert, J.; Gou, P.; Guerrero, L.; Arnau, J. 2003. Effect of sodium chloride replacement on some characteristics of fermented sausages. *Meat Science*, 65, p. 833–839.
- Gou, P.; Guerrero, L.; Gelabert, J.; Arnau, J. 1996. Potassium chloride, potassium lactate and glycine as sodium chloride substitutes in fermented sausages and in dry-cured pork loin. *Meat Science*, 42, p. 37-48.
- ISO 1442:1997. Meat and meat products. Determination of moisture content (Reference method).
- ISO 2917:1999. Meat and meat products. Measurement of pH. Reference method.
- ISO 4831:2006. Microbiology of food and animal feeding stuffs. Horizontal method for the detection and enumeration of coliforms. Most probable number technique.
- ISO 7889:2003. Yogurt. Enumeration of characteristic microorganisms. Colony count technique at 37° C.
- ISO 16649-3:2005. Microbiology of the food chain. Horizontal method for the enumeration of  $\beta$ -glucuronidase-positive *E. coli*. Detection and MPN technique using 5-Br-4Cl-3-indolyl- $\beta$ -D-glucuronide.
- Kameník J., Saláková A., Vyskocilová V., Pechová A., Jarustiakov D. 2017. Salt, sodium chloride or sodium? Content and relationship with chemical, instrumental and sensory attributes in cooked meat products. *Meat Science*, 131: 196–202.
- Ley 18284/69. Código Alimentario Argentino. Anexo I 1969 –1971. Cap. VI: Alim. Cárneos y Afines.
- Ley 26905/13. Consumo de sodio. Valores Máximos.
- Organización Mundial de la Salud. 2011. Causes of death 2008: data sources and methods. Ginebra.
- Organización Mundial de la Salud; Food Standards Agency. 2010. Creating an enabling environment for population-based salt reduction strategies. Informe de reunión técnica conjunta de OMS y Food Standards Agency, Reino Unido, Julio 2010, 1; p. 3-42.
- Qiaofen C., Da-Wen S. 2007. Effect of cooking bag and netting packaging on the quality of pork ham during water cooking. *Meat Science*, 75 (2): 243-247.
- Rohrmann S., Overvad K., Bueno-de-Mesquita H. B., Jakobsen M. U., Egeberg R., Tiónneland A., 2013. Meat consumption and mortality. *BMC Medicine*, 11: 63-75.
- Torres V. O. L., Hernández O. J., Sánchez A. L. T. 2012. Evaluación de los cambios fisicoquímicos producidos por la composición de sal en la formulación de jamón cocido. *Vitae*, 19: S400-S402

# AUTOMATIZACIÓN DE UN REACTOR BIOLÓGICO A ESCALA PILOTO PARA EL TRATAMIENTO DE EFLUENTES LÁCTEOS

Nuñez, Alan Iván<sup>1</sup>

Director: Ing. Semprini. Diego G

<sup>1</sup>Becario en proyecto FITR Ambiente y D.S 01/2013 desarrollado en Planta Piloto Química, U.T.N.  
– Facultad Regional Villa María. Córdoba, Argentina. E-mail: ppqca@frvm.utn.edu.ar

## Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo la implementación de un sistema automatizado para el control de proceso en un reactor biológico a escala piloto a fin de proporcionar las condiciones de operación óptimas para el tratamiento de efluentes lácteos, e identificar en qué nivel jerárquico del modelo de manufactura integrada por computadora (CIM) se encuentran los dispositivos de instrumentación, control y supervisión. En este proceso se llevó adelante el control de la variable temperatura (principal factor que afecta el crecimiento y la supervivencia de los microorganismos) por medio de un sistema de control de lazo cerrado con una acción Proporcional-Integral (PI). Además la fluidización, aspecto físico para lograr un ambiente propicio para los microorganismos, se logró mediante el control de un convertidor de frecuencia sobre una bomba centrífuga que permitió la recirculación del fluido y el movimiento continuo del relleno plástico que se encuentra sumergido en el reactor. A la vez, se llevó a cabo un monitoreo y almacenamiento digital de la variable temperatura de forma continua y discontinua. La transmisión de los datos se implementó mediante conexión Ethernet a una computadora.

Palabras claves: Automatización, control, temperatura, biorreactor.

## Introducción

La automatización ha desempeñado un papel fundamental en la evolución de los procesos industriales. Hasta mediados de siglo XX se contaba con sistemas mecánicos que permitían controlar maquinarias o regular alguna variable física de un proceso tecnológico. La aparición del microprocesador provocó una revolución en la automatización, dando lugar a los controladores comerciales presentes en el mercado como los autómatas programables, los controles numéricos y los armarios de control de robots manipuladores industriales [1, 2]. En el periodo entre 1940 y 1950 muchos sistemas de control industrial utilizaron controladores Proporcional-Integral-Derivativo (PID) para el control de diversas magnitudes físicas. En la actualidad, el control automático se ha convertido en una parte importante e integral en cualquier operación industrial que requiera el control de temperatura, presión, humedad, flujo, etcétera [3].

Una de las principales tendencias en el entorno industrial actual es la migración hacia sistemas automatizados abiertos y totalmente especializados. Sin duda alguna, uno de los principales factores que ha impulsado esta creciente tendencia ha sido la introducción de Ethernet en el entorno industrial. Ethernet ha tenido un profundo impacto en la industria, al permitir la gestión de datos y el control de procesos desde las oficinas de monitoreo. Además, posee ventajas como la integración amena entre los sistemas de planta y de administración (desde el operario a los gestores y clientes), y la posibilidad de utilizar una sola infraestructura de red para distintas funciones proporcionando la integración completa del sistema productivo [4].

Actualmente, los sistemas automatizados presentan desafíos en las industrias lácteas y sus problemas medioambientales. El problema ambiental más importante de la industria láctea es la generación de aguas residuales, tanto por su volumen como por la carga de contaminantes asociada. La mayor parte del agua consumida en el proceso productivo se convierte en agua residual. Las operaciones de desinfección, limpieza de equipos y el lavado de superficies como suelos y paredes de forma frecuente, también consumen un elevado volumen de agua. Las aguas residuales generadas en la industria láctea presentan una contaminación principalmente de carácter orgánico (grasa, lactosa, proteínas, nutrientes, etc.), que genera fluctuaciones en el pH y la temperatura, haciendo necesaria su depuración [5]. Con el paso del tiempo, la eliminación de estos residuos ha mejorado gracias a las nuevas técnicas de tratamiento biológico así como

también debido a la incorporación de sistemas automatizados. Un sistema automatizado permitirá de forma efectiva monitorear las variables de proceso y accionar los elementos finales de control, que regulará la magnitud física proporcionando las condiciones ambientales requeridas [6].

En el presente trabajo se expone el diseño de un biorreactor, enfocado en los aspectos tecnológicos y de automatización para la obtención de un producto más limpio. El objetivo que se pretende alcanzar es lograr la puesta a punto de un sistema automatizado de monitoreo, adquisición y control para conseguir las condiciones óptimas en la interacción microorganismo-medio dentro de un biorreactor y caracterizar las jerarquías de las redes de comunicación apoyado en el modelo de manufactura integrada por computadora (CIM).

## **Materiales y métodos**

Se implementó un sistema de control automático con estructura jerárquica de tres niveles (nivel de campo, de control y de supervisión). El nivel de campo, es el más bajo, y está formado por los sensores y actuadores que interactúan con el proceso, así como también sus interfaces de comunicación con los niveles superiores. En el nivel de control, se utiliza un autómata programable diseñado para controlar el proceso en tiempo real y garantizar la adquisición de datos. En el nivel de supervisión, se utiliza un software de aplicación que funciona como estación de nivel superior y permite al operador, desde el cuarto de control, supervisar el proceso [1].

Para proveer un ambiente controlado que garantice la producción y el desarrollo de un cultivo vivo de células, se hizo hincapié en la temperatura de proceso la cual se presenta como una variable crítica [7]. A causa de esto se controló la potencia entregada por el sistema calefactor proporcionando un incremento suave y controlado de la variable hasta llegar a su valor óptimo.

La fluidización del lecho es otro factor que se debe manejar para mantener una distribución uniforme de células en todo el volumen, una temperatura uniforme y mantener en suspensión el relleno que se encuentra en el reactor. Para esto se emplea una bifurcación por donde se reinyecta el fluido desde la parte inferior del reactor utilizando una bomba centrífuga trifásica marca Zeta II conectada a un variador de frecuencia marca Siemens-Sinamics v20.

La recopilación y el almacenamiento de información desde el comienzo de la puesta en funcionamiento del proceso tienen una relevancia importante ya que aportan conocimiento de los avances en las magnitudes físicas, que permite analizar el comportamiento en base a los datos históricos. La tarea de recopilar y almacenar los datos es realizada por el registrador de datos marca Brainchild modelo PR30.

## **Diseño del biorreactor**

La agitación se generó con la recirculación del fluido por medio de un brazo que se abre desde el reactor pasando por una bomba centrífuga que luego se inyectó por la parte inferior haciendo que el relleno plástico, en los cuales se adhiere la biomasa encargada de la depuración, quede suspendido en el líquido. Este proceso se lo conoce con el nombre de "lecho fluidizado" [8]. La fluidización provoca que el relleno quede suspendido y en continuo movimiento a una velocidad lo suficientemente elevada como para provocar movimiento de toda la masa que está contenida en el lecho; aunque la mayor parte de la biomasa se encuentre adherida en el material de relleno [9].

En esta derivación del cauce se colocó la resistencia calefactora para evitar exponer los microorganismos al calor directo en el interior del reactor y así impedir grandes variaciones de temperatura que afecten la actividad de la masa microbiana produciendo su muerte.

Se implementó un variador de frecuencia Siemens para regular la velocidad de rotación de un motor asíncrono trifásico. El Sinamics v20 en su modelo de 230V AC, es un convertidor de frecuencia compacto que se encuentra entre la alimentación de la red eléctrica monofásica (220V AC) y el motor, posee una entrada de tensión monofásica y salida de tensión trifásica, es capaz de regular la frecuencia de la tensión de salida y con esto la velocidad de rotación de la bomba centrífuga.

A fin de lograr la velocidad de caudal adecuada para el prototipo de planta se hicieron pruebas sobre un reactor de aproximadamente 100 litros, colocando una bomba de 0,5HP con una rosca de 1" BSP comandado por el variador de frecuencia Sinamics v20 (0,75kW). Se observó que el caudal provisto con el variador al 100% de su frecuencia no era suficiente y no proporcionaba las

características de lecho fluidizado. Se decidió cambiar la bomba por otra de 1HP. A raíz de los cambios y con el variador al 50% de su frecuencia máxima, el caudal que ingresaba al biorreactor aumentó y permitió establecer las características de fluidización con un ahorro energético. La Figura 1 muestra una fotografía del biorreactor con el sistema de recirculación de fluido y el tablero de control donde se encuentra el adquisidor de datos, el variador de frecuencia y el controlador de temperatura.

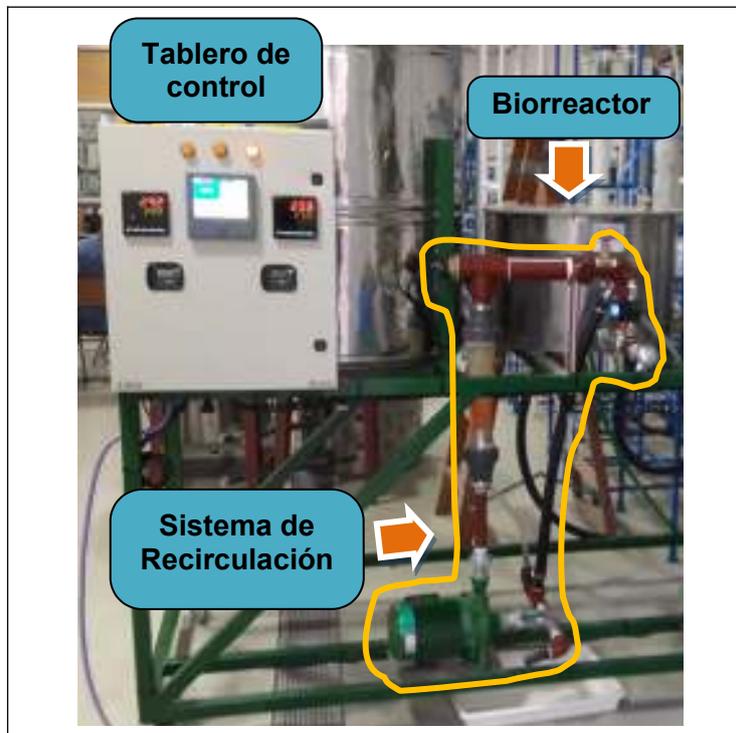


Figura 1. Biorreactor automatizado

### Control de temperatura

El sistema calefactor cuenta con un controlador de temperatura, en el cual se establecen los parámetros necesarios para regular la temperatura dentro del reactor. La potencia entregada a la carga resistiva es controlada a través de un relé de estado sólido (SSR - *Solid State Relay*) que en sus terminales de entrada recibe una señal de pulsos (PWM - *Pulse Width Modulation*) comandada por el controlador que limita la potencia entregada por la línea en los terminales de salida del SSR actuando como un interruptor que abre y cierra el circuito de potencia. En la Figura 2 se exhibe el montaje de conexión eléctrica.

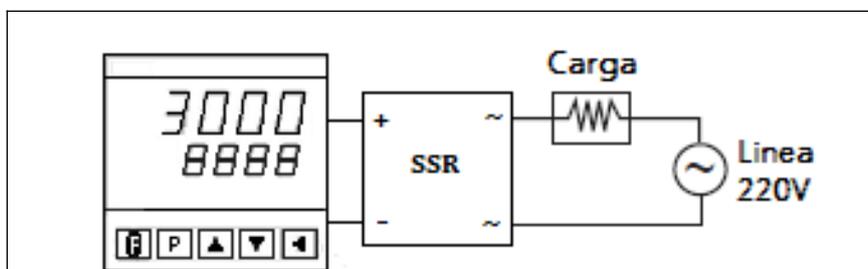


Figura 2. Montaje de conexión: Controlador-SSR-Resistencia

El controlador de temperatura Novus N3000, realiza el trabajo de comparar la temperatura del líquido provista por la termoresistencia PT100 contra un valor de referencia y genera la señal de control (PWM) que permite manejar el actuador (SSR) suministrando el nivel de potencia adecuado a la resistencia calefactora, incrementando de forma regular la temperatura hasta

alcanzar el valor óptimo y mantenerlo constante. El valor de referencia elegido fue de 28 °C. En la Figura 3 se presenta un diagrama en bloque del sistema de control con realimentación negativa implementado.

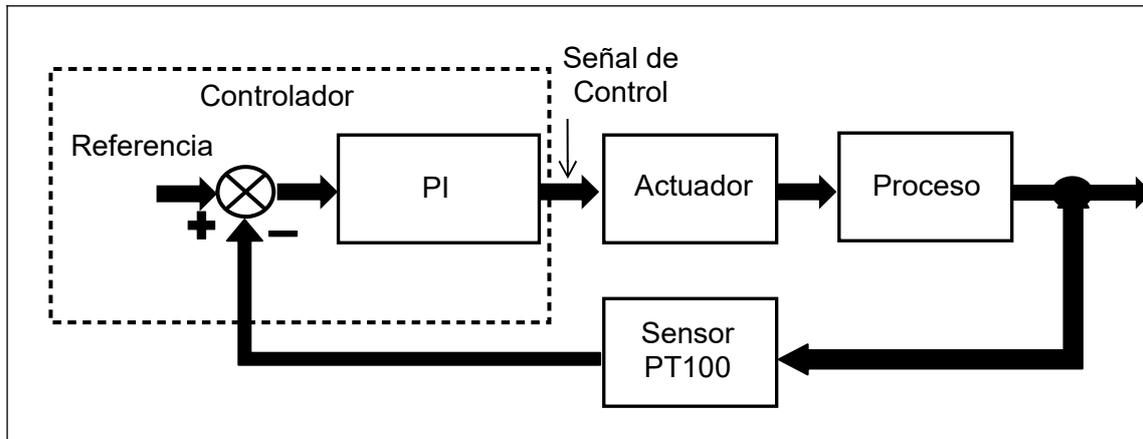


Figura 3. Diagrama en bloque del sistema de calefacción

Como elemento del nivel de campo podemos señalar el sensor de temperatura encargado de tomar una medición continua de la temperatura del fluido en el interior del reactor y pasar esa magnitud al elemento de control, es decir, el controlador de temperatura que se encuentra en el nivel de control, responsable de procesar la información y proporcionar la señal de control a nuestro segundo elemento de campo, el SSR, actuando sobre el proceso.

El criterio utilizado para definir la acción de control se basó en el requerimiento de obtener una temperatura constante [7].

La sintonización de los parámetros PI del equipo se realizaron por medio de la función “Auto Sintonía”. Esta es una herramienta versátil que permite establecer de forma automática el valor de los parámetros del control PID en sistemas de control de procesos en los que no se conoce con precisión la dinámica de la planta, sin necesidad de que el usuario deba calcular e ingresar de manera manual. La utilización de este recurso permitió un control preciso de la activación de la señal de control, eliminando la inercia que conlleva el incremento de temperatura.

### Supervisión y adquisición de datos

La supervisión se realiza con una PC junto con un registrador de datos. El registrador de datos es el dispositivo encargado de supervisar los elementos de control por medio de una interfaz de comunicación con un protocolo industrial es posible monitorear y visualizar desde una pantalla como se está llevando a cabo el proceso. Mediante este tipo de mecanismo resulta inmediato disponer de lecturas obtenidas de los sensores que se encuentran dispersos en el proceso, centralizando la información.

Como interfaz de comunicación entre el sensor de caudal SFAW, elemento del nivel de campo, y el controlador N3000, dispositivo del nivel de control, al registrador de datos se utilizó el protocolo de comunicación HART. HART (*highway addressable remote transducer*) es un protocolo de comunicación abierto diseñado para aplicaciones de medición y control de procesos industriales, que se emplea para la configuración remota y supervisión de datos con instrumentos de campo.

La registradora cuenta con un software para PC que nos permite descargar los datos y utilizarlo como visor histórico. Esta transferencia de datos se realiza mediante una conexión Ethernet.

En resumen se cuenta con un sistema de adquisición de datos que permite conocer en tiempo real el estado de las variables sensadas al mismo tiempo que los guarda en una memoria interna, en un formato binario especial del fabricante haciendo imposible la manipulación o modificación de los mismos. Y con una conexión de red capas de exportar los datos de la grabadora hacia una computadora en el cuarto de control para su posterior análisis y procesamiento.

Haciendo referencia al modo de operación del biorreactor [7] se presentan a continuación las gráficas correspondientes a la medición de temperatura en el modo de operación continuo (Figura 4) y modo de operación discontinuo (Figura 5).

En la Figura 4 se pueden observar picos de descenso de temperatura ocurridos por cortes de energía eléctrica, y dado que no se contaba con un sistema de alimentación ininterrumpida, no fue posible subsanar este problema.

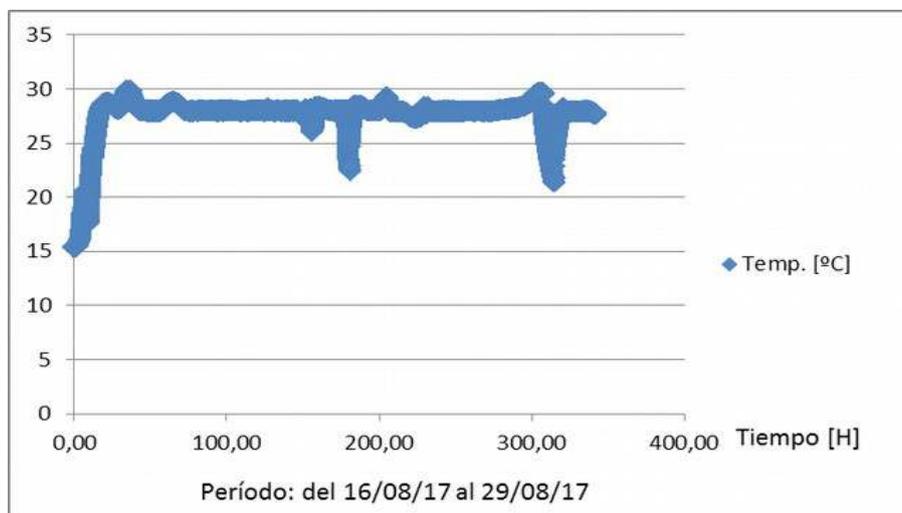


Figura 4. Temperatura del biorreactor en modo discontinuo

En la Figura 5 se muestran, al contrario de la situación anterior, ciertos picos ascendentes de temperatura generados por la actividad del cultivo de microorganismos.

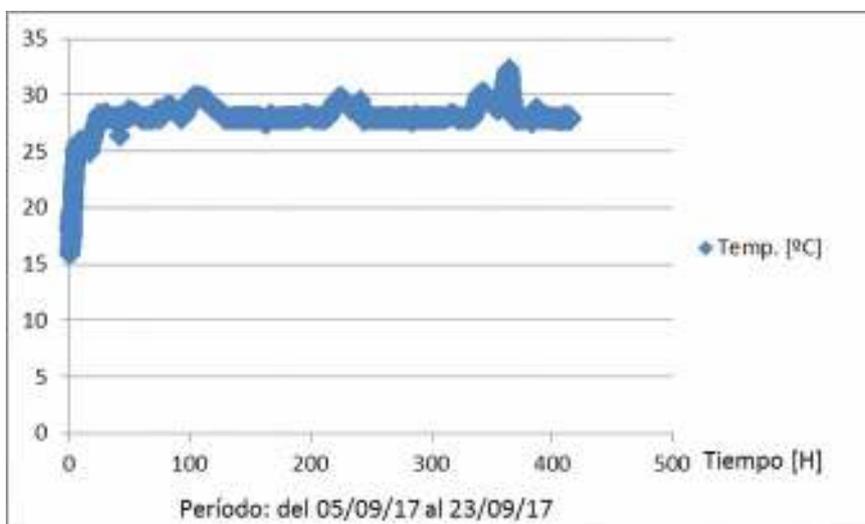


Figura 5. Temperatura del biorreactor en modo continuo

## Conclusion

Se ha desarrollado un sistema automatizado de control de temperatura capaz de controlar las condiciones internas en un biorreactor a escala piloto de forma discontinua y continua. De esta manera, se logra suministrar a los microorganismos un ambiente controlado donde son capaces de realizar la depuración con eficiencia. A la vez que se consiguió un sistema supervisor eficiente que cumpliera con los estándares de comunicación de redes industriales. Por último, se garantizó

mediante la regulación de caudal de una bomba centrífuga un movimiento continuo y en suspensión del relleno plástico que alberga la biomasa encargada de la depuración.

### Referencias

- [1] Lorenzo-Maiquez M., Mesa-Mena G. y Borroto-González F.. (2015). Acercamiento a la automatización de la producción de Fitomas-E en el Icidca. ICIDCA. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223144218009> (Consultado el 24/05/18)
- [2] Ponsa P., Granollers A.. Diseño y automatización industrial. UPC.
- [3] Ogata, K.. (2010). Ingeniería de control moderna. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN, S.A
- [4] Salazar Serna C., Correa Ortiz L.. (2011). Buses de campo y protocolos en redes industriales. Universidad de Manizales.
- [5] Pascual A., Gestión y mantenimiento de depuradores en industrias agroalimentarias. AINIA. Curso de formación específica para técnicos de la industria agroalimentaria. Sesión 1.
- [6] Cantera Cantera L.. (2013). Automatización del proceso de tratamiento de aguas pluviales por el método de electrocoagulación. IPN Escuela superior de ingeniería mecánica y eléctrica, unidad profesional "Adolfo López Mateos". México D. F.
- [7] Ertola R., Yantorno O. y Mignone C.. (1994). Microbiología Industrial. OEA.
- [8] McCabe W, Smith J y Harriott P. Operaciones unitarias en ingeniería química. McGraw - Hill.
- [9] [www.bio-fil.es/es/facility/moving-bed/](http://www.bio-fil.es/es/facility/moving-bed/). (Consultado el 25/05/18)

# CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA, MICROBIOLÓGICA Y DETECCIÓN DE ATRAZINA EN AGUA SUBTERRÁNEA DE LA CUENCA LECHERA DE VILLA MARÍA, CÓRDOBA, ARGENTINA.

Noelia L. Urseler, Romina A. Bachetti, Evangelina Miloc

Tutora: Carolina A. Morgante

Instituto AP de Ciencias Básicas y Aplicadas, Universidad Nacional de Villa María. Arturo Jauretche 1555 - C.P. 5900 - Villa María, Córdoba.

E-mail: caromorgante@yahoo.com.ar

## Resumen

El agua subterránea constituye un recurso hídrico indispensable para la producción lechera. Los objetivos del presente trabajo fueron analizar la calidad fisicoquímica y microbiológica y el contenido de atrazina (AT) en las fuentes de provisión de agua subterránea de tambos de la cuenca lechera de Villa María. Se recolectaron muestras de agua (n=18) correspondientes al acuífero libre (8-30 m de profundidad). El agua resultó bicarbonatada, sulfatada o clorurada sódica en función de condicionantes geomorfológicos del ambiente fluvio-eólico evaluado, hallándose concentraciones variables de F<sup>-</sup> y As<sup>+3,+5</sup>. La alta correlación NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (r=0,90; p<0,01) permite inferir un posible impacto de las prácticas agrícola-ganaderas. Los análisis microbiológicos indicaron una calidad bacteriológica deficiente, ya que el 72,2% de las muestras de agua resultaron no aptas para el consumo humano. La presencia de AT (ELISA, Abraxis) se detectó en el 50% de las muestras de agua evaluadas, en concentraciones que oscilaron entre 0,07 a 1,38 µg/L. Los resultados hallados indicarían que los sistemas productivos actuales impactan en los recursos hídricos subterráneos de Córdoba, condicionando la calidad del agua para los diversos usos a los que se destina.

**Palabras claves:** calidad de agua, agua subterránea, contaminación, producción lechera.

## Introducción

El agua es un recurso natural renovable aunque limitado, indispensable para la vida y las actividades humanas. Dentro de las reservas de agua dulce disponibles en el planeta, el agua subterránea constituye una de las fuentes de abastecimiento más importantes (Vivot et al., 2010) siendo el principal recurso utilizado en establecimientos rurales de Argentina (para riego, consumo animal y doméstico), resultando indispensable conocer su calidad para los diferentes usos (Herrero et al., 2000; Blarasín et al., 2014).

El concepto de calidad del agua es complejo y difícil de definir en términos absolutos, ya que depende de diversos factores geológicos, climáticos, biológicos, hidrológicos y antrópicos (López Pasquali et al., 2010; Blarasin et al., 2014). Una manera de estimar su calidad consiste en definir valores o rangos para ciertas variables físicas, químicas o biológicas, que se consideran admisibles o deseables según el uso al que se va a destinar el agua (Urrutia Pérez et al., 2003). En la llanura pampeana, el agua proveniente del acuífero libre es en general de buena calidad, sin embargo, debido a su escasa profundidad (5 a 30 m), está expuesta a la contaminación por actividades industriales, agrícolas y urbanas (Giuffré, 2008; Herrero 2014).

La cuenca lechera de Villa María se encuentra localizada en la región central de Córdoba. Es una zona de intensa actividad agrícola y ganadera, donde la producción lechera adquiere especial relevancia. La alta demanda de agua, conjuntamente con los residuos generados por la aplicación de fertilizantes y plaguicidas, constituyen las principales causas del deterioro de este recurso hídrico (Pérez Espejo y Aguilar Ibarra, 2012). La atrazina (AT) es el herbicida clorado de mayor importancia en volumen de aplicación ocupando el tercer lugar después del glifosato y el 2,4-D (CASAFE, 2013). Es un herbicida selectivo perteneciente a la familia de las s-triazinas, que posee prolongada vida media y elevada toxicidad, siendo un contaminante de preocupación ambiental (De Gerónimo et al., 2014) dado que puede alcanzar cuerpos de agua subterráneas por procesos de lixiviación (Koroša et al., 2016; Fingler et al., 2017).

Los objetivos del siguiente trabajo fueron 1) analizar la composición fisicoquímica y microbiológica del agua del acuífero freático, y 2) determinar la presencia del herbicida AT en las fuentes de provisión de agua subterránea utilizadas en tambos de la cuenca lechera de Villa María.

## Metodología

### Área de estudio y recolección de muestras de aguas subterráneas

El área de estudio corresponde a la cuenca lechera de Villa María, Córdoba, reconocida a nivel nacional como el tercer conglomerado lechero, en términos de importancia, por su nivel de productividad y calidad de leche producida (Taverna y Fariña, 2014). Desde el punto de vista geomorfológico, el subsuelo de la región en estudio se caracteriza por la presencia de sedimentos aflorantes de edad Cuaternaria de origen fluvial asociados a diferentes estadios hidrodinámicos del río Tercero (Ctalamochita), y sedimentos de origen eólico (Blarasin et al., 2005).

Se establecieron al azar 18 puntos de muestreo en establecimientos lecheros (Fig. 1), que fueron identificados con coordenadas del sistema de posicionamiento global (GPS) y representadas gráficamente utilizando el programa CoreIDRAW11.

Las muestras se obtuvieron de pozos que extraen agua del acuífero libre (8-30 m de profundidad). El muestreo se realizó entre los años 2013 al 2014.

En todos los casos, las muestras colectadas fueron identificadas y conservadas a 4° C y al resguardo de la luz hasta su procesamiento.

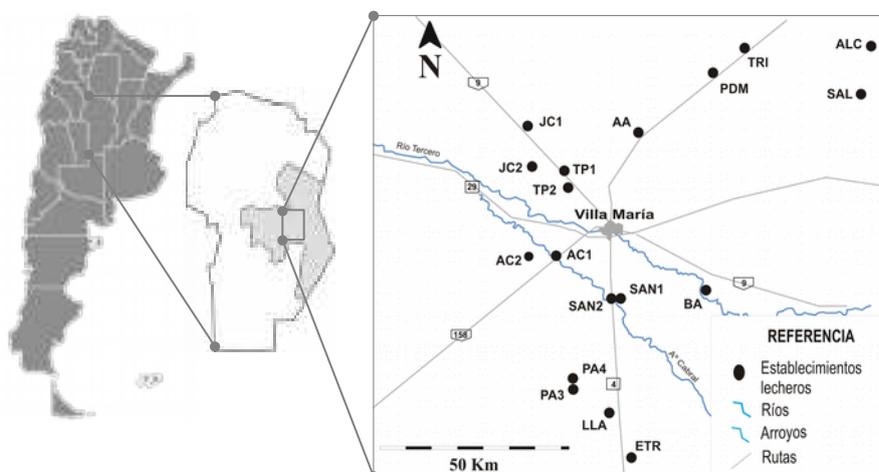


Fig. 1. Sitios de muestreo de establecimientos lecheros en la cuenca lechera de Villa María, Córdoba.

## Análisis de la calidad del agua subterránea en los establecimientos lecheros

### Análisis fisicoquímico

Se colectaron 1,5 L de agua en envases de plástico limpios y se realizó la determinación de: sólidos totales disueltos (SDT), pH, conductividad eléctrica (CE), carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ), sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), cloruros ( $\text{Cl}^-$ ), calcio ( $\text{Ca}^{+2}$ ), magnesio ( $\text{Mg}^{+2}$ ), sodio ( $\text{Na}^+$ ), potasio ( $\text{K}^+$ ), fluoruros ( $\text{F}^-$ ), arsénico ( $\text{As}^{+3,+5}$ ), nitratos y nitritos ( $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NO}_2^-$ ); siguiendo la metodología establecida en los Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012). Las muestras fueron analizadas en el laboratorio de Geoquímica del Departamento de Geología, Facultad de Cs. Exactas, Fco-Qcas y Naturales (UNRC).

### Análisis microbiológico

Las muestras (300 mL colectadas en envases estériles) fueron analizadas siguiendo la metodología establecida en los Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012) (Laboratorio de Investigación, UNVM). Se realizaron las siguientes determinaciones: a) recuento de bacterias aerobias mesófilas (BAM) mediante siembra en placa en profundidad en medio PCA (Biokar Diagnostics, Argentina); b) cuantificación de coliformes totales (CT) en caldo Lauril Sulfato (Britania, Argentina) utilizando la técnica de fermentación en tubos múltiples mediante el método del número más probable (NMP); c) recuento de coliformes fecales (CF), para lo cual se tomó una ansada de tubos positivos de CT y se incubaron en tubos de medio E.C. (medio *Escherichia coli*) (Britania, Argentina). En cada muestra positiva a CF se confirmó la presencia de *Escherichia coli* mediante siembra en placas de agar EMB (Britania, Argentina) (colonias de color negro azulado con brillo metálico). La presencia de *Pseudomonas*

*aeruginosa* se determinó por la adición de 100 mL de muestra a igual volumen de caldo asparagina (doble concentración), con confirmación en agar acetamida. Los resultados obtenidos se interpretaron según los límites establecidos por el Código Alimentario Argentino para consumo humano (CAA, 2012).

### Detección y cuantificación de atrazina

Se colectaron 250 mL de agua en botellas de vidrio color caramelo. Se realizó empleando el kit comercial Atrazine ELISA Microtiter Plate (Abraxis LLC, USA) (LD: 0,04 µg/L), según las especificaciones del fabricante. Las soluciones estándar, las muestras y los controles se analizaron por duplicado. Los resultados obtenidos se expresaron en µg/L.

### Análisis estadístico

Los resultados obtenidos se analizaron por estadística descriptiva. Las relaciones fisicoquímicas de los elementos mayoritarios determinados se realizaron mediante la prueba de Correlación de Pearson, utilizando el paquete estadístico InfoStat, versión 2011.

### Resultados y discusión

#### Análisis de la calidad fisicoquímica del agua subterránea

En la Tabla 1 se muestran las características fisicoquímicas de las muestras de agua subterránea de la región en estudio.

Tabla 1. Características fisicoquímicas de las muestras de agua subterránea.

Ref.	pH	CE (µS/cm)	SDT (mg/L)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)	Cl <sup>-</sup> (mg/L)	Na <sup>+</sup> (mg/L)	K <sup>+</sup> (mg/L)	Ca <sup>+2</sup> (mg/L)	Mg <sup>+2</sup> (mg/L)	As <sup>+3,+5</sup> (µg/L)	F <sup>-</sup> (mg/L)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)
PA3	7,3	6210	4347	635	2012	1051,4	1536,9	48,1	68	78	80	1,05	58
PA4	8	1734	1213,8	347,5	308,3	268,6	317,5	17,7	71,2	7,8	80	0,4	25
SAN1	7,7	2750	1925	820	501,3	142,9	497,5	52,7	68	30,2	85	1,3	100
ETR	7	2170	1519	295	406	331,4	409,5	13,3	88	9,3	85	0,3	4,2
ALC	7,3	2520	1764	240	495,7	428,6	524,8	12,6	49,6	9,3	20	0,3	1
PDM	7,5	1574	1101,8	222,5	490,1	122,9	260,9	10,8	86,4	12,7	20	0,27	5
TRI	8,2	2340	1638	217,5	775,6	248,6	409,5	12,3	114,4	23,4	15	0,3	6,5
SAN2	7,3	1334	933,8	382,5	244	71,4	250,8	11	44,8	13,2	8	0,5	12
JC1	7,5	1289	902,3	527,5	60,8	37,1	262,9	14,7	15,2	6,8	280	2,6	28
TP1	8,2	811	567,7	400	58,1	22,9	161,8	6,4	10,4	5,9	17	1,2	30
TP2	7,4	1585	1109,5	887,5	53,5	62,9	347,8	18	17,6	19	12	0,8	58
JC2	7,8	302	211,4	93,8	37,8	28,6	38,4	3,2	18,4	4,4	1	0,3	7
AA1	8,1	1928	1689	830	169,8	85,7	490,4	12,9	7,2	6,3	20	2,3	84
AC1	8	1150	988	335	306	48,6	212,3	7,8	29,6	16,6	3	0,2	32
AC2	7,6	1352	1198	585	129,6	68,6	327,6	14,1	12	17,1	7	1,3	43
BA1	7,8	4110	3683	1157,5	1045,8	208,6	1007,1	27	12	20	10	3	202,1
LLA	8	9170	6449	425	1979,8	1588,6	2244,7	54,9	67,2	87,8	30	0,8	0
SAL	8	1833	1253	205	357,1	277,1	348,8	10,5	36,8	8,3	4	0,2	9

En las muestras analizadas, la concentración de SDT presentó gran variabilidad, con valores entre 211,4 a 6449 mg/L. Este parámetro es indicador general de la calidad del agua, debido a que se relaciona con los iones presentes en la muestra. Los valores de CE presentaron un mínimo de 302 µS/cm (JC2) y un máximo de 9170 µS/cm (LLA), indicando una importante variabilidad en las características fisicoquímicas del agua.



sólo en dos muestras (TRI y AC1). *E. coli* es una bacteria que se desarrolla en el intestino humano sano y se transporta en grandes cantidades en la materia fecal. Generalmente no es agente causal de enfermedades, aunque existen algunas cepas que pueden causar infecciones clínicas. Por otra parte, el 61,1% de los pozos no cumple con el criterio de potabilidad establecido para *P. aeruginosa* (Ausencia/100 mL). Este patógeno oportunista posee la capacidad de formar biofilms, lo que favorece su adherencia a superficies como el sistema de distribución de agua, equipo de ordeño y tanque de almacenamiento de leche, constituyendo un grave problema en las instalaciones lecheras (Bettera et al., 2011; Herrero, 2014).

Tabla 2. Calidad microbiológica de las muestras de agua subterránea.

Ref.	BAM (UFC/ mL)	CT (NMP/100mL)	CF (NMP/ 100mL)	<i>E. coli</i> (Ausencia/100m L)	<i>P. aeruginosa</i> (Ausencia/100m L)
PA3	11	<3	<3	Ausencia	Presencia
PA4	490	<3	<3	Ausencia	Presencia
SAN1	2050	<3	<3	Ausencia	Presencia
ETR	24	<3	<3	Ausencia	Ausencia
ALC	4	<3	<3	Ausencia	Presencia
PDM	8	25	<3	Ausencia	Presencia
TRI	357	250	130	Presencia	Presencia
SAN2	120	<3	<3	Ausencia	Presencia
JC1	31	<3	<3	Ausencia	Ausencia
TP1	242	23	<3	Ausencia	Presencia
TP2	91	<3	<3	Ausencia	Ausencia
JC2	104	<3	<3	Ausencia	Ausencia
AA1	1753	14	<3	Ausencia	Presencia
AC1	1220	1600	12	Presencia	Presencia
AC2	730	25	<3	Ausencia	Ausencia
BA1	557	<3	<3	Ausencia	Ausencia
LLA	1657	8	<3	Ausencia	Presencia
SAL	483	<3	<3	Ausencia	Ausencia

En un estudio similar en la región (n=50), Bettera et al. (2011) encontraron un porcentaje superior de tambos cuyas muestras superaron el límite máximo para BAM, CT y *E. Coli* (46%, 70% y 20%, respectivamente). Sin embargo, la presencia de *P. aeruginosa* fue inferior (36%) al obtenido en este estudio. Por otra parte, en la cuenca lechera del Abasto Sur (Buenos Aires) los recuentos de BAM, CT y *E. coli* superaron la normativa en el 11,8%, 57,6% y 25,4% de los establecimientos lecheros, respectivamente y la presencia de *P. aeruginosa* se observó sólo en el 23,7% de los mismos (Herrero et al., 2002).

### Detección y cuantificación de atrazina

Se analizó la presencia de AT como posible contaminante en agua subterránea de la cuenca lechera de Villa María. Entre

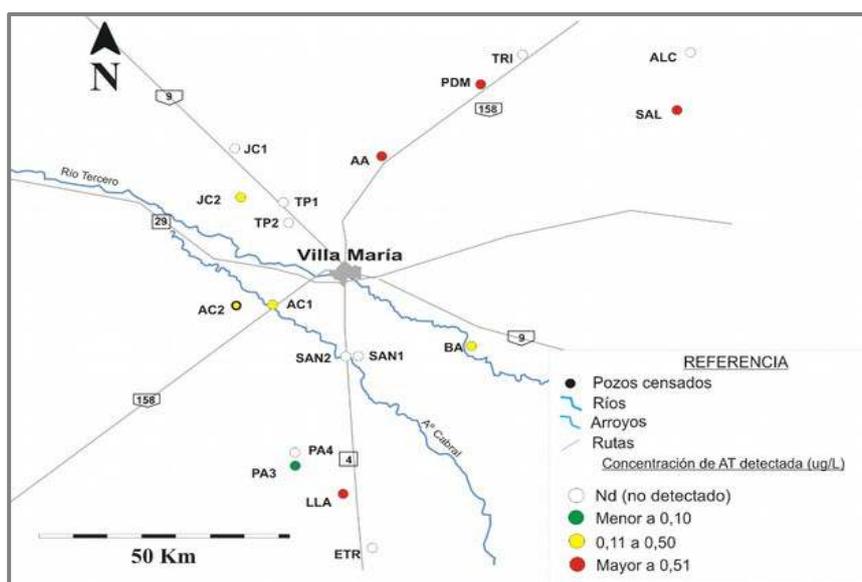


Fig. 3. Concentraciones de AT en agua subterránea en la región en estudio.

los 18 sitios monitoreados, el herbicida se detectó en el 50% de las perforaciones y en concentraciones entre 0,07 a 1,38 µg/L (Fig. 3), siendo éstas inferiores al límite establecido para agua de consumo humano (3 µg/L) por la Agencia de Protección del Medio Ambiente (USEPA) (2009) y la Ley Nacional N° 24.051 (1993). Sin embargo, en 8 establecimientos monitoreados estos valores superaron el límite admitido por la Comunidad Europea (Directiva 98/83/EC) (0,1 µg/L). Los resultados obtenidos constituyen un claro indicio de que en la región en estudio se produce la llegada de AT al acuífero libre, y sientan bases para continuar con el monitoreo de estas importantes reservas de agua, a fin de evaluar el impacto real que ejercen los sistemas agrícolas sobre las diferentes reservas de agua localizadas en la principal región productiva de la provincia de Córdoba, hasta ahora escasamente estudiada.

## Conclusiones

El análisis fisicoquímico del agua subterránea de pozos localizados dentro de la cuenca lechera de Villa María reveló un importante deterioro de la calidad de la misma como consecuencia de las actividades productivas, en particular, en lo que respecta a las altas concentraciones detectadas de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

El análisis microbiológico reveló una calidad bacteriológica deficiente para el consumo humano, debido principalmente a la presencia de *P. aeruginosa*.

La detección de AT en los pozos evidencia la llegada y persistencia de este xenobiótico en el acuífero libre.

## Referencias

- APHA. 2012. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22 ed. Washington, EUA. 1360 pp. ISBN 978-087553-013-0.
- Bettera, S.G., et al. 2011. Rev. Arg. de Microbiol., 43 (2), 111–114.
- Blarasin M., et al. 2005. Ed. UNRC. ISBN 987-98379-9-1.
- Blarasin, M., et al. 2014. UniRío Editora. Río Cuarto. CASAFE, 2013. <http://casafe.org.ar/estad/Mercado2013.htm>
- CAA. 2012. Tomo I, Capítulo XII, Art. 982, Ed. De la Canal y Asoc. Bs. As., Argentina.
- Comunidad Europea. 1998. COUNCIL DIRECTIVE 98/83/EC.
- De Gerónimo, E., et al. 2014. Chemosphere, 107, 423–431.
- Fingler, S., et al. 2017. Environ Sci Pollut Res Int. 24 (12), 11017-11030.
- Giuffré, L. 2008. Ed. Fac. de Agronomía, UBA. Primera edición.
- Herrero, M.A. 2014. Tesis de doctorado. UBA, Buenos Aires.
- Herrero, M., et al. 2002. Rev. Arg. de Prod. Animal, 22 (1), 61–70.
- Herrero, M., et al. 2000. Rev. Arg. Prod. Anim. 20 (3-4), 229-237.
- Iramain, M.S., et al. 2005. Rev. InVet. 7 (1), 133–137.
- Koroša, A., et al. 2016. Sc. of the Total Environ. 571, 1419-1431.
- López Pasquali, C., et al. 2010. El agua que has de beber. Universidad de Santiago del Estero. 1° ed. Lucrecia Editorial.
- Maldonado, L., et al. 2013. Agua Subterránea Recurso Estratégico - Tomo II - 2013. Ed. La Plata: EDULP. ISBN: 987-1985-04-5.
- Pérez Espejo, R.H. y Aguilar Ibarra, A. 2012. Agricultura y contaminación del agua. 1° ed. UNA de México, Instituto de Investigaciones Económicas. ISBN: 978-607-02-3550-4.
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, Argentina, 1991. Ley 24.051 de Desechos Peligrosos (decreto reglamentario 831/93).
- Taverna, M. y Fariña, S. 2014. La producción de leche en Argentina. Anuario de la lechería Argentina. FunPEL, 43 pp.
- Urrutia Perez, R., et al. (2003). Los recursos hídricos, una perspectiva global e integral. Buenos Aires, Argentina, INET- GTZ.
- USEPA. 2009. National Primary Drinking Water Regulations. <http://water.epa.gov/drink/contaminants/upload/mcl-2.pdf>.
- Vivot, E.P., et al. 2010. AUGMDOMUS, 2:1-15. ISSN: 1852-2181.

# CONTRIBUCIÓN SOBRE DISEÑO DE ESTRUCTURAS PARA MONTAR PANELES SOLARES EN ZONAS URBANAS

Autores: Walter R. Tonini<sup>(1)</sup> Hernán G. Asís<sup>(2)</sup> Marcelo O.I. Castellano<sup>(3)</sup>  
Tutor: Diego M. Ferreyra<sup>(4)</sup>

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco  
<sup>(1)(3)</sup> DeSiMec (Grupo de investigación y desarrollo de Simulaciones mecánicas)  
<sup>(2)(4)</sup> GISEner (Grupo de Investigación Sobre Energía)  
Avenida de la Universidad 501 (2400) San Francisco. Provincia de Córdoba. ARGENTINA.  
<sup>(1)</sup> wtonini@sanfrancisco.utn.edu.ar <sup>(2)</sup> hernanasis@gmail.com <sup>(3)</sup>  
mcastellano@sanfrancisco.utn.edu.ar <sup>(4)</sup> dferreyra@sanfrancisco.utn.edu.ar

## Resumen

El presente trabajo propone y clasifica varios factores involucrados en la selección del lugar y el diseño de estructuras para instalaciones de paneles solares fotovoltaicos; estima el comportamiento de la irradiación solar en la región de San Francisco y aporta con simulaciones MEF (Método de Elementos Finitos) al diseño, cálculo y optimización del dimensionamiento mecánico de una estructura portante y de montaje, para paneles solares fotovoltaicos en carácter de servicio para consumo interno o domiciliario y conectados a la red eléctrica en áreas urbanas; donde cobra interés encontrar una armonía entre la instalación de los paneles solares y los espacios edilicios ya existentes; enmarcado como parte de la implementación del proyecto IRESUD [1], y de los proyectos de investigación y desarrollo código ENUTNSF0003648 [2] y IPUNSF00039933993 [3], ambos de la Facultad Regional San Francisco de la Universidad Tecnológica Nacional. De la experiencia obtenida se presenta *i)* los factores intervinientes en el montaje de instalaciones solares fotovoltaicas para ayudar a la selección de lugares urbanos de forma sencilla y correcta, *ii)* definición de los puntos críticos para el análisis de las radiaciones solares a tener en cuenta para cualquier instalación de paneles solares urbana en San Francisco y región, y *iii)* se exhibe un tipo de estructura portante tipo galería ya verificada, conforme a los requerimientos climáticos de la zona.

**Palabras claves:** ENERGÍAS ALTERNATIVAS, ENERGÍAS RENOVABLES, ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA, ESTRUCTURA PORTANTE PARA PANELES SOLARES, INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS.

## Introducción

La Tierra funciona como una gran máquina térmica que recibe la radiación solar y la transforma en diferentes formas de energía que tienen como ventajas la de ser inagotable, gratuita y no lesiva al medio ambiente, pero cuenta también con los grandes inconvenientes de ser dispersa y aleatoria. En La Cumbre de la Tierra que se llevó a cabo en Río de Janeiro el año 1992 convocada por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) [4], los países participantes asumieron compromisos concretos respecto a la prevención y mitigación de los problemas medioambientales. El desarrollo de paneles solares fotovoltaicos fue pionero, a costa de elevados precios. A través de los años, los decrecientes costos de fabricación los hicieron económicamente viables, no solo una fuente limpia y renovable. Esto impulsa a retomar el desarrollo y compromiso de políticas ambientales globales, como las recientes cumbres de París (COP 21, en 2015) [5] y de Marruecos (COP 22, en 2016) [6]. Argentina ha adherido a estos compromisos [7], motivo por el cual se está trabajando localmente en legislación y normativa para impulsar proyectos de generación renovable que atiendan esas necesidades. La promoción que se está dando en nuestro país está bien orientada para fortalecer la formación de recursos humanos especialistas en el tema y una mano de obra a la altura para afianzar el uso de estas energías renovables. No se ha dado el mismo impulso a la normativa y no hay actualmente regulación sobre la manera de instalar paneles solares fotovoltaicos, por lo que proponemos aquí algunos factores principales y presentamos un ejemplo que sirva como guía a los que intentan incursionar en esta temática; ya que elegir el lugar donde instalar paneles solares no es trabajo menor. En instalaciones de cualquier tamaño, la cercanía de arbolado y de construcciones edilicias puede ocasionar serios problemas de rendimiento a una

instalación solar, a causa de la sombra que pueden proyectar en ciertas épocas del año; al igual que una mala disposición de los paneles.

### **Metodología y consideraciones preliminares**

Cuando se utiliza un panel solar fotovoltaico tipo celda, se debe considerar la manera en que se unen a la estructura sustentadora de una forma segura y confiable para que aseguren el buen funcionamiento durante los años de vida útil de los paneles, con el menor mantenimiento posible. Desde un punto de vista económico, la estructura simple contará con el menor costo para facilitar la recuperación de la inversión inicial que demandan este tipo de instalaciones.

El desarrollo de estos proyectos debe ser un proceso integrador entre *i)* el diseño de sistemas eléctricos de diferentes potencias para cubrir distintos requerimientos de consumo, *ii)* la selección del lugar y *iii)* el diseño, cálculo y montaje de estructuras, contemplando tanto el dimensionamiento operativo como la integración arquitectónica de las instalaciones.

En el caso particular de la instalación piloto [8] en la UTN-FR San Francisco se optó un lugar sobre el edificio luego de simular el impacto de la radiación solar en los meses críticos de verano e invierno; diseñando una estructura en forma de galería o tejado que permite la integración con el edificio, una sencillez de montaje y la seguridad de ser observada por visitantes, son algunas de las ventajas logradas. También se realizó un Anteproyecto de un solárium a instalar en la empresa WEG Equipamientos Eléctricos S.A. dentro del Parque Industrial de San Francisco donde se realizaron análisis de 8 zonas posibles de instalación, dando oportunidad para ampliar y verificar el método de los factores intervinientes aquí propuestos [9].

De la experiencia obtenida se presenta *i)* una forma de ponderar de los factores intervinientes en el montaje de instalaciones solares fotovoltaicas para ayudar a la selección de lugares urbanos de forma sencilla y correcta, *ii)* definición de los puntos críticos a tener en cuenta para cualquier instalación de paneles solares urbana a realizarse en San Francisco y región, por último *iii)* se exhibe el diseño y la verificación de un tipo de estructura portante tipo galería ya optimizada, conforme a los requerimientos climáticos de la zona.

### **Ponderación de los factores**

En cualquier instalación solar fotovoltaica se debe delimitar claramente el mejor sitio. Se desarrolla una metodología fácil y sencilla de emplear, basada en la aplicación de ponderaciones a factores cualitativos con el fin de reconocer y seleccionar la zona óptima de instalación. Se propone los siguientes factores como los más relevantes a tener presentes a la hora de seleccionar y decidir la mejor ubicación para una instalación solar fotovoltaica en zonas urbanas:

#### *i)* Sombreado

Pondera el efecto negativo de las proyecciones de las sombras causadas por árboles, edificios u otro objeto sobre la zona evaluada. Como es el factor principal, se amplía este concepto en la sección "Puntos críticos para el análisis de las radiaciones".

#### *ii)* Distancia al punto de consumo

La eficiencia eléctrica de una instalación solar fotovoltaica, depende de la suma de las eficiencias de los componentes que la integran. El rendimiento de los paneles fotovoltaicos está fijado por la naturaleza y fabricación del mismo que ronda el 16% [10]; el equipo inversor necesario para gestionar la energía de forma segura tiene un rendimiento alrededor de los 95% según fabricante [11]; rendimiento del banco de baterías (en caso de poseer) y el rendimiento del conexionado eléctrico de todos los componentes, incluyendo accesorios para maniobra. Este último es en el que podemos trabajar y debemos asegurarnos de que distancia entre las acometidas de los paneles y del punto de consumo sea la mínima posible; minimizando de esta forma las pérdidas de tipo  $I^2R$  en los conductores.

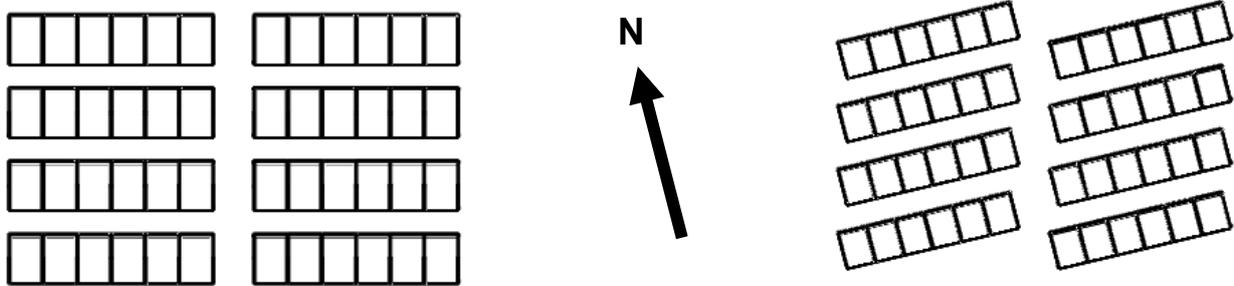
#### *iii)* Complejidad de estructura y obra civil involucrada.

Una estructura sencilla es seguramente la que impacte de forma positiva en el costo total de la instalación. La necesidad de obras de aspecto civil encarece la instalación al igual que un complejo estilo arquitectónico. Desde el punto de vista económico se debe tener precaución con los costos estructurales ya que incrementarían el tiempo del retorno de la inversión inicial.

Se debe tener en cuenta que el aumento de la temperatura ambiente alrededor de los paneles influye negativamente en la eficiencia del mismo, por lo que disipar el calor sobre tejados o techos de chapa toma importancia; Ej. Ponderar cuán cercado están los paneles.

iv) Orientación cardinal

Para asegurar el rendimiento de los paneles fotovoltaicos es conveniente alinearlos en la dirección Norte-Sur. No es conveniente complejizar la instalación ni su fabricación o montaje para que respete estrictamente esta dirección, se puede tolerar unas pequeñas desviaciones sin grandes pérdidas de energía [12]. La siguiente figura muestra este concepto con un ejemplo de una instalación con 48 paneles (representados por rectángulos):



a) Estructura sencilla, no alineada al Norte

b) estructura compleja, alineada con el Norte.

Fig. 1: Ejemplo sobre disposición de estructuras

v) Ángulo de inclinación de los paneles

Los paneles tienen mejor funcionamiento cuando la radiación solar es perpendicular a la superficie de absorción. Si nos situamos sobre el ecuador del planeta, no tendríamos que preocuparnos ya que este ángulo de incidencia es constante todo el año. Al alejarnos del ecuador y para la latitud de nuestra zona, el ángulo de incidencia varía con los solsticios de invierno y verano. En caso de implementar un mecanismo de seguimiento solar para los paneles, impactaría en la inversión inicial.

De implementar una estructura fija, un ángulo promedio  $\alpha = 27^\circ$  respecto al piso brinda un óptimo aprovechamiento en esta latitud del planeta, siendo poco significativo la pérdida de irradiación producida por no seguir al sol durante la integración de todo el año [13].

vi) Otros factores: La facilidad para una ampliación a futuro, la necesidad de poder realizar divisiones o grupos de paneles; pueden tomar importancia y deben introducirse al análisis.

A continuación, se expone el método de 6 pasos a seguir para utilizar estos factores propuestos, utilizando el trabajo realizado para dos lugares posibles de instalación, como se muestra:

Tabla 1: Ejemplo de selección del lugar de instalación

FACTORES RELEVANTES  (entre paréntesis los criterios de ponderación orientativos)	Lugar	Opción A		Opción B	
	Factor de ación	10) Calificación	ada Calificación	10) Calificación	ada Calificación
SOMBREADO (1 a 5: sombra parcial en el horario de 10 a 14hs.; 6 a 9: sombra parcial; 10: sin sombra)	90	2	180	10	900
DISTANCIA DE CONEXIÓN (10: menos de 5m; restar 1 punto cada 5m)	80	1	80	10	800
NECESIDAD DE OBRA CIVIL (1: gran cambio; 5: leve; 10: no necesita)	80	5	400	3	240
COMPLEJIDAD DE LA ESTRUCTURA NECESARIA (1: estructura compleja; 5: estructura de complejidad moderada; 10: estructura simple)	50	1	50	10	500
ORIENTACIÓN CARDINAL Norte-Sur (5: leve desviación; 10: coincide)	10	5	50	10	100
POSIBILIDAD DE AMPLIACION A FUTURO (1 a 4: necesidad de grandes cambios; 5 a 9: necesidad de cambios mínimos; 10: sin cambio)	50	10	500	4	200
IMPACTO/ESTÉTICA VISUAL (1 a 5: normal; 6 a 8: bonito; 9 a 10: bello)	75	5	375	8	600
DIVISIONES DE PANELES POR GRUPOS (1: indivisible; 10: divisible)	10	10	100	10	100
<b>Total, ponderado por lugar</b>			<b>1735</b>		<b>3340</b>

- 1°) En FACTORES RELEVANTES: El primer paso es definir todos los factores involucrados, listarlos y ponderarlos según el criterio explicado para cada factor.
- 2°) En LUGARES: se nombran los potenciales lugares a instalar los paneles, ej.: "A".
- 3°) FACTOR DE PONDERACIÓN: se debe definir claramente y cuantificar de 10 a 100 la importancia que tiene cada factor relevante que se propuso.
- 4°) En CALIFICACIÓN: el analista es quien determina cuán bien o mal se adapta el LUGAR al respectivo FACTOR RELEVANTE, utilizando una escala de 1 a 10.
- 5°) CALIFICACIÓN PONDERADA: es simplemente el producto entre el FACTOR DE PONDERACIÓN ASIGNADO y la CALIFICACIÓN del analista.
- 6°) El LUGAR con mayor CALIFICACIÓN PONDERADA es la que resulta óptima (en este ej. es B).

### Puntos críticos para el análisis de las radiaciones

El primer aspecto necesario en cualquier instalación es el no solapamiento de los paneles. La separación de los módulos con orientación Norte-Sur sobre superficies horizontales se puede calcular sencillamente y con un error aceptable de la forma sugerida por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) de Madrid [13]:

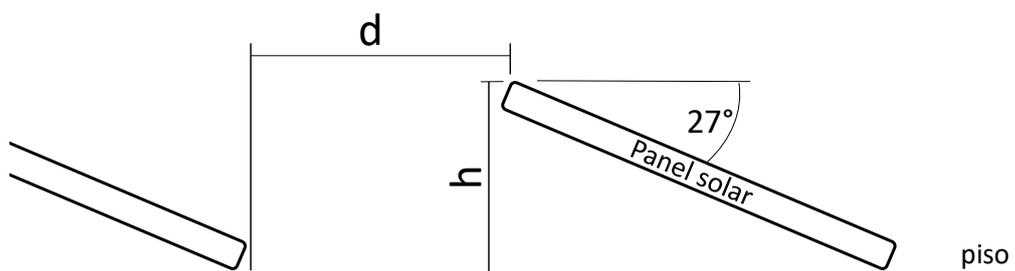


Fig. 2: Esquema en vista lateral para el cálculo de las distancias de sombras.

$$d = h / \tan (61^\circ - \theta^\circ) \quad (1)$$

Donde:

$d$  : distancia mínima entre paneles.

$h$  : Altura que provoca la sombra.

$\theta$  : Latitud en la zona a evaluar la instalación. En San Francisco  $31,4^\circ$ .

El ángulo de  $27^\circ$  expresa el promedio entre los ángulos de solsticio de invierno y el de verano en la región de San Francisco, Provincia de Córdoba, dependiente de la latitud. Para extender el análisis a otras regiones es necesario recalcular este parámetro [14].

De igual forma, es posible realizar una simulación sobre la proyección de las sombras en los solsticios de invierno y verano que son los críticos, considerando los objetos circundantes.

### Requisitos para la estructura portante

Se propusieron modelos matemáticos y se seleccionaron los más adecuados para describir el comportamiento estructural y se los analizó con herramientas ya disponibles en grupo de la facultad por medio de simulaciones que utilizan el método de elementos finitos. Se desarrolló un modelado basado en elementos de vigas sobre la estructura portante de paneles solares y se diseñó el alternativo que optimice los esfuerzos estructurales; teniendo en cuenta la relación costo-resistencia.

#### *Criterio de integridad estructural*

El diseño o modificación de cualquier componente mecánico, máquina o mecanismo debe asegurar la integridad de las personas que lo operan, mantienen o deambulan a su alrededor. Es por esto que nos valimos de las herramientas modernas para realizar simulaciones sobre distintos estados de carga y sollicitación para la estructura portante de la instalación solar que deseamos proyectar; considerando el peso propio de la estructura y principalmente la integridad frente a cargas extremas como las generadas por condiciones atmosféricas de los vientos huracanados. Y como en toda estructura, mantener el nivel controlado de deformaciones y posibles vibraciones en condiciones de servicio.

### Condiciones ambientales

La gran superficie necesaria para captar la energía solar influye negativamente sobre la resistencia estructural al considerar la fuerza que generan los vientos huracanados presentes en la región de San Francisco en esporádicas ocasiones. Tomando como referencia la norma EPEC ET1003 [15] donde especifica para la provincia de Córdoba que las sobrecargas por viento en la condición de viento máximo sobre superficies planas, se puede calcular la fuerza  $F$  que trasmite el viento a través de los paneles y solicita a la estructura de la siguiente forma:

$$F = P / Sn \quad (2)$$

$$\text{Siendo } Sn = a(l \sin \alpha) \quad (3)$$

Donde:

$F$  : Fuerza ejercida por el viento sobre los paneles en dirección del viento, en  $Kg$ .

$P$  : Según norma, presión de  $118 Kg/m^2$

$Sn$  : Superficie normal proyectada del panel a la dirección del viento.

$a$  : Ancho del panel, en metros.

$l$  : Largo del panel, en metros.

$\alpha$  : Ángulo respecto a la horizontal, recomendado para instalaciones fijas  $27^\circ$ .

Se realizaron simulación en estado estático por medio de elementos finitos tipo viga, con software de origen comercial disponible en la facultad, donde se obtuvieron las verificaciones de la estructura portante optando por las condiciones climáticas más desfavorables [3] [16].

### Recomendaciones de los diseños

La búsqueda de un diseño sencillo y efectivo conlleva a una fabricación y armado de igual magnitud de simpleza, brindando confiabilidad a la hora del uso y con potencial baja en gastos de mantenimiento. Tratar de utilizar componentes normalizados y de fácil adquisición, lo que hace factible el recambio de las piezas y su disponibilidad en cualquier lugar.

### Caso Instalación piloto

A continuación, se expone como ejemplo la verificación aprobada y en estado deformado para el escenario más crítico con vientos huracanados actuando sobre la estructura portante de la instalación piloto en la UTN-FR San Francisco; donde se optó por una estructura en forma de galería o tejado que permite la integración con el edificio [17].

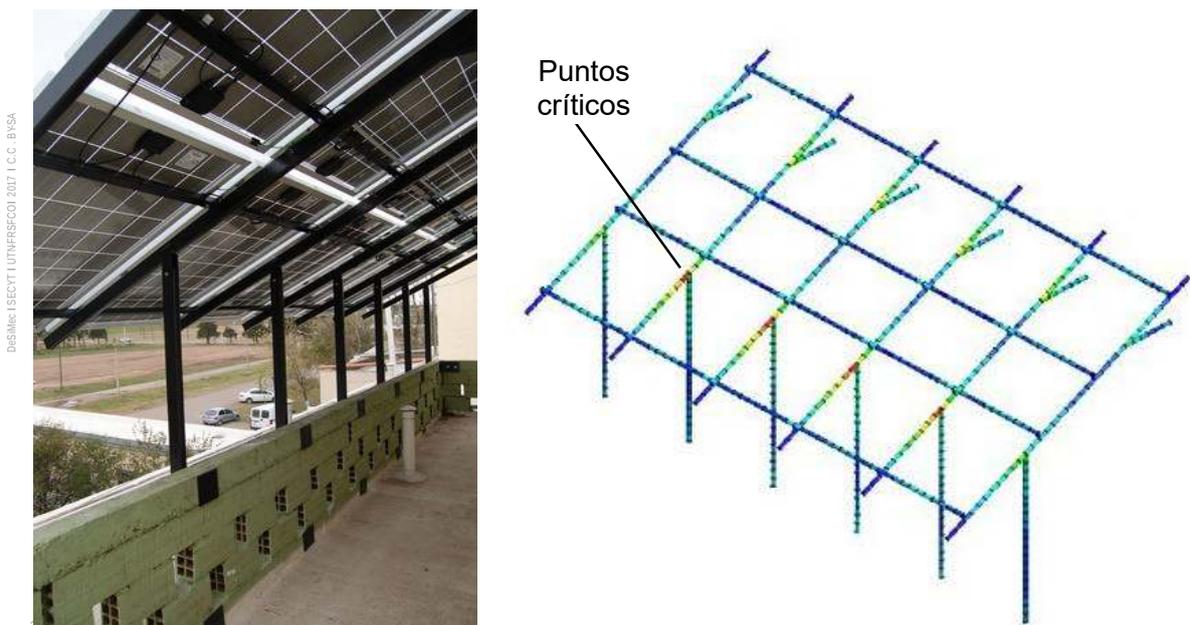


Fig. 3: a derecha la estructura real, a izquierda el resultado de la simulación que muestra la parte más solicitadas.

## Conclusiones

De las experiencias realizadas se obtuvo un método sencillo para ayudar y orientar a quienes necesiten desarrollar una instalación solar fotovoltaica en zonas urbanas del centro del país, logrando identificar los factores más importantes -listados en la tabla 1- que permiten seleccionar el lugar óptimo para ubicar la instalación; además, brinda un camino básico para calcular la orientación y la alineación de los paneles solares fotovoltaicos en cualquier instalación. En cuanto a la estructura portante existen variadas formas de diseño; en cada una se debe calcular la resistencia estructural contemplando los factores climáticos y las recomendaciones expuestas, focalizando en disminuir el mantenimiento durante los años de vida útil, como se logró en el caso expuesto de la instalación piloto. Se logró fomentar la formación específica de recursos humanos dentro de la facultad y generar la iniciativa en el sector privado de la zona para adoptar esta tecnología de energía renovable mediante seminarios y charlas.

## Agradecimientos

Los autores agradecen al grupo de la UTN-FR San Francisco GISEner (Grupo de Investigación sobre Energía) por compartir los datos de su instalación piloto.

Este trabajo se financió parcialmente con el PID (Proyecto de Investigación y Desarrollo) "Diseño y simulación de modelos estructurales destinados a la industria", desarrollado en la Facultad Regional San Francisco de la UTN, homologado por Rectorado de UTN con el código IPUNSF0003993.

## Referencias

- [1] <http://www.iresud.com.ar/>
- [2] "Inyección de energía de paneles solares fotovoltaicos a la red eléctrica", Rectorado UTN, cód. ENUTNSF0003648. Del 01/01/2015 al 30/04/2018.
- [3] "Diseño y simulación de modelos estructurales destinados a la industria", Rectorado UTN, cód. IPUNSF0003993. Del 01/05/2016 al 31/12/2016.
- [4] Oficialmente, "2.ª Conferencias de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo", Río de Janeiro, Brasil. 03 al 14/06/1992.
- [5] Oficialmente, "21.ª Conferencia de las Partes de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático", París, Francia, 30/11/2015 al 11/12/2015.
- [6] Oficialmente, "22.ª Conferencia de las Partes de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático", Marrakech, Marruecos, 07 al 18/11/2016.
- [7] Ley Argentina número 27191: modificaciones a la Ley 26190, "Régimen de Fomento Nacional para el uso de Fuentes Renovables de Energía Destinada a la Producción de Energía Eléctrica".
- [8] Diario La Voz de San Justo, "Paneles solares de UTN: a dos años de la primera instalación en una universidad de Córdoba", San Francisco, Córdoba, 11/08/ 2017.  
Disponible: <http://www.lavozdesanjusto.com.ar/noticias/articulo/los-paneles-solares-de-utn-cumplieron-su-segundo-aniversario-24990> .
- [9] "Convenio con WEG por proyecto de instalación solar fotovoltaica", GISEner, UTN-FR San Francisco, 11/03/2017. Disponible: <https://www.sanfrancisco.utn.edu.ar/noticia/convenio-con-weg-por-proyecto-de-instalacion-solar-fotovoltaica-611>
- [10] Catálogo técnico, Canadian Solar, disponible: <https://www.canadiansolar.com/>
- [11] Catálogo técnico, AEG Protect PV 2800, AEG Power Solutions GmbH, Disponible: <http://pdfstream.manualsonline.com/f/f7f29d61-f105-4f35-a3fc-277d4633d1df.pdf> .
- [12] D. Ferreyra, A. C. Sarmiento, G. Szwarc, N. Rocchia, "Energía solar fotovoltaica con conexión a red en la zona central de Argentina", 1er. Congreso Latinoamericano de Ing., Paraná, 15/09/2017.
- [13] Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red, IDAE, 2011, disponible: [http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_5654\\_FV\\_pliego\\_condiciones\\_tecnicas\\_instalaciones\\_conectadas\\_a\\_red\\_C20\\_Julio\\_2011\\_3498eaaf.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_5654_FV_pliego_condiciones_tecnicas_instalaciones_conectadas_a_red_C20_Julio_2011_3498eaaf.pdf) .
- [14] H. Grossi Gallegos y R. Righini, "Ángulo Óptimo para planos colectores de Energía Solar integrados a Edificios", Avances en Energías Renovables y Medio Amb., vol. 16, pp. 04.01-07, 2012.
- [15] EPEC, ET1003 "Líneas aéreas de alta tensión", Oficina de Normalización, 31/10/1997, disponible: <https://www.epec.com.ar/docs/educativo/normasT/ET1003.PDF>
- [16] Damia, David y Bergero, Joaquín F., "Diseño y simulación de una estructura para instalación solar piloto", Transferencia a cátedra Elementos de Maquinas, UTN-FR San Francisco, 13/09/2017.
- [17] Ferreyra, Diego M.; Tonini, Walter R.; Asís, Hernán G.; y Vignolo, Diego A., "Diseño e instalación de una estructura portante para paneles solares fotovoltaicos con fines didácticos", COPUCI 2015, Paraná, Argentina, 21 al 23/10/2015, sesión de pósteres (2015).

# DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA ESTRUCTURA PARA INSTALACIÓN SOLAR PILOTO.

**Autores:** David Damia <sup>(1)</sup>, Joaquín F. Bergero <sup>(2)</sup>  
**Tutor:** Walter R. Tonini <sup>(3)</sup>

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.

<sup>(1)</sup> david.utn.em@gmail.com <sup>(2)</sup> jfbergero@yahoo.com.ar <sup>(3)</sup> wtonini@sanfrancisco.utn.edu.ar

## Resumen

El proyecto llevado a cabo en base al PID UTN: 3993 tiene en sus objetivos el estudio, diseño, simulación y optimización de una estructura que fue desarrollada para soportar los paneles solares fotovoltaicos en una instalación piloto dentro de la UTN-FR San Francisco. Lo que pretendemos llevar a cabo es corroborar el dimensionamiento de los materiales utilizados; no solo en condiciones estáticas considerando el peso de los paneles y la estructura propiamente dicha, sino también teniendo en cuenta las cargas que pueden llegar a generar las condiciones climáticas predominantes en la zona, adoptando los mismos parámetros y consideraciones que se utilizan en el estudio de postes y tendidos eléctricos según la norma E.T. 1003 de EPEC en sobrecarga por viento en condiciones de viento máximo.

Para el estudio de la estructura se realizaron distintos cursos de SolidWorks para aprender a manejar correctamente el software en estudio por elementos finitos y se fueron realizando ejercicios de manera progresiva hasta llegar al estudio en cuestión.

Se realizaron distintos informes proporcionados por el programa y se los analizaron en conjunto con los conocimientos adquiridos en distintas materias para el análisis de estructuras para corroborar su correcto funcionamiento.

Se concluye que todos estos estudios y simulaciones aportan positivamente a brindar la información necesaria en la construcción de diversas estructuras sin la necesidad de recurrir a ensayos destructivos y facilitando el trabajo de los cálculos matemáticos, implementando el software y los estudios realizados por el método de elementos finitos. Solo debemos prestar especial atención a los resultados que el mismo nos da y realizar la correcta evaluación con los fundamentos teóricos que corresponden y sean necesarios para una verídica conclusión del estado final de resistencia.

En cuanto a la estructura portante de los paneles se llegó a la conclusión de que utilizando los materiales sugeridos y su diseño, la misma se encuentra en buenas condiciones de resistencia ante las cargas provenientes de vientos, es decir fue corroborado positivamente.

**Palabras clave:** estudio, diseño, simulación y optimización- SolidWorks - elementos finitos – estructura.

## Introducción

El estudio se realizó por medio de un software que poseemos en la facultad donde se realizó el modelado en 3D de los distintos componentes y la estructura portante completa para luego poder pasar a la etapa de evaluación mediante simulaciones por el método de elementos finitos.

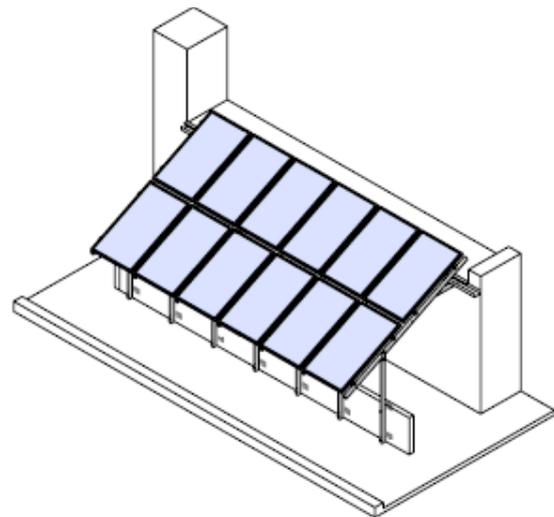
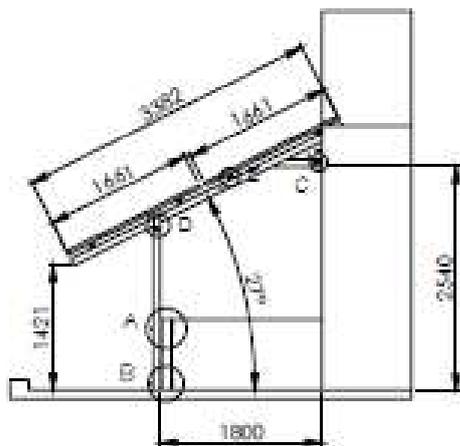
Primeramente se tomó conocimiento sobre la manera de trabajar del programa realizando cursos específicos, para luego poder simular pequeños y sencillos casos prácticos como una barra de metal de sección circular y otra cuadrada; evaluando comparativamente con los resultados analíticos. La complejidad fue dosificada de manera progresiva, aplicando el estudio en primer

lugar sólo a una sección de la estructura considerando sólo el peso propio, luego de la misma manera se estudiara la estructura completa. Proseguiremos con el estudio sumando el peso de los paneles solares utilizados en el proyecto con todos los agregados que estos necesiten para su correcto funcionamiento y finalmente se tendrá en cuenta las cargas por influencia del viento, introducidas al programa como una carga estática calculada con anterioridad según norma anteriormente mencionada. Se utilizaron y evaluaron distintos tipos de elementos finitos en el modelado, concluyendo en utilizar elementos vigas por su mejor comportamiento y el menor tiempo de ejecución de todas las fases del estudio planteado.

La estructura para el montaje de paneles solares analizada ya se encuentra en operación, el trabajo que se realizó fue verificar si soportaría las cargas a las cuales podría estar solicitada frente a las peores condiciones climáticas que pueden presentarse en la zona donde fue instalada. [1]

Para ello se utilizaron los mismos métodos de cálculo con los cuales se verifican los dimensionamientos de postes y tendidos eléctricos según norma EPEC-ET1003, 1997 [2]. La misma debe soportar no solo su peso propio sino que además el peso de los 12 paneles solares montados sobre ella con el ángulo correspondiente y la descomposición de las fuerzas generadas por el viento sobre dichos paneles.

En la imagen mostrada a continuación se muestra la estructura en cuestión [3], conformada por caños estructurales rectangulares 40 x 80 x 3,2 mm. Empotrados en las distintas paredes y sobre la misma unos rieles C para la sujeción de los paneles solares fotovoltaicos.



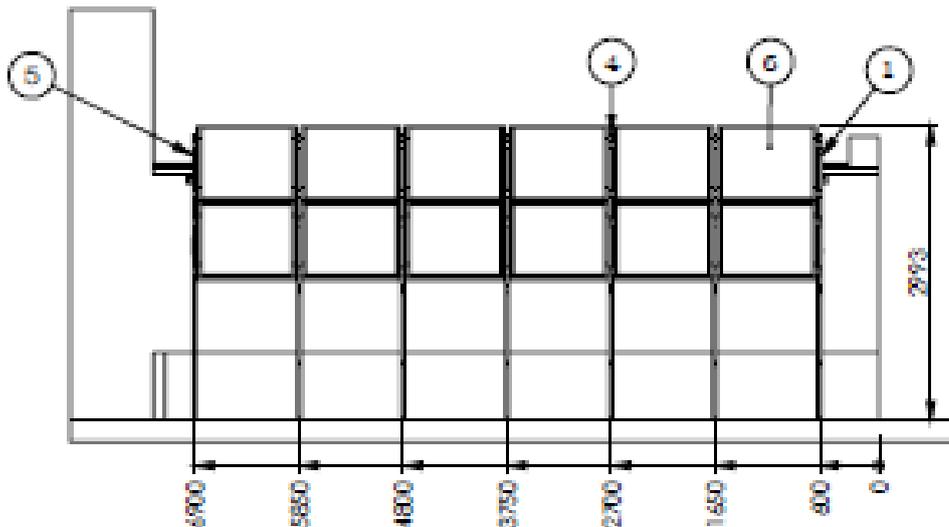


Fig 1: Esquema y dimensiones de la estructura portante

## Procedimiento

### Modelado de la estructura en SolidWorks

Se realizó un relevamiento de la estructura realizada por el grupo GISEner para el montaje de los paneles solares. Luego se continuó con el diseño a través de SolidWorks Simulations® [4], utilizando para la facilidad de los cálculos los elementos Shell o viga.

### Cálculos principales

En primer lugar se procedió a hacer los cálculos manuales para obtener las cargas a la que la estructura estaba solicitada y además se obtuvieron datos de la misma como ser su peso en tablas brindadas por el programa.

Tabla 1: Propiedades físicas:

Propiedades de masa de conjunto 6 partes
Densidad = 0.01 gramos por milímetro cúbico
Masa = 257299.81 gramos
Volumen = 32987155.22 milímetros cúbicos
Área de superficie = 23608749.86 milímetros cuadrados
Centro de masa: (milímetros)
X = 2625.00
Y = 1948.70
Z = -453.11

Luego utilizando la norma ET 1003 de EPEC [1] se realizó lo siguiente:

La sobrecarga (F) producida por el viento se calculará con las siguientes fórmulas:

Sobrecarga por viento en la condición de viento máximo:

Para superficies o elementos planos:

$$F = P \times S_n \text{ con } P = 118 \text{ kg/m}^2$$

(1)

$S_n$ : Proyección normal a la dirección del viento de las superficies o elementos expuestas, planas o cilíndricas, en  $\text{m}^2$ .

NOTA: Para tales estructuras como postes dobles, pórticos y reticulados, las superficies de partes ocultas por otras, en dirección del viento, se considerarán según su área total si la separación entre ambos elementos fuera mayor que 4 veces el ancho de la superficie anterior y según la mitad de su área total si la separación fuera 4 veces o menor.

La sección proyectada del conjunto de paneles es de 5,28 m de longitud por 1,54 m de alto.

Con lo que obtenemos una fuerza resultante=

$$F = 118 \text{ kg/m}^2 \times (5,28\text{m} \times 1,54 \text{ m}) = 959,12 \text{ kg} \quad (2)$$

$$\text{Fuerza Horizontal} = 959,12 \text{ kg}$$

Peso estructura completa= 260 kg aproximadamente obtenidos por software

$$\text{Peso estructura completa más peso de 12 paneles} = (12 \times 18 \text{ kg}) + 260 \text{ kg} = 476 \text{ kg} \quad (3)$$

$$\text{Fuerza vertical} = \text{Fuerza Horizontal } 959,12 \text{ kg} \times \text{tg}(27^\circ) + \text{peso total} \quad (4)$$

$$\text{Fuerza vertical} = 964,70 \text{ kg}$$

Fuerza horizontal en los parantes

$$\text{Sección parantes} = 1,9 \text{ m} \times 0,04 \text{ m} = 0,076 \text{ m}^2 \quad (5)$$

$$F = 118 \times 0,076 = 8,96 \text{ kg} \times 6 \text{ parantes} = 53,81 \text{ kg} \quad (6)$$

$$\text{Fuerza en los parantes} = 53,81 \text{ kg}$$

### Carga de datos al programa

Una vez obtenidas las propiedades físicas y realizadas todos los cálculos se cargó toda esta información al programa en un estudio estático para su posterior análisis.

Los datos brindados al programa además del modelado 3d para correr el estudio con elementos finitos fueron: Material, Juntas, Conexiones, Sujeciones, Cargas y propiedades de mallado.

Tabla 2: Características del Material: Acero al carbono no aleado.

PROPIEDADES	VALOR	UNIDAD
Módulo elástico	2141391	kgf/cm <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson	0.28	N/D
Módulo cortante	805570.9	kgf/cm <sup>2</sup>
Densidad de masa	0.0078	kg/cm <sup>3</sup>
Límite de tracción	4077.065705	kgf/cm <sup>2</sup>
Límite elástico	2249.419077	kgf/cm <sup>2</sup>
Coefficiente de expansión térmica	1.3e-005	/°C
Conductividad térmica	0.102772	cal/(cm·s·°C)
Calor Específico	105.163	cal/(kg·°C)

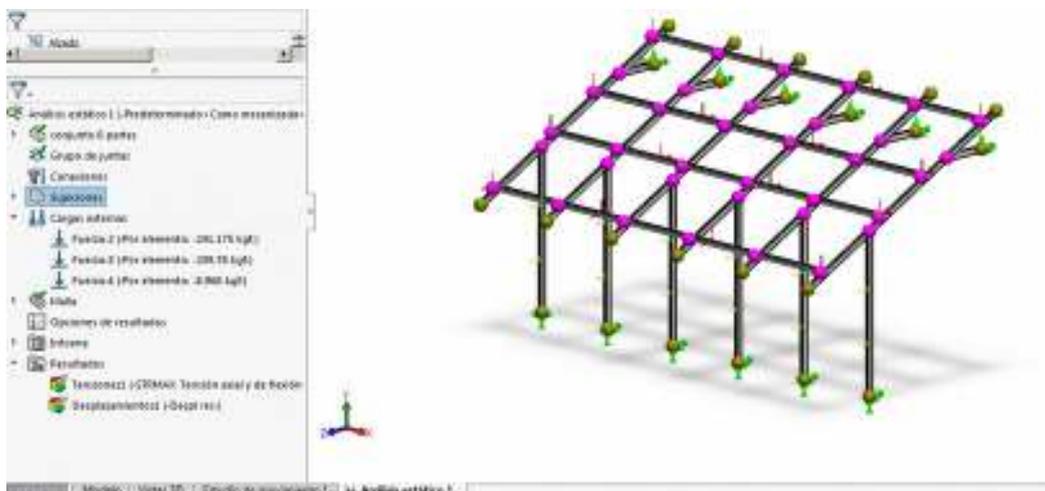


Fig. 2: Restricciones de movimientos y cargas aplicadas

Una vez finalizados los pasos mencionados anteriormente se realizó el estudio a través del programa, el cual ejecutó de manera automática las ecuaciones diferenciales para estudiar la estructura con elementos finitos.

El software nos brinda los datos que utilizó para resolver el problema:

Tabla 3: Datos de salida para postanálisis

Tipo de malla	Malla de viga
Número total de nodos	502
Número total de elementos	494
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:11

### Fuerzas resultantes

Tabla 4: Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-5.60284e-006	9460.47	9933.43	13717.6

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	670.385	-0.00475955	-0.000913714	670.385

Una vez generado todos los estudios mediante software comercial se crean informes donde se cargaran todos los resultados obtenidos y de esta manera poder comparar el avance del proyecto. Utilizando los conocimientos de resistencia de materiales se podrá evaluar si dicha estructura posee una buena resistencia para cumplir con su cometido o necesita ser revisada para poder soportar todas las carga a las que se encuentra solicitada sufriendo la deformación admisible, este paso lo llamamos optimización del diseño.

### Análisis de resultados

Observamos los resultados arrojados por el programa:

Tabla 5: Resultados del software en nodos críticos

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	TXY: Tensión cortante en dir. Y en plano YZ	0 kgf/cm <sup>2</sup> Elemento: 471	394.391 kgf/cm <sup>2</sup> Elemento: 271
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0 mm Nodo: 22	2.58412 mm Nodo: 304

Podemos ver cuál es la sección de la estructura que está más sometida a las cargas y esfuerzos flectores. La estructura no corre ningún riesgo ya que la zona que soporta la mayor carga es de 394 kg/cm<sup>2</sup> y el límite elástico del material es de 2249 kg/cm<sup>2</sup>.

En cuanto a las deformaciones podemos observar que los mayores desplazamientos se dan en la parte inferior de la estructura, la zona de voladizo y el mismo es de aproximadamente 2,6 mm en las condiciones más desfavorables.

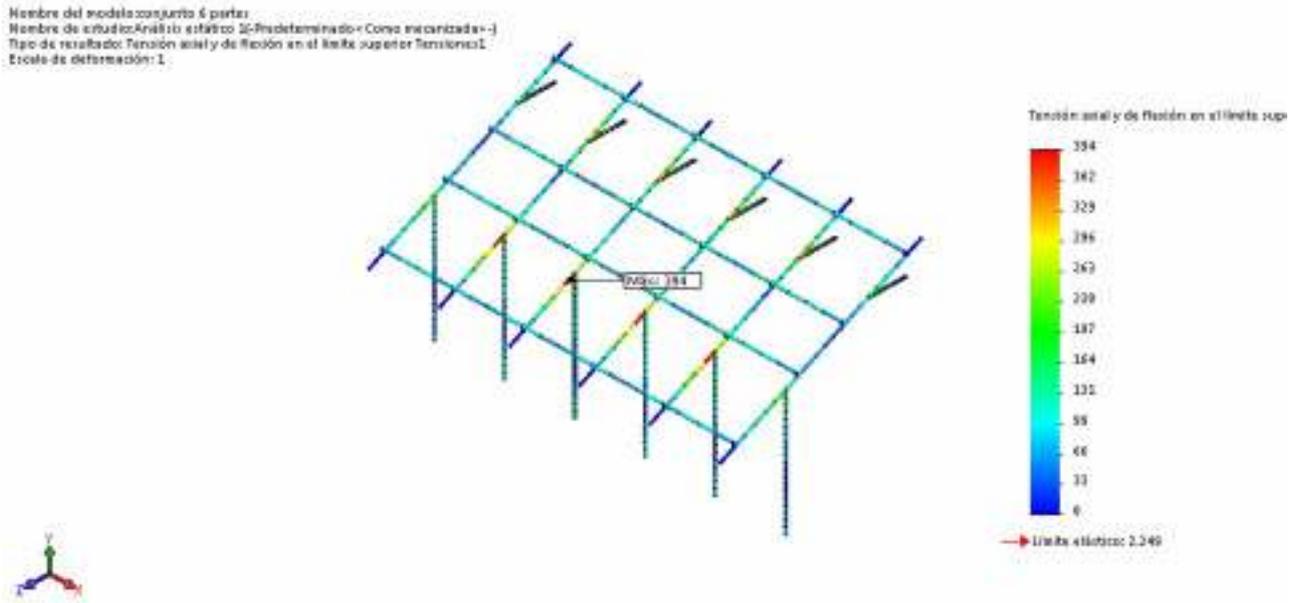


Fig. 3: Conjunto 6 partes - Análisis estático – Visualización de tensiones

## Conclusión

Para finalizar podemos decir que la estructura se encuentra no solo en buenas condiciones de funcionamiento, sino que la misma se encuentra sobredimensionada, ya que como vimos anteriormente los esfuerzos máximos que soporta están muy lejos de los límites del material. Por lo tanto, la estructura podría soportar tranquilamente las condiciones más desfavorables que se puedan presentar sin sufrir ningún tipo de inconveniente o deformación.

Además podríamos decir que la misma se podría haber construida con tubos estructurales de menor dimensión para generar costos menores en la inversión inicial sin que esta se vea afectada en su funcionamiento.

## Agradecimientos

Este trabajo se financió parcialmente con el PID (Proyecto de Investigación y Desarrollo) “Diseño y simulación de modelos estructurales destinados a la industria”, desarrollado en la Facultad Regional San Francisco de la UTN, homologado por Rectorado de UTN con el código IPUNSF0003993.

## Referencias

- [1] Ferreyra, Diego M.; Tonini, Walter R.; Asís, Hernán G.; y Vignolo, Diego A., “Diseño e instalación de una estructura portante para paneles solares fotovoltaicos con fines didácticos”, COPUCI 2015, Paraná, Argentina, 21 al 23/10/2015, sesión de pósteres (2015).
- [2] EPEC, ET1003 “Líneas aéreas de alta tensión”, Oficina de Normalización, 31/10/1997, disponible: <https://www.epec.com.ar/docs/educativo/normasT/ET1003.PDF> .
- [3] “Diseño y simulación de modelos estructurales destinados a la industria”, Rectorado UTN, cód. IPUNSF0003993. Del 01/05/2016 al 31/12/2016.
- [4] SOLIDWORKS® SIMULATIONS, 2016. Professional, Dassault Systèmes SolidWorks Corporation, Massachusetts, USA, 2016.

# ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA AIREACIÓN EN LA HIDRODINÁMICA DE FLUIDOS CON FLUJO NO IDEAL EN UN REACTOR FLUJO-PISTÓN

Jorge A. Garnero<sup>1</sup>, Silvina Daghero<sup>2</sup>, Alfonsina E. Andreatta<sup>3</sup>.

Grupo de Investigación: Efluentes Industriales. UTN Facultad Regional San Francisco.

<sup>1</sup>jgarnero64@gmail.com, <sup>2</sup>dagherosilvina@gmail.com, <sup>3</sup>alfonsinaandreatta@hotmail.com

## Resumen

Se estudiaron los efectos producidos por la incorporación de aireación en la hidrodinámica de un fluido con flujo no ideal, dentro de un reactor flujo-pistón evaluado a escala piloto con el fin de reproducir luego en el equipo el flujo de efluentes industriales en condiciones controladas para la determinación de las posibilidades de estabilización de los mismos a través de métodos naturales. Se incorporó aireación a un reactor abierto, alimentado con agua por medio de una bomba dosificadora, utilizando 2 configuraciones: una línea central; y 2 líneas paralelas colindantes con los deflectores laterales del reactor. Se analizó en cada caso la distribución de los tiempos de residencia mediante la medición de la conductividad de muestras tomadas a la salida del reactor a intervalos regulares de tiempo, luego de la inyección instantánea de un pulso de solución concentrada de cloruro de sodio a la entrada del sistema. Las curvas obtenidas respondieron al modelo de flujo no ideal, con una mayor aproximación al tiempo de residencia teórico que el obtenido sin aireación.

**Palabras Clave**— hidrodinámica, reactor flujo-pistón, flujo no ideal, aireación.

## Introducción

El diseño de los sistemas de tratamiento de aguas residuales se ha centrado fundamentalmente en el proceso bioquímico, dejando en segundo plano aspectos hidrodinámicos como las características de flujo, régimen de mezcla, tiempos de residencia, geometría del reactor, etc., los cuales influyen en el desempeño de los procesos que se llevan a cabo durante el tratamiento. El conocimiento de la hidrodinámica del sistema permitirá mejorar su eficiencia [1]. Conociendo el comportamiento del fluido dentro del reactor y el tiempo de retención hidráulico, se pretende, a futuro, evaluar la estabilización de ciertas características de efluentes industriales, como por ejemplo la demanda bioquímica de oxígeno (DBO). Además, los efectos de los patrones de flujo no ideal, pueden ser de suma importancia en la reducción de los contaminantes de las corrientes, principalmente debido a las diferencias de velocidad entre las capas de agua, donde las más lentas, interactúan fuertemente con los contaminantes generando mayor alteración química que las más rápidas [2].

Las características hidráulicas del flujo dentro de un reactor no ideal pueden ser evaluadas mediante la distribución de los tiempos de residencia (DTR). Una vez que el sistema comienza a funcionar, los distintos elementos del fluido seguirán diferentes caminos a lo largo del reactor, por lo que cada uno tardará un tiempo diferente en recorrerlo, la distribución de estos tiempos es lo que se define como distribución de los tiempos de residencia, con la finalidad de conocer la respuesta a las perturbaciones naturales o inducidas en el mismo. Estas curvas, ayudan a describir la forma y extensión de la desviación de la idealidad en el reactor.

Las curvas fueron determinadas por medio del método de estímulo-respuesta utilizando una solución concentrada de NaCl como trazador, que fue inyectada instantáneamente en la entrada del sistema, y analizada a la salida del mismo por medio de la medición de la conductividad de muestras tomadas a intervalos regulares de un minuto.

En ensayos previos, se determinó que la mayor aproximación de las curvas al modelo de flujo no ideal, se logró con un caudal de 0,133 l/min, equivalente a la configuración de la bomba dosificadora en 70 pulsos/minuto. Es por ello, que esta configuración ha sido seleccionada para la realización de los ensayos con la incorporación de aireación al sistema.

## Metodología

Los ensayos de laboratorio fueron realizados en Planta Piloto de la UTN-Facultad Regional San Francisco. El equipo utilizado para el ensayo consta de las siguientes partes constituyentes: Depósito de agua de polietileno de mediana densidad (PEMD) con tapa a rosca. Marca: Ares; capacidad: 95 l.

Bomba dosificadora electromagnética. Marca: Ares; modelo: DX-7-1-PP; regulador de caudal manual de 0 a 100 imp/min, equivalente a 0-1,5 l/h.

Reactor rectangular de vidrio con deflectores de flujo, abierto en su superficie. Capacidad: 45 l; ingreso y egreso de líquido mediante tuberías perforadas. Fig. 1.

Bomba de aire. Marca: Sobo, aquarium air pump. Modelo: SB-2800, caudal de aire: 3 l/min; presión: 0,02 MPa.

Manguera flexible de PVC perforada cada 3 cm

Conductímetro portátil, denominado Waterproof Tester. Marca: Hanna Instruments, modelo: HI98129. Rango de medición de conductividad eléctrica: 0-3999  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Jeringas de 10 ml para la inyección del trazador.

Fluido: agua proveniente de la red de agua corriente.

Trazador: 20 ml de solución de NaCl 0,5 M de concentración. La propiedad medida en el fluido a la salida del sistema fue la conductividad.

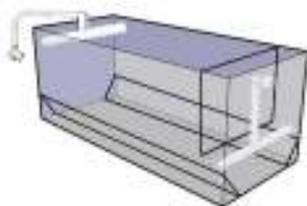


Fig. 1: Esquema del reactor.

Las configuraciones de aireación analizadas serán denominadas como *Configuración A1* y *Configuración A2*, y se describen a continuación:

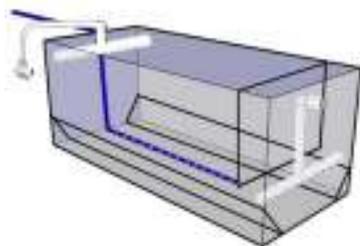
**Configuración A1:**

Se coloca en el fondo del reactor una única línea de aireación ubicada longitudinalmente en el centro de la base del mismo (Fig. 2 a). El conducto de aireación cuenta con perforaciones cada 3 cm.

**Configuración A2:**

Se realiza una bifurcación de la línea de aireación, generando dos líneas paralelas, ubicadas longitudinalmente colindantes con los deflectores de flujo laterales del reactor (Fig. 2 b). Ambas líneas cuentan con perforaciones cada 3 cm.

(a)



(b)

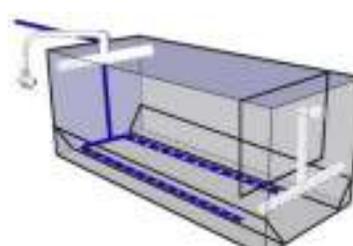


Fig. 2: Esquema del reactor con aireación en (a) Configuración A1 (b) Configuración A2.

Para la evaluación hidrodinámica del flujo dentro del reactor se tienen en cuenta determinadas variables que dependen fundamentalmente de las características del mismo y del caudal de trabajo.

En primera instancia, se define el tiempo de retención hidráulico (TRH,  $\tau$ ), cuya expresión teórica viene dada por la siguiente expresión (ec. 1)

$$\tau = \varepsilon \frac{V}{v} \quad (1)$$

Donde  $\varepsilon$  representa la porosidad del medio,  $V$  el volumen del reactor y  $v$  el caudal del fluido. Se denominará curva **C** a la respuesta normalizada del trazador en la corriente de salida frente al tiempo. Dicha normalización se logra dividiendo a  $C$  por  $Q$  (área bajo la curva concentración-tiempo), obteniendo (ec. 2)

$$\int_0^{\infty} \frac{C}{Q} dt = 1 \quad (2)$$

Donde  $Q$  viene dado por (ec. 3)

$$Q = \int_0^{\infty} C dt \quad (3)$$

En la Fig. 3 se representa la señal de salida del trazador, curva **C** para sistemas de flujo no ideal con inyección de trazador en impulso.

En la Tabla 1 se presentan las variables del sistema.

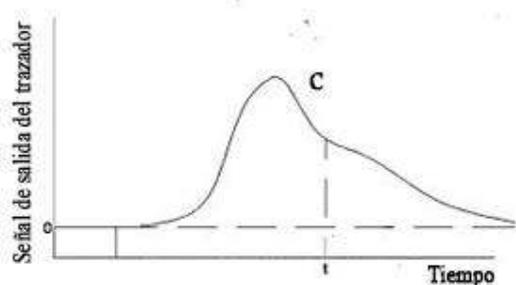


Fig. 3: Señal característica a la salida del sistema en respuesta a la inyección del trazador en la entrada.

TABLA 1: Variables consideradas durante los ensayos

Variables no controladas	Variables de control	Variables de respuesta
Condiciones ambientales (temperatura, humedad)	Caudal	Concentración de trazador a la salida
Calidad del agua	Concentración de la solución trazadora	

Para comenzar con los ensayos, se realizó el llenado del reactor y se encendió el sistema de alimentación y de aireación. El sistema se dejó en funcionamiento durante 20 minutos con el fin de lograr la estabilización del caudal, que fue medido a la salida hasta registrarse un valor constante. Una vez estabilizado el régimen de flujo del reactor, se registró la conductividad y temperatura previo a la inyección de la solución trazadora. A continuación se realizó la inyección a través de la tubería de entrada del fluido, de manera que las perforaciones permitan una distribución uniforme del trazador en el flujo de ingreso. La solución fue inyectada instantáneamente, evitando turbulencias y/o modificaciones considerables en el régimen de flujo establecido.

Inmediatamente luego de la inyección, comenzaron a recolectarse muestras de aproximadamente 50 ml cada 1 minuto, a las cuales se les realizó una determinación de conductividad. El caudal fue registrado cada 10 minutos aproximadamente durante toda la duración del ensayo. La toma de muestras se extendió hasta que la conductividad registrada retornara al valor inicial y se mantuviera constante. Este procedimiento se realizó 3 veces para cada configuración de aireación.

Los datos de conductividad obtenidos para cada configuración fueron promediados obteniendo un conjunto de datos para cada caso, con los que se determinó la concentración de NaCl en cada intervalo de tiempo.

### Ajuste matemático de datos experimentales

Los resultados obtenidos para cada configuración fueron graficados en función del tiempo, obteniendo las curvas de la Fig 4.

La notable diferencia en los valores de concentración del trazador obtenidos a la salida del reactor para cada configuración es debida a la diferencia de temperatura ambiente de los días en que se realizaron los ensayos, lo que afectó directamente la temperatura del fluido analizado, siendo de 27 y 22°C respectivamente para cada configuración.

El caudal medio registrado para la Configuración A1 fue de 0,167 l/min, y para la Configuración A2 0,199 l/min, lo que establece una diferencia de 0,034 l/min y 0,066 l/min respecto al caudal registrado sin aireación en el reactor, que fue de 0,133 l/min, es decir, la aireación incrementa levemente el caudal de salida, principalmente con la Configuración A2.

Las curvas fueron trasladadas verticalmente restando a todos los datos el valor inicial de concentración, de manera que la nueva curva parta de cero y regrese a cero luego de un intervalo de tiempo grande (condición que debe cumplir toda curva de respuesta ante la introducción rápida de una cantidad finita de trazador, lo cual puede asemejarse a un pulso). La traslación de las curvas puede verse en la Fig. 5.

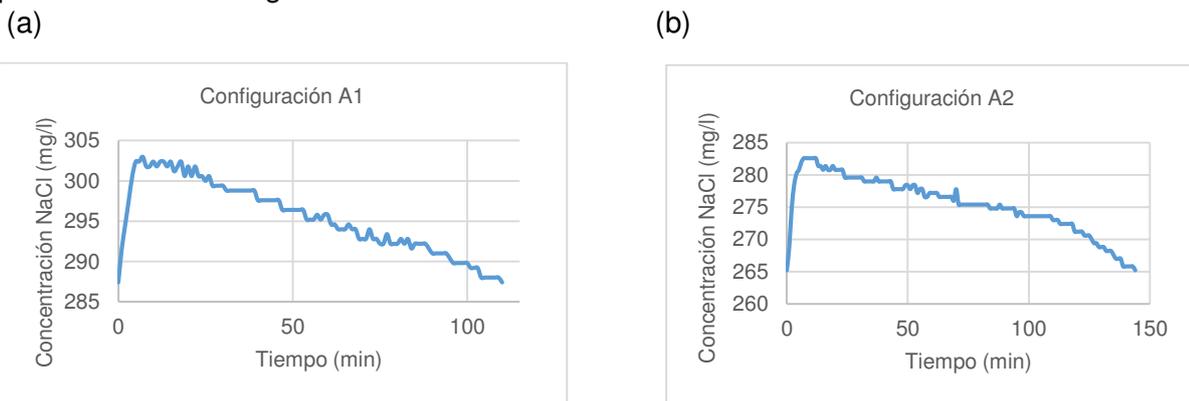


Fig. 4: Curvas de respuesta experimental para (a) Configuración A1; (b) Configuración A2.

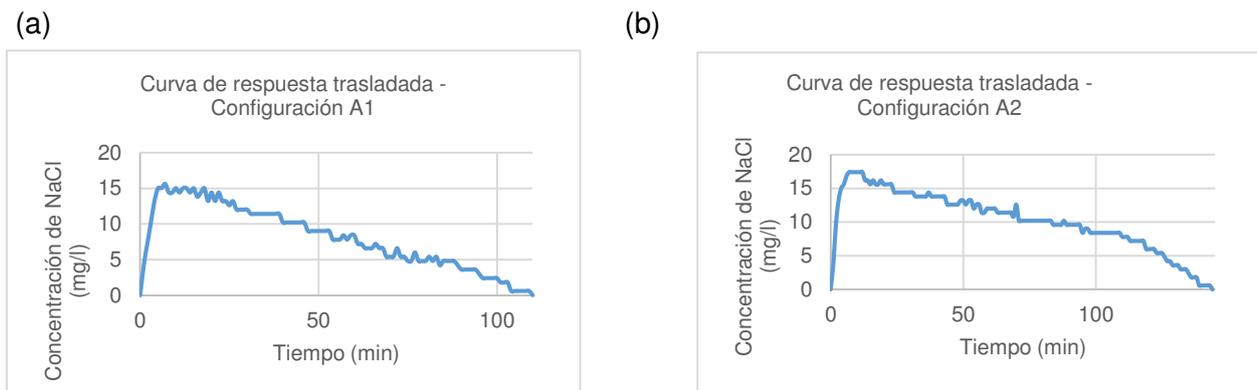


Fig. 5: Curvas de respuesta trasladadas para (a) Configuración A1; (b) Configuración A2.

Los valores de concentración a la salida versus tiempo, se ajustaron mediante (ec. 4)

$$C_{\theta} = \frac{1}{2\sqrt{\pi\theta\left(\frac{D}{uL}\right)}} e^{-\left[\frac{(1-\theta)^2}{4\theta\left(\frac{D}{uL}\right)}\right]} \quad (4)$$

Cuya forma dimensional viene dada por (ec. 5)

$$\frac{C(t)}{C^*} = \frac{1}{2\sqrt{\pi\left(\frac{t}{t^*}\right)\left(\frac{D}{uL}\right)}} e^{-\left[\frac{(1-(t/t^*))^2}{4\left(\frac{t}{t^*}\right)\left(\frac{D}{uL}\right)}\right]} \quad (5)$$

Donde  $C_{\theta}$  representa la curva  $C$  en función del tiempo adimensional  $\theta=t/t^*$ .  $t$  representa el tiempo;  $t^*$  el tiempo medio de residencia del fluido en el reactor ( $t^*=V/v$ , siendo  $V$  el volumen del reactor y  $v$  el caudal) y  $C^*$  la concentración de trazador.

La determinación de los parámetros se realizó mediante el mejor ajuste del modelo descrito por (ec. 5) al conjunto de puntos experimentales de la Fig. 6, utilizando el método de los mínimos cuadrados con un algoritmo de gradiente reducido generalizado (GRG) para solución de problemas no lineales [3].

En la Tabla 2 se presentan los resultados obtenidos, con un coeficiente de determinación  $R^2$  de 0,9537 (los intervalos de confianza fueron calculados para un nivel de confianza del 95%).

El valor del coeficiente de dispersión obtenido indica un grado intermedio de dispersión [4].

En la Fig. 6 se muestra el conjunto de puntos observados experimentalmente, como así también los puntos predichos por el modelo de (5) junto con los parámetros estimados.

TABLA 2: Resultado de los parámetros que caracterizan al sistema

Parámetros	Configuración A1	Configuración A2
$C^*$ (mg/l)	24,4006	20,9781
$t^*$ (s)	2.366,6300	3.380,7711
( $D/uL$ )	0,1972	0,1389

El modelo utilizado es válido para “recipientes abiertos”; no obstante la metodología experimental utilizada (método de las muestras múltiples) puede asemejarse más a las condiciones de contorno de un “recipiente cerrado” [4].

(a)

(b)

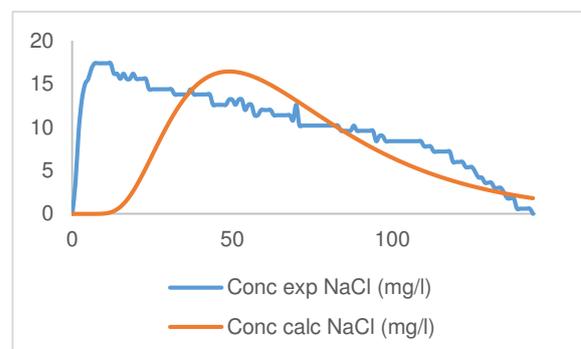
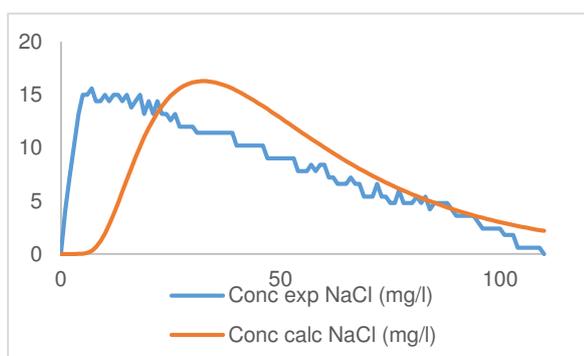


Fig. 6: Ajuste del modelo de dispersión a los datos experimentales para (a) Configuración A1; (b) Configuración A2.

A partir de los parámetros determinados, se obtuvo la media y la varianza (de la concentración a la salida del recipiente) adimensionales. Los datos se presentan en la Tabla 3.

TABLA 3: Resultado de la media y varianza de la concentración a la salida del sistema

Parámetros	Configuración A1	Configuración A2
$\bar{\theta}_C = \frac{\bar{t}_C}{t^*} = 1 + 2 \left( \frac{D}{uL} \right)$ (6)	1,394	1,278
$\sigma_\theta^2 = \frac{\sigma^2}{t^{*2}} = 2 \left( \frac{D}{uL} \right) + 8 \left( \frac{D}{uL} \right)^2$ (7)	0,7054	0,4321
$\Delta\sigma_\theta^2 = \frac{\Delta\sigma^2}{t^{*2}} = 2 \left( \frac{D}{uL} \right)$ (8)	0,4	0,3

## Conclusiones

En términos generales, puede concluirse que las curvas de DTR obtenidas en los ensayos experimentales de ambas configuraciones de aireación, se adaptan a las propuestas por la teoría de fluidos en flujo no ideal, considerando que la técnica estímulo-respuesta utilizada es la definida como “señal de entrada en impulso”, donde se puede observar una primera aproximación a un comportamiento de flujo-pistón, seguido por una tendencia al modelo de flujo en mezcla completa. Esto guarda relación con la configuración de entrada y salida del flujo utilizada en el reactor (superior e inferior, respectivamente), al igual que en los ensayos sin aireación.

Por otro lado, si bien el caudal registrado en ambas configuraciones de aireación es levemente mayor al registrado en el sistema sin aireación, se logra un tiempo de residencia medio experimental un 23% y 41% mayor en las Configuraciones de aireación A1 y A2 respectivamente, lo que puede atribuirse a una mejor distribución del trazador en el reactor, favorecida por la aireación, que es más uniforme en todo el volumen del mismo en la configuración A2 que en la A1, que se presenta de forma más puntual en el centro del reactor, sin extenderse demasiado por las zonas laterales.

Es evidente que el mayor efecto de la incorporación de la aireación al sistema, ha sido el de reducir las zonas muertas, permitiendo que el fluido permanezca más tiempo dentro del mismo, con lo que se logra aumentar, aunque levemente, su eficiencia. De todas maneras, se debe continuar trabajando para reducir la brecha aún existente entre el TRH teórico ( $\tau$ ), basado en las dimensiones del reactor y el caudal de la bomba, tal como se expresa en (1) y el tiempo de residencia medio obtenido experimentalmente.

La experimentación mediante el uso de trazadores es una herramienta excelente para determinar cuándo las desviaciones del flujo ideal son grandes, y así definir el modo de abordar dichas desviaciones.

## Referencias

- [1] Pérez A., Torres P., Evaluación del comportamiento hidrodinámico como herramienta para optimización de reactores anaerobios de crecimiento en medio fijo, p. 29-34, Colombia, 2007.
- [2] Werner T., Kadlec R., Application of residence time distributions to stormwater treatment systems, p 214-216. EE.UU. 1995.
- [3] Levenspiel O., Ingeniería de las Reacciones Químicas, Editorial Reverté. pp. 305, (9-37) 2002.
- [4] Lasdon, et al. ACM, Transactions on Mathematical Software, vol. 4, No 1. pp. 34-50, 1978.

# DESARROLLO, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN FUNCIONAMIENTO DE CÁMARA DE CARBONATACIÓN ACELERADA.

Brian Schutz<sup>1</sup>, Tomás Rodríguez<sup>1</sup>, Adrián Segura<sup>1</sup>, Christian Sánchez<sup>1</sup>, Bárbara B. Raggiotti<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>CINTEMAC: Centro de Investigación, Desarrollo y Transferencia de Materiales y Calidad. UTN - Facultad Regional Córdoba. Cruz Roja esq. Maestro M. López. X5016

\* Tutor. belenraggiotti@gmail.com,

## Resumen

En las estructuras de hormigón armado el proceso de degradación más frecuente es la despasivación y posterior corrosión de las barras de acero de la armadura. Ello puede producirse por dos procesos distintos: la carbonatación del hormigón de recubrimiento y/o la presencia de iones cloruro.

La carbonatación es un proceso químico en el cual el CO<sub>2</sub> atmosférico (~0.03 % en volumen), difunde y penetra en los poros capilares del hormigón donde se combina con el agua presente formando ácido carbónico (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), el cual reacciona con los hidróxidos alcalinos de sodio, potasio y calcio, formando carbonatos (1), disminuyendo el pH hasta valores menores a 9. En consecuencia, provoca la neutralización de la pasta de cemento y posteriormente la corrosión de la armadura. Este mecanismo de reacción está controlado por un paso difusional, a una velocidad tal que se requieren años para observar el fenómeno por condiciones naturales de exposición.

En este trabajo se presenta el desarrollo, construcción y puesta en funcionamiento de una cámara de carbonatación acelerada que trabaja aumentando la velocidad de reacción debido al aumento de la concentración CO<sub>2</sub> en una atmósfera controlada. Se evaluó la profundidad de carbonatación alcanzada en distintos tipos de hormigones y a distintas edades de ensayo.

**Palabras clave:** cámara, carbonatación, hormigón

## Introducción

En las estructuras de hormigón armado el proceso de degradación más frecuente es la despasivación y posterior corrosión de las barras de acero de la armadura. Ello puede producirse por dos procesos distintos: la carbonatación del hormigón de recubrimiento y/o la presencia de iones cloruro, ya sea por su incorporación durante la elaboración del hormigón o por penetración desde el medio exterior (2).

La corrosión de la armadura causa la mayoría de las fallas de las estructuras de hormigón. Las condiciones que conducen a la corrosión del acero en las estructuras de hormigón armado son ampliamente estudiadas. Sin embargo, muchas estructuras de hormigón existentes muestran daños por corrosión significativa, muchas incluso, que son relativamente nuevas, lo que lleva a la necesidad de costosas reparaciones. En la mayoría de los casos, las estructuras no son lo suficientemente duraderas o no se les ha realizado un mantenimiento apropiado.

Hasta la década de 1950, la carbonatación del hormigón era la causa principal de la corrosión. Desde entonces, la corrosión inducida por cloruros se ha vuelto mucho más importante para las estructuras expuestas a ambientes que contienen cloruro, tales como sal de deshielo, clima marino y agregados contaminados con sal (3).

El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) presente en el aire en estado gaseoso penetra en el hormigón, a través de la porosidad o a través de las fisuras. En presencia de agua (que existe al menos en los poros más pequeños), causa una reacción química conocida como carbonatación con la pasta de cemento hidratada.

El  $\text{CO}_2$  se disuelve en el interior del sistema de poros del hormigón, reaccionando con los álcalis presentes y disminuyendo el pH hasta valores menores a 9, dado que el ión  $\text{CO}_3^{2-}$  sustituye a los álcalis. Esta reacción transforma los hidratos, particularmente, el hidróxido de calcio (portlandita)  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  en carbonato de calcio  $\text{CaCO}_3$ .

El espesor de la carbonatación depende de la calidad del hormigón, del tiempo y ambiente de exposición.

El hormigón tiene normalmente un pH alto debido al  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  formado durante la reacción del cemento con el agua. Cuando el hormigón está expuesto a la atmósfera que contiene  $\text{CO}_2$ , se da una reacción entre el  $\text{CO}_2$  y el  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  del cemento hidratado y se forma  $\text{CaCO}_3$ . Esto reduce el pH en una capa delgada de la superficie y provoca una alcalinidad del hormigón lo que hace que la armadura de acero sea más vulnerable a la corrosión (4).

Si la estructura de hormigón está armada, cuando la reacción alcanza la armadura, ocurre la despasivación de la misma como consecuencia de la disminución del pH, existiendo posibilidades de corrosión.

Una característica del proceso de carbonatación es la existencia de un frente de avance del proceso que presenta dos zonas de pH muy diferentes: una con pH próximo a 8 y otra con pH mayor que 12, no carbonatada (5). La pasivación de la armadura está asegurada mientras el pH no baje de 9 (4).

Todas las estructuras se encuentran en alguna de las etapas en las cuales habitualmente se divide el proceso de corrosión, ya que desde el momento que se construye la estructura se inicia la difusión del dióxido de carbono  $\text{CO}_2$  y/o cloruros  $\text{Cl}^-$  en la red porosa del hormigón de recubrimiento, dando origen al denominado periodo de iniciación.

La velocidad de ingreso y el espacio a recorrer hasta llegar a la armadura (espesor de recubrimiento), son los factores que condicionan la cinética del proceso corrosivo y por lo tanto son los que revisten importancia desde el punto de vista ingenieril (6).

La carbonatación es un fenómeno muy lento en la atmósfera, que tiene un efecto lento en las estructuras de hormigón armado, por lo tanto es necesario encontrar un medio acelerado de carbonatación que garantice resultados representativos de este fenómeno natural. Esta prueba se llama "ensayo de carbonatación acelerada" (7).

La velocidad de avance del frente carbonatado depende de:

La cantidad de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  en el hormigón

La porosidad conectada del hormigón

El contenido de humedad en el hormigón. La velocidad es máxima para contenidos de humedad comprendidos entre 50 y 80 %. Con baja humedad no se forma el  $\text{H}_2\text{CO}_3$  y no hay carbonatación.

En el presente trabajo, se desarrolló una cámara de carbonatación acelerada con tecnología y materiales locales, y se evaluó la profundidad de carbonatación alcanzada en hormigones con distintas relaciones a/c y composición al exponerlos a  $\text{CO}_2$  en alta concentración en la cámara.

## Metodología

El trabajo experimental incluyó dos etapas, por un lado el desarrollo y construcción de una cámara de carbonatación acelerada y por el otro la puesta en funcionamiento de dicha cámara para evaluar el comportamiento de hormigones de distinta relación a/c y composición ante la corrosión por carbonatación.

Se midió la profundidad de carbonatación luego de exposición en cámara acelerada a 3, 10 y 17 días.

## Desarrollo de cámara de carbonatación acelerada

Con el objeto de obtener información anticipada que permita predecir el comportamiento de distintos hormigones a la acción del medio ambiente, sobre todo a condiciones de exposición a corrosión por carbonatación se propuso diseñar, desarrollar y construir una cámara de carbonatación acelerada.

Basados en experiencias de Linares y Sánchez (8), Chávez-Ulloa et al. (9) y haber trabajado en la Pontificia Universidad Católica de Chile, Escuela de Construcción Civil con una cámara de desarrollo local, se planteó el diseño de una cámara con tecnología y materiales locales.

Se creó una cámara hermética de 66 cm por 54 cm, con una profundidad de 34 cm. Con tapa acrílica transparente que permite ver en el interior. El  $\text{CO}_2$  se inyecta desde un tubo colocado al lado que permite dar y mantener dentro de la cámara una concentración constante. Se trabajó con conducciones Parker para suministrar el gas, y se colocó un manómetro entre el tubo de  $\text{CO}_2$  y la cámara para controlar pérdidas del gas. La temperatura y humedad dentro de la cámara se controlaron mediante un higrómetro digital.

Estas variables ambientales, fueron importantes de controlar, pues tienen gran efecto en el proceso de corrosión.

La carbonatación se produce en una temperatura de  $20^\circ\text{C}$  y una humedad relativa de 70% como situaciones óptimas. Además en la cámara se logró una concentración de  $\text{CO}_2$  superior a la existente en ambiente natural.

Investigaciones realizadas con el método de carbonatación acelerada han indicado que por más que se eleve la concentración de  $\text{CO}_2$  a más de 40.000 ppm, si la humedad relativa se mantiene dentro del rango 50-70%, no se evidencia un incremento lineal del perfil de carbonatación. Cuando la humedad varía a valores menores de 50% o mayores de 70% y se mantiene constante la concentración de  $\text{CO}_2$ , los perfiles de carbonatación pueden resultar inferiores.

Se ha demostrado que la profundidad de carbonatación en el hormigón, para una semana de exposición a 40.000 ppm de  $\text{CO}_2$  es muy similar a la profundidad para un año de exposición en ambiente natural (10).

En la Figura 1 se presenta una fotografía de la cámara de carbonatación con las probetas ensayadas.



Figura 1 – Cámara de carbonatación acelerada

## Evaluación del comportamiento frente a la carbonatación de hormigones

La cámara de carbonatación permite evaluar diferentes factores inherentes al diseño de la mezcla de hormigón, como son: la relaciones de agua/cemento (a/c), tipos de agregados, tipo de cemento, adiciones, aditivos, entre otros.

Por otro lado, es una herramienta muy importante, que permite anticipar el comportamiento de distintos hormigones ante posible corrosión de armadura por carbonatación como indicador de durabilidad.

En este trabajo, se evaluó la profundidad de carbonatación alcanzada por hormigones con distinta relación a/c y composición al ser expuestos a la cámara acelerada.

Se realizaron cortes en las probetas ensayadas, y mediante técnica colorimétrica con el indicador de fenolftaleína al 1% se determinó la profundidad de carbonatación a los 3, 10 y 17 días de exposición.

La solución de fenolftaleína es incolora en pH inferiores a 8,5 y para valores superiores a 9,5 se torna de color púrpura. Por lo tanto en zonas carbonatadas se tornan incoloras y en la no carbonatadas color púrpura.

## Hormigones

Se presentan en la Tabla 1 las dosificaciones de los hormigones expuestos a la cámara de carbonatación acelerada.

Tabla 1 – Dosificaciones de hormigones [Kg/m<sup>3</sup>]

Materiales / Hormigones	A	B	C	D	E	F
Cemento Blanco	400,0	-	-	-	-	-
CPN40	-	450,0	427,5	-	-	-
CPF40	-	-	-	422,0	345,0	292,0
Agua	160,0	185,0	185,0	190,0	190,0	190,0
Agregado Grueso T <sub>máx</sub> = 19 mm.	-	976,3	971,5	968,0	968,0	968,0
Agregado Grueso entre tamiz N°3/8 y N°4	573,8	-	-	-	-	-
Arena Gruesa	-	666,5	663,3	608,0	667,0	708,0
Arena Fina	-	177,2	176,3	192,0	210,0	222,0
Vermiculita Fina	393,6	-	-	-	-	-
Vermiculita Expandida	513,9	-	-	-	-	-
Zeolita	-	-	22,5	-	-	-
Microsílice	40,0	-	-	-	-	-
Pigmento	24,0	-	-	-	-	-
Aditivo SIKA PORO PLUS	2,04	-	-	-	-	-
Aditivo SIKA PLASTIMENT	-	1,60	1,60	-	-	-
Relación a/c	0,40	0,41	0,43	0,45	0,55	0,65
Densidad teórica	2107	2457	2448	2380	2380	2380

## Análisis de resultados

En la Tabla 2 se presentan las profundidades de carbonatación en las muestras a 3, 10 y 17 días de exposición en cámara acelerada.

Tabla 2 – Profundidad de carbonatación en mm.

Hormigones	A	B	C	D	E	F
Carbonatación a 3 días	15,0	1,0	2,0	3,0	4,0	10,0
Carbonatación a 10 días	20,0	2,0	4,0	5,0	9,0	13,0
Carbonatación a 17 días	35,0	4,0	6,0	8,0	15,0	24,0

Puede observarse como la profundidad se va incrementando a mayor tiempo de exposición, y como esa profundidad es mayor a mayor relación a/c.

El hormigón A, se presenta como excepción a esto, ya que si bien tiene la menor relación a/c, está compuesto por una fracción muy pequeña de agregado natural y alta de agregado liviano de alta porosidad (vermiculita) que incrementan la porosidad final de la mezcla; favoreciendo la permeabilidad del hormigón endurecido y con ello el ingreso del gas CO<sub>2</sub>.

Moreno et al. (11) en experiencias con carbonatación acelerada, también, determinaron que existe una relación entre profundidad de carbonatación y el contenido de cemento. La profundidad aumenta conforme el contenido de cemento disminuye.

En la Figura 3 se observa la profundidad de carbonatación en las probetas expuestas a 3 y 10 días en la cámara de carbonatación acelerada. Se observa un centro color púrpura que corresponde a la zona no carbonatada, y un anillo periférico sin coloración que corresponde a la zona carbonatada.

En la Figura 4 se observan las mediciones de la profundidad de carbonatación de algunos hormigones a los 17 días.

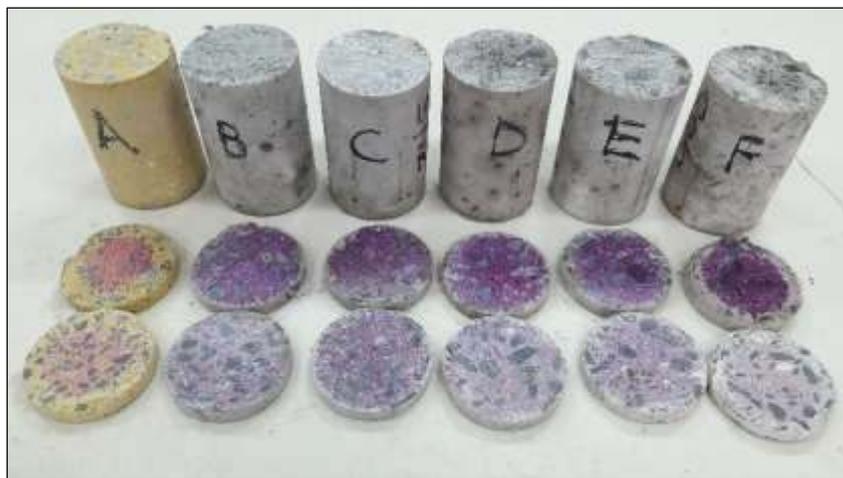


Figura 3 – Profundidad de carbonatación de las muestras ensayadas a 3 y 10 días.



Figura 4 – Medida de la profundidad de carbonatación de algunos hormigones a los 17 días.

## Conclusiones

De lo anterior, se puede concluir que:

Con materiales y tecnologías locales se pudo desarrollar y construir una cámara acelerada de carbonatación que permitió obtener información importante para la prevención y control de estructuras de hormigón armado ante corrosión por carbonatación.

A mayor relación a/c mayor la profundidad de carbonatación. Se manifestó una gran influencia de la cantidad de cemento con respecto al agua en las mezclas sobre el fenómeno de carbonatación.

Aquellos hormigones permeables o porosos, o en cuya composición existen materiales de alta porosidad, se mostraron más propensos a la oxidación de las armaduras por carbonatación.

El ensayo acelerado aportó información del deterioro del hormigón por exposición en CO<sub>2</sub> en menor tiempo que la exposición natural. Lo que permitió obtener información valiosa para prolongar la vida útil de las estructuras expuestas a ambientes potencialmente corrosivos.

## Agradecimientos

Al Ministerio de Ciencia y Tecnología de la Provincia de Córdoba, por haber financiado el Proyecto “Estructuras de hormigón armado: aspectos relacionados con la sustentabilidad de los materiales componentes y la durabilidad ante fenómenos de corrosión de armaduras” Mediante el Programa de Generación de Conocimiento (PGC), a través de la Convocatoria de Grupos de Reciente Formación con Tutores (GRFT 2015).

## Referencias Bibliográficas

- (1) Da Silva, F.G., Helene, P. & Castro Borges, J.B.L. (2009). Liborio “Sources of variations when comparing concret carbonation results.” *Journal of materials in civil engineering*.
- (2) Giovambattista, A. (2001). *Hormigón: materiales, vida útil y criterios de conformidad y su consideración en el reglamento CIRSOC 201-2005*. 1<sup>o</sup> ed. – San Martín: Instituto Nacional de Tecnología Industrial – INTI, 2011. Vol 1, 390p. ISBN: 978-950-532-153-7
- (3) Hunkeler, F. (2014). *Corrosion in reinforced concrete: processes and mechanisms*. Technical Research and Consulting on Cement and Concrete, TFB, Switzerland. <https://doi.org/10.1533/9781845690434.1>
- (4) Raggiotti, B.B., Positieri, M. J.; Oshiro, A. & Gómez Lorenzini, S. (2016). “Análisis de hormigones con zeolita ante deterioro por corrosión”. VII Congreso Internacional - 21<sup>a</sup> Reunión Técnica de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón “Ing. Nélide del Valle Castría”: Memoria técnica ISBN 978-987-21660-9-0.
- (5) *Manual de Inspección, evaluación y Diagnóstico de Corrosión en Estructuras de Hormigón Armado*. (1998). CYTED, Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, Subprograma XV Corrosión/Impacto Ambiental Sobre Materiales. Maracaibo, Venezuela.
- (6) Traversa, L. (2012). Corrosión de armaduras en atmósferas rurales, urbanas, marinas e industriales. En “Durabilidad del Hormigón Estructural”, AATH, Editor E. Irassar.
- (7) Ahmed, M. & Benharzallah, K. (2017). Effect of the carbonatation and the type of cement (CEM I, CEM II) on the ductility and the compressive strength of concrete. *Construction and Building Materials* 148 (2017) 874–886. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.05.098>
- (8) Linares, D. & Sánchez, M. (2003). Construction, operation and performance of a chamber for tests of accelerated carbonation. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*. 26 n.1. ISSN 0254-0770
- (9) Chávez-Ulloa, E., Pérez López, T., Reyes Trujeque, J., Corvo Pérez, F. & Osorno Carrillo, J.B. (2010). Carbonatación de concreto en atmósfera natural y cámara de carbonatación acelerada. *Revista CENIC. Ciencias Químicas*, vol. 41, 2010. Centro Nacional de Investigaciones Científicas La Habana, Cuba. ISSN: 1015-8553
- (10) Iloro, F.; Sota, J. & Ortega, N. (2013). Carbonatación acelerada de morteros: Influencia de las adiciones minerales y la edad de curado. CINPAR 2013. IX Congreso Internacional sobre Patología y Recuperación de Estructuras. ISBN: 978-85-63406-30-9
- (11) Moreno, E., Domínguez Lara, G.; Cob Sarabia, E., & Duarte Gómez, F. (2004). Efecto de la relación agua/cemento en la velocidad de carbonatación del concreto utilizando una cámara de aceleración. *Ingeniería*, 8 (2), 117-130.

# EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA Y LA RESISTENCIA A FLEXIÓN DE SECCIONES ASERRADAS DE MADERA DE ÁLAMO

Nicolás Cortizo<sup>a</sup>, Ignacio Guarino<sup>a</sup>, Esteban Hernández<sup>a</sup>, Fernando Quiroga<sup>a</sup>,  
Cristian Balastegui<sup>a</sup>, Diego Debernardi<sup>a</sup>, Cristian Bay<sup>a</sup>, Ricardo Bassotti<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Grupo GEDEC, Facultad Regional San Rafael, Universidad Tecnológica Nacional,  
Av. Urquiza 314, C.P. 5600 San Rafael, Mendoza, Argentina  
nicocortizo@gmail.com

## Resumen

Se presentan los resultados de la relación existente entre los valores de compresión paralela a la fibra y resistencia a la flexión, de secciones aserradas de madera de álamo, correspondientes a una misma muestra. En la provincia de Mendoza, la madera de álamo es la especie forestal cultivada de mayor difusión y con una gran experiencia tanto en su cultivo como en su industrialización. La madera de álamo en general reúne las condiciones necesarias para ser utilizada como elemento estructural en construcciones de madera. Pero a pesar de su aptitud, se requiere el estudio y conocimiento de las características físico – mecánicas en los elementos aserrados obtenidos de su industrialización. Con el fin de verificar la aplicabilidad de la norma IRAM 9664, que define valores de resistencia a compresión a partir de la resistencia a flexión, se determina el valor característico de la resistencia a la compresión paralela a la fibra y la resistencia a flexión, obtenidas de una muestra correspondientes a un mismo testigo de ensayo. Se analizan los resultados obtenidos de ensayos realizados a 34 probetas de sección transversal de 45 mm x 45 mm, siguiendo los lineamientos de la norma IRAM 9663, y los resultados de la resistencia a flexión, siguiendo la misma norma de ensayo. Además, se presenta una comparación entre la fórmula propuesta en la norma y los resultados alcanzados como consecuencia de los ensayos realizados.

**Palabras Clave:** madera – álamo – compresión paralela a la fibra – resistencia a flexión

## 1. Introducción

Debido a la heterogeneidad de la madera en su composición hace que se convierta en uno de los materiales más difíciles de estudiar, existiendo diversos métodos de ensayo para determinar sus propiedades, que arrojan resultados muy diferentes entre ellos. De las propiedades físico-mecánicas que presenta la madera, la resistencia a compresión es una de las que menos estudios se han realizado.

En este estudio se tratan de analizar los resultados obtenidos de la resistencia máxima a la compresión paralela a la fibra para posteriormente correlacionar estos valores con los resultados obtenidos en ensayos a flexión realizados precedentemente sobre la misma muestra.

La norma IRAM 9664<sup>R2</sup> presenta una expresión para determinar la resistencia a compresión paralela a las fibras a partir de la resistencia característica en flexión. Considerando que la expresión de esta norma para determinar la resistencia a la compresión es común para cualquier especie, y que además es de aplicación en el caso de no contarse con ensayos de probetas de dimensiones reales de utilización, se considera menester realizar ensayos que permitan verificar la precisión de los valores determinados por esta expresión.

Se realizaron un total de 34 mediciones sobre 34 probetas de álamo proveniente de la región sur de Mendoza. Una vez obtenidos los valores de los dos ensayos prácticos (flexión y compresión), se llevó a cabo un análisis comparativo con objeto de establecer las posibles relaciones entre ambos ensayos evaluando la posibilidad de correlación entre resistencia a compresión y flexión.

Los resultados revelan una gran heterogeneidad entre los resultados obtenidos para las distintas probetas de la muestra.

## 2. Objetivo

Determinar la capacidad de resistencia a compresión paralela a las fibras de probetas de madera de álamo y comparar el valor característico de resistencia a compresión obtenido con la correlación que plantea la norma IRAM 9664<sup>R2</sup> a partir de la resistencia a flexión obtenida en ensayos previos sobre probetas provenientes de la misma madera.

## 3. Materiales y métodos

Se muestran resultados obtenidos de resistencia a compresión paralela a la fibra en ensayos realizados a 34 probetas de madera de álamo de la región sur de Mendoza, de sección transversal completa de 45 mm x 45 mm, siguiendo los lineamientos de la norma IRAM 9663<sup>R1</sup>.

Además, con el fin de verificar la aplicabilidad de la expresión de la norma IRAM 9664<sup>R2</sup>, se determina el valor característico de la resistencia a la compresión paralela a partir de los resultados obtenidos en las pruebas a flexión.

De 60 alfajías que se ensayaron a flexión, luego de su correspondiente clasificación visual, se aserraron las probetas para el ensayo a la compresión paralela a la fibra de 34 testigos. Estos fueron obtenidos fuera de la luz de flexión.

De acuerdo a las proporciones que establece la norma IRAM 9663<sup>R1</sup> se confeccionan probetas de sección transversal completa de 45 mm de lado y 270 mm de longitud; de las cuales se determinaron las dimensiones geométricas previas al ensayo, con una precisión de 0,1 mm utilizando un calibre digital.

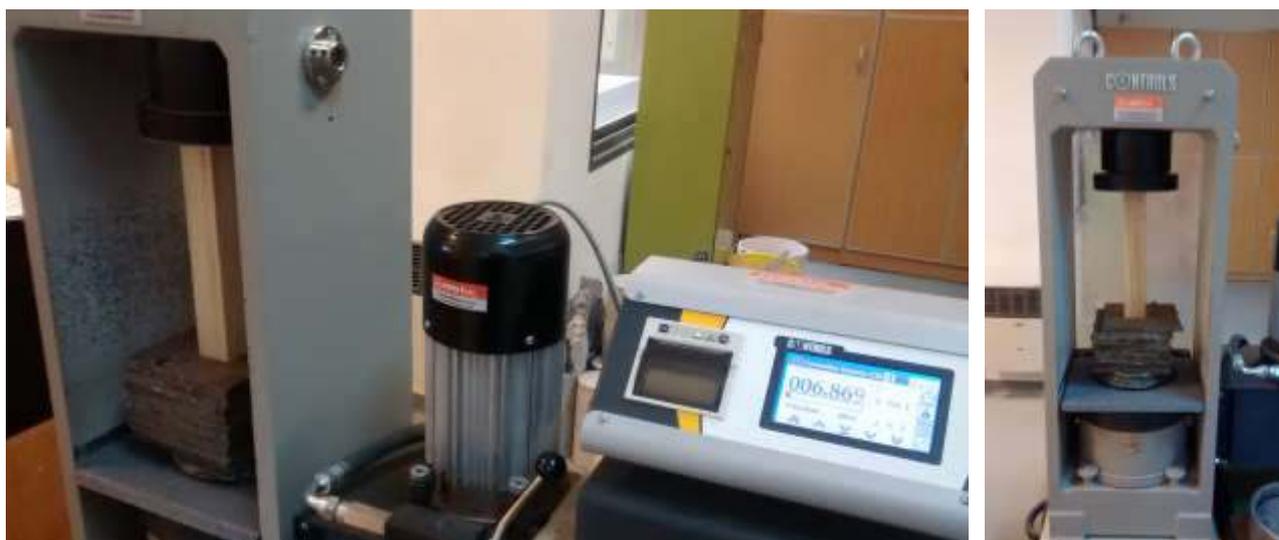
Se ensayan 34 probetas seleccionadas de manera tal que cumplan con los requisitos de la norma respecto a la inexistencia de defectos. Se desprecian aquellas piezas que presentan ataque de insectos.

Para el procedimiento de ensayo se siguen los lineamientos de la norma IRAM 9663<sup>R1</sup>, la que describe el proceso de rotura a compresión paralela a las fibras, y especifica las dimensiones necesarias de las muestras para ser lo suficientemente cortas y así evitar que se produzca el pandeo general de la pieza durante el ensayo.

Las cabezas de los testigos se mecanizan cuidadosamente para garantizar que sean planas y paralelas entre sí, así como perpendiculares al eje de la probeta.

Las probetas se cargan de manera concéntrica, por medio de un cabezal de carga que permite aplicar la carga de compresión, sin provocar esfuerzos de flexión. Después de aplicar una carga inicial, el cabezal de carga se bloquea para evitar desplazamientos angulares.

En las Figuras 1 y 2, puede observarse el dispositivo utilizado para el ensayo a compresión de las probetas.



Figs. 1 y 2: Dispositivo de Ensayo y medición

El dispositivo de ensayo permite la medición de la carga con una precisión del 1 % de la carga aplicada a la probeta.

La carga se aplica en una prensa hidráulica a velocidad constante que permite llegar a la rotura en un tiempo de  $300 \text{ s} \pm 120 \text{ s}$ , rango que prescribe la norma. Además se asegura que la probeta este perfectamente centrada con el cilindro de carga y alineada con el mismo.

El ajuste de la velocidad se determina a partir de los resultados de ensayos preliminares. El objetivo es alcanzar la  $P_{\text{máx}}$  para cada probeta, en 300 segundos.

#### 4. Determinación de la resistencia

La determinación de la resistencia a la compresión ( $f_{c,0}$ ) se obtiene para cada probeta mediante la ecuación (1):

$$f_{c,0} = \frac{P_{\text{máx.}}}{A} \quad (1)$$

Donde:

$P_{\text{máx.}}$ : es la carga máxima en Newtons.

$A$ : es el área de la sección transversal en milímetros cuadrados.

#### 5. Resultados

##### 5.1 Resistencia a compresión paralela a las fibras

Los resultados obtenidos en los ensayos a compresión, en base a lo descrito anteriormente para las 34 probetas, se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Valores obtenidos para la Resistencia a Compresión Paralela a las Fibras

Probeta N°	Designación del Testigo	Sección [mm <sup>2</sup> ]	Carga Máxima [N]	Resistencia a Compresión // a la fibra [N/mm <sup>2</sup> ]
1	ARD-01	17,59	69834,8	39,40
2	ARD-02	16,84	77077	44,33
3	ARD-06	17,75	81408,6	45,87
4	ARD-07	17,86	72618	40,66
5	ARD-08	17,82	74725	41,48
6	ARD-09	17,79	67022,2	37,67
7	ARD-10	17,53	84966	47,65
8	ARD-10	17,75	84505,4	48,05
9	ARD-11	17,82	91140	51,65
10	ARD-11	17,83	64738,8	36,82
11	ARD-13	17,67	71079,4	42,23
12	ARD-13	17,71	80085,6	45,16
13	ARD-17	17,80	78037,4	43,73
14	ARD-17	17,87	79527	44,66
15	ARD-18	17,85	58907,8	33,14
16	ARD-19	17,71	65062,2	37,15
17	ARD-19	17,75	53880,4	30,38
18	ARD-20	17,83	70001,4	39,30
19	ARD-20	17,79	59417,4	33,36
20	ARD-21	17,70	76606,6	43,39
21	ARD-22	17,79	71304,8	40,28
22	ARD-22	15,80	77273	43,45

23	ARD-22	16,80	85926,4	48,11
24	ARD-23	16,88	71118,6	39,87
25	ARD-24	16,97	55468	31,34
26	ARD-26	17,59	63572,6	35,85
27	ARD-27	16,84	66306,8	37,21
28	ARD-28	17,75	81251,8	45,71
29	ARD-29	17,86	57045,8	32,25
30	ARD-35	17,82	51469,6	28,96
31	ARD-36	17,79	79203,6	50,16
32	ARD-37	17,53	55997,2	33,35
33	ARD-39	17,75	62857,2	37,27
34	ARD-40	17,82	72020,2	42,47

En la Tabla 2 se resumen los resultados del análisis estadístico de los valores de resistencia a la compresión paralela a las fibras obtenidos a partir de los resultados precedentes.

Tabla 2. Valores estadísticos de la Resistencia a Compresión Paralela a las Fibras

Valor Mínimo	Valor Medio	Valor Máximo	Desviación Estándar	Percentil 0,05
29	40	52	5,91	31,00

## 5.2 Análisis de la ecuación entre resistencia a flexión y resistencia a compresión paralela a las fibras

La norma IRAM 9664<sup>R2</sup> propone expresiones para determinar, a partir de la resistencia característica en flexión ( $f_{b,k}$ ), los valores para la resistencia entre los distintos esfuerzos.

Para el caso de la resistencia a la compresión paralela a las fibras ( $f_{c,0}$ ), propone la ecuación (2):

$$F_{c,0,k} = 5 \cdot (F_{b,k})^{0,45} \quad (2)$$

La tabla 3 presenta la comparación entre los valores determinados por aplicación de la ecuación que propone la norma a partir de la resistencia a flexión corregida para un contenido de humedad del 12 % y una altura de referencia de 150 mm, y los obtenidos experimentalmente en los ensayos a la compresión paralela a la fibra realizados.

Tabla 3. Comparación de la Resistencia a Compresión Paralela a las Fibras según Percentil 0,05

fb,k [N/mm <sup>2</sup> ]	fc,0 según ec. IRAM 9664 <sup>R2</sup> [N/mm <sup>2</sup> ]	fc,0 según ensayos [N/mm <sup>2</sup> ]	Diferencia [%]
21,36	19,83	31,00	56,35

En los gráficos de las Figuras 3 y 4 pueden observarse la comparación precedente entre los valores determinados por aplicación de la ecuación que propone la norma, los obtenidos experimentalmente en los ensayos a la compresión paralela a la fibra realizados y un ajuste por mínimos cuadrados de la ecuación.

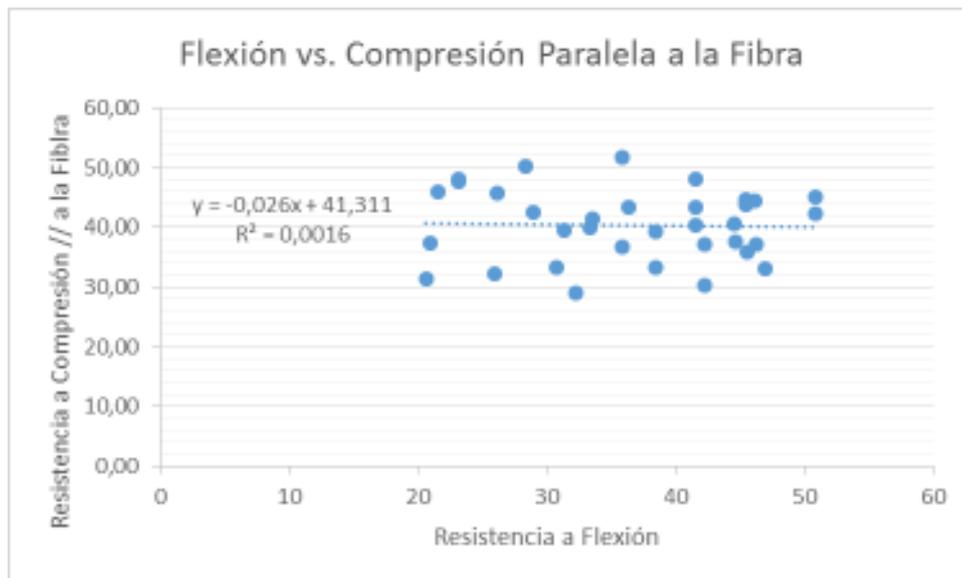


Fig. 3: Correlación entre las resistencias a flexión y compresión paralela a la fibra

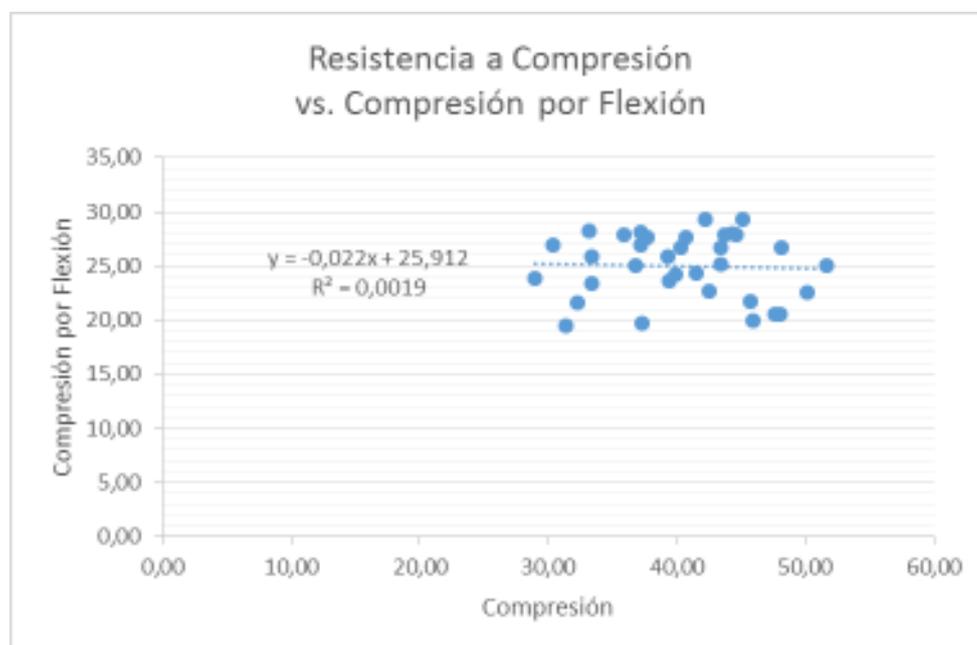


Fig. 4: Correlación entre resistencia a compresión paralela a la fibra obtenida en ensayos vs. resistencia a compresión por flexión

## 6. Conclusiones

De los resultados obtenidos en los ensayos y del análisis del presente informe pueden concluirse los siguientes comportamientos:

Para las muestras ensayadas se puede considerar un valor característico de resistencia a compresión paralela a la fibra de 31 N/mm<sup>2</sup>.

La ecuación que propone la norma IRAM 9664<sup>R2</sup> no necesariamente se ajusta al comportamiento de todas las especies.

Para el caso particular de las muestras ensayadas, la ecuación de la norma IRAM 9664<sup>R2</sup> presenta un error del 56,35 % respecto a los valores de los ensayos realizados.

Se considera que se debe continuar con los ensayos realizados con un mayor número de muestras, y de cantidad de testigos por muestra, para obtener mayores y mejores conclusiones.

## **7. Referencias**

- <sup>R1</sup> Norma IRAM 9663, 2011. "Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural - Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas". Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. Buenos Aires, Argentina.
- <sup>R2</sup> Norma IRAM 9664, 2011. "Madera estructural - Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad". Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. Buenos Aires, Argentina.

# IMPLEMENTACIÓN DE UNA MICRORRED COMO ALTERNATIVA DE ABASTECIMIENTO ENERGÉTICO MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES

Autores: Schurlein, Alejandro E; Rodriguez Steinbrecher, Elisa M.

Tutor: Dr. Ing. Chezzi, Carlos M.

*Facultad Regional Concordia, Universidad Tecnológica Nacional.*

*Salta 277 (E3200EKE) Concordia, Entre Ríos.*

*eze.sc08@gmail.com*

*micaela.rs96@gmail.com*

## Resumen

La motivación del trabajo es la generación de energía eléctrica en una escuela rural a partir de paneles fotovoltaicos, con el objetivo de complementar la energía que actualmente se demanda de la red de distribución. Además se observa la necesidad de proponer soluciones que sean situaciones que motiven la búsqueda de un desarrollo sostenible en la comunidad. Se toma como caso particular de estudio la escuela N° 102 “Mesopotamia Argentina”, ubicada en la zona rural del departamento Villaguay, provincia de Entre Ríos. Se presentan el marco legal nacional y provincial que rige y avala el desarrollo de las nuevas fuentes de energía no contaminantes, y los conceptos teóricos relacionados. Se realiza el dimensionamiento del sistema generador de acuerdo a las necesidades de la institución y se analizan las ventajas, las desventajas y la importancia de esta como estructura de incorporación de energía eléctrica generada a partir de fuentes renovables al sistema eléctrico convencional.

**Palabras clave:** Microrred, energías renovables, energía solar, generación distribuida.

## 1. Introducción

El crecimiento económico y poblacional son dos factores que influyen en el incremento del consumo de energía en un país [1] y es un hecho conocido el cambio climático, así como la influencia que han tenido en este las energías fósiles [2].

Argentina no se encuentra ajena a esta situación, la matriz energética eléctrica del país está basada en generación hidroeléctrica y térmica a través de energías fósiles [3]. El 64,8% de la generación es a partir de energías fósiles, el 4,2% a partir de nuclear, y solo el 0,5% a partir de energías renovables [4].

En el programa Renovar [5] se detallan las bases y condiciones de una convocatoria que estimula la incorporación de tecnología para la generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables en el Mercado Eléctrico Mayorista, junto con las Leyes Nacionales [6] N° 26190, N° 27191 y N° 27424 aprobadas en estos últimos dos años; han demostrado el interés político y la búsqueda de nuevas estrategias en materia de las energías renovables.

La Ley Nacional N° 27424, aprobada el 30 de noviembre de 2017, fomenta la generación distribuida de energía eléctrica. En su contenido define generación distribuida “a la generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables, por usuarios del servicio público de distribución que estén conectados a la red del prestador del servicio y reúnan los requisitos técnicos que establezca la regulación para inyectar a dicha red pública los excedentes del autoconsumo”.

La provincia de Entre Ríos aprueba la ley N° 10499 [7], en adhesión a la Ley Nacional N° 26190 y su modificación en la Ley Nacional N° 27191, las cuales fomentan el uso de fuentes renovables de energía y se declara de interés provincial la investigación, el desarrollo, la generación, la explotación, la transmisión, la distribución, la comercialización y el uso sustentable de energías alternativas. Lo que muestra que en la provincia de Entre Ríos se dan las condiciones legales para el desarrollo de las energías renovables en el sector de pequeños consumidores.

Del análisis local se observa la necesidad de incorporar energía eléctrica a partir de fuentes renovables, con prioridad en las escuelas rurales debido a condiciones particulares. Por ello, en este trabajo se presenta una propuesta técnica para la generación de electricidad a partir de energía solar en un establecimiento educativo rural, con el fin de producir la energía que consume. Es de relevancia para el desarrollo de la generación distribuida conocer el concepto de microrred

[8]. Una microrred comprende una porción de la red de distribución, generalmente en baja tensión, la cual puede contener: (i) clientes que requieren energía eléctrica, (ii) generadores eléctricos de distintos tipos (solares fotovoltaicos, eólicos de pequeña capacidad, generadores diesel, etc.) y (iii) sistemas de almacenamiento de energía. Ésta facilita la inclusión de la generación distribuida en las redes eléctricas convencionales, pues permite una coordinación exitosa entre los distintos generadores y una eficiente gestión de la energía. Una ventaja que posee una microrred es la capacidad de funcionar en modo isla, permitiendo mantener al servicio activo ante una eventual falla de la red de distribución; sin embargo la variabilidad de los recursos renovables debe compensarse con generación estable, cualidad que presentan los combustibles fósiles [9].

## 2. Desarrollo para la configuración de la propuesta

El diseño de la propuesta técnica se fundamenta en una metodología que consiste en el conocimiento de las características de consumo de energía, la disponibilidad de fuentes renovables y en función de las mismas la aplicación de un método de cálculo [10] para el dimensionamiento del sistema generador.

Por ello, en este caso se presenta la situación de la institución, su consumo, la estimación de la carga y el dimensionamiento del número de paneles del sistema.

### 2.1. Situación de la institución

En este trabajo se considera el caso particular de la escuela rural N° 102 “Mesopotamia Argentina”, ubicada en el paraje Zenón Roca, Lucas Sur II, en la zona rural del departamento Villaguay, a 55 km de la ciudad cabecera del departamento. Se trata de una escuela constituida por un grupo de doce alumnos en todos los niveles y de una docente que cumple las funciones de enseñanza y dirección. Cuenta con dos aulas y vivienda para la docente, la cual es habitada durante todo el año. Dependiendo del servicio de energía eléctrica de la Cooperativa Eléctrica y Otros Servicios de Villaguay Ltda.

De las experiencias observadas se destaca que el servicio de energía eléctrica en la zona rural tiene factores como son los caminos en mal estado, combinados con lluvia, que ante eventualidades y fallas dificultan el acceso al personal de mantenimiento y en consecuencia la correspondiente interrupción del servicio por periodos prolongados de tiempo.

La mencionada institución sufre repetidas interrupciones del servicio, por lo cual tener un sistema de generación propio con fuentes renovables solucionaría este problema y sería un modelo para la comunidad.

### 2.2. Consumos de energía de la escuela

El consumo de energía de la institución se contabiliza en los ocho períodos bimestrales de facturación y se detalla en la Tabla 1.

Tabla 1: Consumos de energía por periodos.

Periodo	Rango de tiempo	Consumo [kWh]
01/2017	20/12/16-21/02/17	799
02/2017	22/02/17-21/04/17	760
03/2017	21/04/17-21/06/17	1024
04/2017	21/06/17-22/08/17	950
05/2017	22/08/17-23/10/17	961
06/2017	23/10/17-22/12/17	721
01/2018	22/12/17-22/02/18	967
02/2018	22/02/18-20/04/18	634

Tomando los datos de la Tabla 1 se calculan el promedio mensual (Ecuación 1) y el promedio diario (Ecuación 2) de consumo de energía, el sistema a dimensionar debe generar tanta o más energía que el consumo promedio de la institución.

$$E_{\text{mensual}} = 426 [kWh] \quad (1)$$

$$E_{\text{diario}} = 14,2 [kWh] \quad (2)$$

### 2.3. Estimación de carga

La estimación de carga se realiza para conocer la demanda máxima simultánea de potencia aparente a la cual estará sometido el sistema generador.

Tabla 2: Estimación de carga.

Elemento	Potencia aparente[VA]
Heladera	920
Decodificador	15
Freezer	500
Horno	1500
Estufa	1350
Iluminación	126
Aire acondicionado	2000
Ventilador	115
Televisor	100
Computadora	77
Total: 6703	

Para realizar la estimación de carga se considera primero la potencia activa demandada por cada elemento y el valor del coseno  $\phi$ , un parámetro que relaciona la potencia activa con la potencia aparente demandada por el elemento. En la Tabla 2, se determina que la potencia aparente máxima simultánea es 6703 [VA]. Este valor luego es afectado por dos coeficientes y define la potencia del inversor necesario en el sistema.

### 2.4. Cálculo de los paneles

El cálculo de la cantidad de paneles a instalar se realiza en base a los datos de la inclinación óptima de los mismos y de la irradiación local, considerándose irradiación solar a la energía que llega del sol por unidad de superficie. Con el dato de inclinación óptima del plano se conoce la irradiación que puede captar el panel solar, y con este valor la energía generada por el mismo.

#### 2.4.1. Determinación de la inclinación de los paneles

Existen dos configuraciones de sistemas de captación de energía solar: el sistema móvil y el sistema fijo. El sistema móvil varía el ángulo de inclinación del panel en función de la trayectoria solar para optimizar la captación de radiación directa, lo cual mejora la capacidad de generación de energía. El sistema fijo mantiene estáticos los paneles, permite un único ángulo de inclinación, por lo que la captación de radiación directa no es la máxima a lo largo del día. Se considera este sistema teniendo como criterios el menor costo económico y la menor exigencia de mantenimiento en relación al móvil. El ángulo de inclinación del panel en un sistema fijo se determina para maximizar la generación de energía a lo largo de todo el año.

Tabla 3: Ángulo de inclinación óptima.

Latitud del lugar	Angulo De inclinación $\alpha$
0° a 15°	15°
15° a 25°	= Latitud
25° a 30°	Latitud + 5°
30° a 35°	Latitud + 10°
35° a 40°	Latitud + 15°
> 40°	Latitud + 20°

En la Tabla 3 [10] se presentan los ángulos aproximados de inclinación en base a las coordenadas geográficas. En función de las coordenadas del lugar: latitud 31° 32' S y longitud 58° 46' O, se concluye que el ángulo es  $\alpha=41^\circ$  en este caso de estudio.

## 2.4.2. Irradiación solar

En la Tabla 4 se presentan los valores de irradiación solar mensual promedio obtenidos de un periodo de 22 años [11], para distintos ángulos de inclinación del plano.

Tabla 4: Datos de irradiación solar [kW/m<sup>2</sup>].

Inclinación	Enero	Feb.	Mar.	Abril	Mayo	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
0°	6,94	6,02	4,94	3,65	2,79	2,24	2,52	3,34	4,60	5,30	6,53	6,95
18°	6,77	6,11	5,35	4,27	3,54	2,94	3,27	4,04	5,14	5,50	6,43	6,70
33°	6,25	5,86	5,39	4,54	3,96	3,35	3,70	4,40	5,31	5,37	6,00	6,24
48°	5,44	5,31	5,16	4,57	4,16	3,58	3,92	4,51	5,19	4,98	5,28	5,29
90°	2,48	2,80	3,23	3,44	3,50	3,16	3,40	3,55	3,51	2,76	2,50	2,37

Para la determinación del valor de irradiación indicado en la Ecuación 3, se considera como criterio tomar el del mes de junio, por ser en la zona elegida el que presenta la menor irradiación y una inclinación de 48°, este valor es el más próximo a los 41° óptimos determinados anteriormente.

$$I = 3,58 \left[ \frac{kW}{m^2} / día \right] \quad (3)$$

## 2.4.3. Energía generada por un panel

En el método de cálculo de la energía generada se utiliza el concepto de Hora Solar Pico (HSP). Se trata de un parámetro que representa el número de horas durante las cuales la irradiación solar tiene un valor de 1 [kWh/m<sup>2</sup>]. El valor de irradiación se utiliza para calcular la cantidad de horas solares pico, con las cuales se determina la energía generada por el panel. Esto permite calcular la cantidad de paneles necesarios para abastecer la demanda de la institución.

### 2.4.3.1. Hora solar pico

El número de horas solares pico se determina a partir de la Ecuación 3 y el valor de irradiación de una hora solar pico. Las horas solares picos se calculan con la siguiente ecuación:

$$HSP = \frac{I}{1 \frac{kW}{m^2} / h} = \frac{3,58 \left[ \frac{kW}{m^2} / día \right]}{1 \left[ \frac{kW}{m^2} / h \right]} = 3,58 h / día \quad (4)$$

La Ecuación 4 indica que en el mes de junio y en la ubicación de la escuela, durante 3,58 hs al día la irradiación tendrá un valor de 1000 [W/m<sup>2</sup>]. Conocer el valor de HSP facilita el cálculo de la energía generada.

Tabla 5: Especificaciones técnicas del panel seleccionado.

Potencia máxima (Wp)	250W
Voltaje nominal	31,02V
Corriente (Imp)	8,06A
Tensión en circuito abierto (Voc)	36,99V
Corriente en cortocircuito (Isc)	8,62A
Tensión máxima	1000VCC (IEC) / 600 VCC (UL)
Celda solar	Silicio policristalino

De la Tabla 5 se obtiene el valor de potencia máxima del panel elegido, el valor de HSP está dado en Ecuación 4, multiplicando ambos se obtiene la energía que genera un panel.

$$E_{panel} = W_p * HSP = 250 * 3,58 = 895 [Wh / día] \quad (5)$$

El número de paneles necesarios se determina a partir de la energía consumida diariamente y la energía que puede generar cada panel.

$$N_{panel} = \frac{E_{dia}}{E_{panel}} = \frac{14,2 \text{ kwh/dia}}{0,895 \text{ kwh/dia}} = 15,86 = 16 \text{ paneles} \quad (6)$$

La conexión de los paneles es una configuración serie-paralelo. Se conectan ocho paneles en serie por línea y dos líneas en paralelo, la tensión de circuito abierto es de 295,92 [Vcc], valor acorde a las características de alimentación del inversor.

#### 2.4.4. Cálculo del inversor

El inversor es un dispositivo que tiene como función cambiar la tensión de entrada de corriente continua, generada por el sistema solar, a una tensión de salida en corriente alterna. Como regla de diseño [10], se selecciona un inversor cuya potencia de salida es un 25% mayor que la potencia aparente requerida por la carga, se contemplan así posibles variaciones no previstas de ésta. Se aplica también un factor de simultaneidad (FS) obtenido de la Tabla 6, el cual relaciona la potencia máxima que puede entregar el sistema con la potencia máxima de todos los elementos que demandan energía en la instalación Tabla 2.

$$S_{inv} = 1,25 * S_{carga CA} * FS = 1,25 * 6703 * 0,9 = 7540 [VA] \quad (7)$$

Tabla 6: Factor de simultaneidad [10].

Grado de electrificación	Superficie	Demanda de potencia máxima simultánea	Factor de simultaneidad (FS)
Mínimo	Hasta 60m <sup>2</sup>	Hasta 3,7 kVA	1
Medio	Más de 60m <sup>2</sup> ; hasta 130m <sup>2</sup>	Hasta 7 kVA	0,9
Elevado	Más de 130m <sup>2</sup> ; hasta 200m <sup>2</sup>	Hasta 11 kVA	0,8
Superior	Más de 200m <sup>2</sup>	Más de 11kVA	0,7

Los datos de la Tabla 6 son similares a los presentados por la reglamentación AEA 90364.

Considerando el valor de la potencia que debe entregar el sistema y la disponibilidad comercial de los productos se debe seleccionar el inversor adecuado.

### 3. Conclusión

Un sistema conectado a la red permite el flujo de energía desde y hacia la misma. En este trabajo se considera que el balance final de energía entregada y obtenida de allí debe ser nulo, o con un resultado positivo para la institución. La implementación de tal sistema es un estímulo para fomentar en la comunidad rural la generación de electricidad a partir de fuentes renovables y los beneficios que estas presentan. Se trata de una herramienta para generar conciencia respecto a la importancia que tienen las energías renovables, y a cómo cada individuo puede participar activamente en la búsqueda de la solución a los problemas del cambio climático. Se debe destacar la posibilidad que poseen comunidades pequeñas donde se desarrolle la generación de energía a partir de fuentes renovables, de conformar microrredes. La microrred permite la integración de la generación distribuida y la gestión de la energía de forma que disminuyen las pérdidas por el transporte, la capacidad de funcionar aisladas del sistema interconectado brinda la posibilidad de mejorar el servicio en zonas donde éste es deficiente. De esto se concluye que existe un futuro prometedor para las energías renovables en zonas rurales, y casos particulares como el que se considera en este trabajo son un importante ejemplo en la comunidad para fomentar su desarrollo.

#### 4. Referencias

- [1] C. A. Barreto Nieto, J. Campo Robledo. Relación a largo plazo entre consumo de energía y PIB en América Latina. *Ecos de Economía*. N° 35. pp 73 – 89. Julio – diciembre 2012.
- [2] Fernando Estenssoro Saavedra. Crisis ambiental y cambio climático en la política global: un tema crecientemente complejo para América Latina. *Revista UNIVERSUM*. N° 25 Vol. 2 pp 57–77. Julio 2010.
- [3] Centro de Investigación y Planeamiento Energético. Universidad Nacional de San Martín. <http://unsam-eeyn.com/publicaciones/energia/como-se-genera-la-energia-electrica-en-argentina>.
- [4] Informe Anual 2017 CAMMESA. <http://www.cammesa.com>
- [5] Programas RenovAr. Ministerio de Energía y Minería de la Nación. <http://www.energia.gov.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=4127>
- [6] Ley Nacional N° 26190. Régimen de Fomento Nacional para el uso de fuentes renovables de energía destinada a la producción de energía eléctrica. Sancionada el 6 de diciembre de 2006.
- Ley Nacional N° 27191. Modificaciones a la Ley Nacional N° 26190. Sancionada el 23 de septiembre de 2015.
- Ley Nacional N° 27424. Régimen de Fomento a la Generación Distribuida de Energía Renovable Integrada a la Red Eléctrica Pública. Sancionada 30 de noviembre de 2017.
- [7] F. Katiraei, R. Iravani, N. Hatzargyriou, A. Dimeas. Gestión de Microrredes. *Power and Energy Magazine, IEEE*. Vol 6. N°3. pp 54-65. Mayo – Junio 2008.
- [8] C. Bordons, F. Garcia-Torres, L. Valverde. Gestión Óptima de la Energía en Microrredes con Generación Renovable. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial*. N° 12. pp 117 – 132. Año 2015.
- [9] Ley provincial N° 10499. Adhesión a la Ley Nacional N° 26190 y Ley Nacional N° 27190. Promulgada el 7 de julio de 2017.
- [10] Diseño de un sistema solar fotovoltaico. Fundación Energizar. <http://www.energizar.org.ar>.
- [11] [eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?email=skip@larc.nasa.gov](http://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?email=skip@larc.nasa.gov)

# REVISIÓN DE MÉTODOS DE PRETRATAMIENTO DE BIOMASA LIGNOCELULÓSICA PARA LA OBTENCIÓN DE BIOETANOL DE SEGUNDA GENERACIÓN.

María del M. Mercatante, Ana Paula Vico, Ana Clara Morano

Tutores: Luis A. Toselli, Romina A. Beltrán.

Grupo de Investigación en Simulación para Ingeniería Química – GISIQ- UTN Facultad Regional Villa María. Av. Universidad 450, Villa María, Córdoba, Argentina.

milagro-mercatante@live.com.ar

## Resumen

Se plantea una revisión integral de los métodos de pretratamiento existentes para la obtención de bioetanol 2G a partir de desechos agrícolas que presentan mayor potencial para su aplicación, tales como rastrojo de maíz y otros que resulten de interés regional, como una etapa preliminar de estudios a realizar en el GISIQ. La biomasa lignocelulósica representa una de las fuentes más abundantes y es considerada como la de mayor interés para su elaboración. Aun cuando este es su atractivo principal el proceso global que cuenta con las etapas de pretratamiento, hidrólisis, fermentación y concentración, todavía presenta varios desafíos técnicos y económicos que deben superarse. La revisión desarrollada ha permitido identificar algunos métodos químicos y termoquímicos que resultan de mayor interés para abordar, a futuro, la fase experimental y definir requerimientos de equipamiento necesarios.

## Introducción

La bioenergía es una de las fuentes de energía renovables que puede reemplazar en parte el uso de los combustibles fósiles, debido a esto y al incremento de las necesidades energéticas, las investigaciones sobre distintas alternativas de producción de bioetanol han crecido sistemáticamente en los últimos años, ya que éste es hoy el más común de los combustibles renovables y puede ser obtenido biológicamente a partir de una gran variedad de materiales primas (Berndes et al, 2003) (Chen et al, 2010).

El llamado bioetanol de primera generación es producido a partir de sustancias que contienen azúcares, como el jugo de la caña de azúcar, la remolacha azucarera o materiales basados en almidón como el maíz. En cambio, el de segunda generación - 2G - es obtenido a partir de materia prima sustentable que no puede ser usada directamente en la industria alimenticia. Su atractivo principal es la alta disponibilidad en diversos climas y localidades y su aplicación significaría menor agotamiento de recursos y una casi nula interferencia sobre el precio de los alimentos (Escobar et al, 2009).

La lignocelulosa es el principal componente de la pared celular de las plantas y una fuente de carbono renovable. De manera general se puede resumir que la biomasa lignocelulósica se compone de: celulosa (35-50% en peso, base seca), hemicelulosas (15-30%), pectina (2-5%) y lignina (12-35%). La celulosa y las hemicelulosas, que significan más del 50% de su masa total, pueden convertirse potencialmente en azúcares para su posterior transformación a etanol. El mayor problema de dicha biomasa es que la combinación de hemicelulosa y lignina proporciona una cubierta protectora alrededor de la celulosa que debe modificarse o eliminarse antes de que pueda producirse una hidrólisis eficiente de la celulosa a azúcares fermentables. Además, la estructura cristalina de orden superior de la celulosa es también un obstáculo para la hidrólisis. Para hacer que la celulosa y la hemicelulosa sean accesibles para la digestibilidad enzimática y así lograr altos rendimientos, se debe llevar a cabo una etapa de pretratamiento (Chen and Liu, 2014) (Cheng, et al, 2015)

## Desarrollo

El pretratamiento es la etapa necesaria para fraccionar el material lignocelulósico en los componentes fundamentales: lignina, hemicelulosa y celulosa y modificar la estructura del material de manera que la enzima pueda penetrar en las fibras y hacerlas susceptibles a la acción enzimática. Un pretratamiento eficaz es aquel que mejora la capacidad para formar, posteriormente, azúcares por hidrólisis, evita la degradación o pérdida de fracciones de pentosa presentes en la hemicelulosa, evita la formación de subproductos inhibidores en la posterior etapa de hidrólisis y fermentación y sea económicamente rentable. En la figura 1 se muestra un esquema básico del proceso general de obtención de etanol a partir de material lignocelulósico.

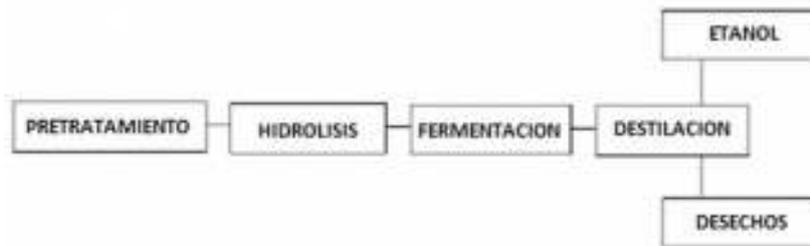


Figura 1. Esquema básico de proceso para obtención de bioetanol 2G.

Los métodos de pretratamiento pueden ser clasificados en general como: Biológicos, Físicos, Termofísicos, Termoquímicos y Químicos (Cheng et al, 2015) (Madadi et al, 2017). En la figura 2 se resumen distintas variantes específicas.

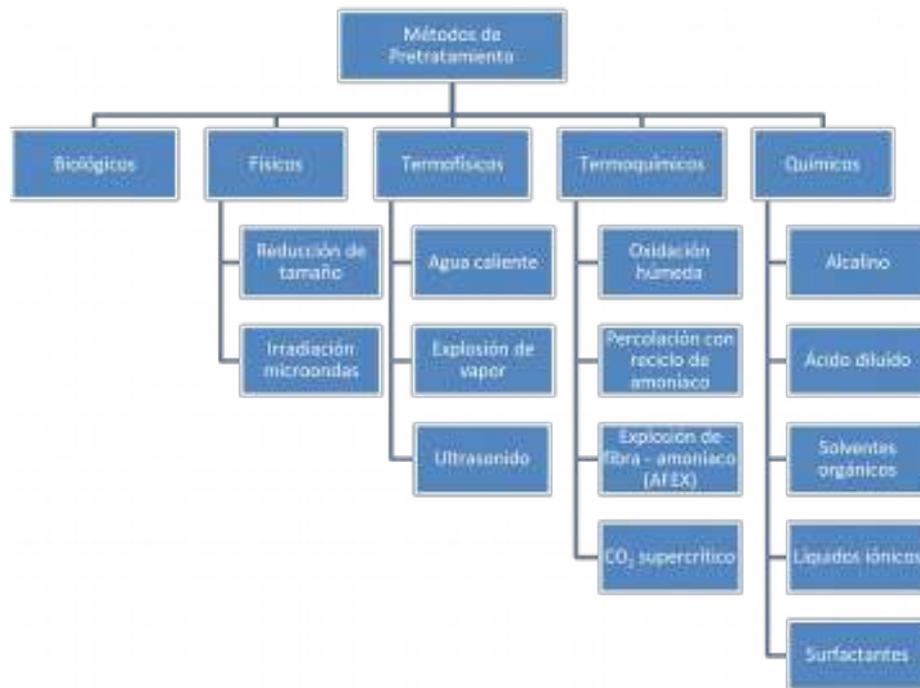


Figura 2. Distintos pretratamientos para material lignocelulósico (adaptado de Madadi et al., 2017)

### Métodos de pretratamiento

- **Biológicos:** emplean microorganismos que degradan la biomasa lignocelulósica en condiciones suaves. Se han explorado bacterias y hongos, pero aquellos asociados con la descomposición de la madera son la especie predominante, particularmente hongos white-rot debido a sus abundantes enzimas ligninolíticas, incluyendo lignina peroxidasa, manganeso peroxidasa y otras enzimas, además de una mejor selectividad en la degradación de la lignina. Este pretratamiento permite ahorrar energía y es amigable con el medio ambiente. Sin embargo, presenta desventajas como una velocidad de degradación extremadamente baja que requiere tiempos largos para lograr un cambio significativo en la estructura de la biomasa. Durante el proceso se produce una pérdida de material, debido a la conversión de la lignina en fragmentos de bajo peso molecular y de los azúcares liberados de las hemicelulosas e incluso celulosa que son utilizadas como fuente de carbono. Finalmente, el control del crecimiento microbiano y el metabolismo en condiciones de fermentación con mezclas de especies no es confiable, lo que afecta a los procesos posteriores, como la hidrólisis de celulosa y la fermentación a etanol. Por lo tanto, el pretratamiento biológico resulta menos atractivo desde el punto de vista de su aplicación comercial (Ewanick and Bura, 2011), (Ferreira, 2014), (Maurya et al, 2015).

- **Físicos:** la molienda es uno de los métodos mecánicos a través del cual se aumenta el área de superficie de la biomasa, modifica el grado de polimerización y reduce la cristalinidad de la celulosa, haciéndola más sensible a la acción enzimática de las celulasas. Sin embargo, la demanda de energía para reducción de tamaño de la materia prima es extremadamente alta, lo cual no lo hace rentable. La

irradiación por rayos gamma y microondas puede mejorar la hidrólisis enzimática de las lignocelulosas. La combinación de la irradiación y otros métodos, como el tratamiento con ácido, puede acelerarla aún más. Sin embargo, su desventaja es la dificultad para procesar grandes cantidades de materia prima, debiendo considerarse además el requerimiento específico de energía para su generación.

*Termofísicos:* la explosión de vapor (SE) implica calentar la materia prima a temperaturas y presiones elevadas durante un breve período de tiempo, seguido de la despresurización del sistema para romper la estructura de los complejos carbonados de lignina. Los principales parámetros son la temperatura/presión y el tiempo de operación, que deben ajustarse en función de las distintas materias primas. Se trabaja a temperaturas de 160 a 260°C, con tiempos de retención de unos pocos minutos (Han, 2010). Este método presenta algunas limitaciones en cuanto a cantidad de material a procesar, variaciones de pH al formarse inhibidores por la degradación de azúcares en condiciones ácidas. El uso de ultrasonido resulta, en general, en una reducción del tiempo de pretratamiento y del requerimiento químico/enzimático. Su aplicación permite modificar la estructura de la pared celular, aumentar el área superficial y disminuir el grado de polimerización, aun cuando su efecto resultará muy dependiente del tipo de materia prima lignocelulósica. Su efectividad será mayor en combinación con otros métodos.

*Termoquímicos:* en la oxidación húmeda la biomasa es sometida a la acción de agua a elevadas temperaturas (160–180 °C) en presencia de oxígeno operando con sobrepresión en el reactor. Resulta adecuada para biomásas que tienen alto contenido de lignina (Varga et al, 2003). La temperatura, el tiempo de reacción y la presión de oxígeno resultan los principales parámetros de proceso y afecta a todas las fracciones de materiales lignocelulósicos presentes. Las hemicelulosas se escinden a azúcares de bajo peso molecular solubles en agua, la lignina sufre escisión y oxidación y la celulosa es parcialmente degradada. Su mayor desventaja es la necesidad de operar a alta temperatura y presión con la presencia de agentes oxidantes fuertes como peróxido de hidrógeno, lo cual implica mayores costos limitando su aplicación a gran escala. Los costos de oxígeno y catalizador resultan otra cuestión que debe considerarse (Chundawat et al., 2011).

Percolación con reciclo de amoníaco es un pretratamiento que se realiza con una solución de amoníaco en agua (5-15% p/p), que circula a través de la biomasa a temperaturas de 150 a 180° C; después del pretratamiento se separa y recicla el amoníaco. Bajo estas condiciones, éste reacciona inicialmente con la lignina causando su despolimerización y rompiendo los enlaces entre la lignina y los carbohidratos. Como desventaja presenta la recirculación de una gran cantidad de líquido sobre la materia prima, aumentando la demanda de requerimientos energéticos (Kim y col. 2003) (Tae et al, 2006).

En la explosión de la fibra con amoníaco (AFEX), la biomasa se trata previamente con amoníaco líquido anhidro a temperaturas entre 60 -100 °C y alta presión. Cuando se produce su despresurización rápida ocurre la expansión del gas del amoníaco que provoca el hinchamiento de la biomasa, lo que ocasiona el rompimiento de los enlaces complejos carbonados de lignina y crea superficies más accesibles para la hidrólisis enzimática. Este proceso reduce la fracción de lignina mientras que las de hemicelulosa y celulosa permanecen intactas. Como ventajas se destaca un menor consumo de energía y de formación de inhibidores al operar a baja temperatura. Sin embargo, es necesaria la recuperación del evaporado lo cual demanda una mayor inversión y consumo de energía (Harun, 2013), (Langan et al, 2014).

La explosión con CO<sub>2</sub> supercrítico implica la ventaja de utilizar un solvente verde que no emite vapores tóxicos. Se han investigado sus parámetros de operación tales como: temperatura, presión, tiempo, relación de biomasa / solvente seco, contenido de agua, entre otros, para su aplicación a diversos tipos de biomasa. Sin embargo, pese a utilizar un solvente de bajo costo requiere del uso de altas presiones, lo cual se presenta aún como una desventaja para aplicación a gran escala (Gu et al, 2013).

*Químicos:* el pretratamiento alcalino que hace uso de diversos álcalis como el hidróxido de sodio, hidróxido de calcio y amoníaco acuoso, es un proceso de deslignificación. También elimina el acetilo y otras sustituciones ácidas en las hemicelulosas y produce el hinchamiento de la biomasa, lo cual conduce a la disminución del grado de polimerización, la cristalinidad de la celulosa y al aumento de área superficial. Su eficiencia depende de las características de la biomasa y las condiciones de reacción, resultando, generalmente, más significativo con cultivos herbáceos y residuos agrícolas de un contenido relativamente bajo de lignina. Presenta ventajas de operar con baja temperatura y presión aun cuando requiere de tiempo prolongados. Las sales que se originan, además de presentar un condicionamiento de tipo ambiental, resulta un problema a considerar para no afectar luego a la fermentación.



los surfactantes proponiéndose que estos alteran la estructura del sustrato haciéndola más accesible a la acción de la enzima, estabilizan las mismas previniendo su desnaturalización, mejoran su interacción con el sustrato y reducen una adsorción no productiva de ellas, pero aún no se ha alcanzado una explicación definitiva (Eriksson et al, 2002), (Helle et al, 1992), (Cao and Aita, 2013), (Zhou et al, 2015). En la figura 3 se presenta un resumen de información de tipo cuali-cuantitativo para veinte métodos de pretratamiento tomando en consideración dieciocho criterios comparativos que ha sido presentado en la literatura científica. Este permite visualizar de manera sintética un inmenso volumen de información existente al respecto (Kumar et al., 2016), (Dale and Ong, 2012).

### Perspectivas futuras

La revisión bibliográfica presentada constituye una etapa preliminar de trabajo sobre una temática específica que será abordada en el GISIQ a partir del año en curso en el contexto de la idea proyecto “Obtención de Bioetanol de Segunda Generación a Partir de Desechos Celulósicos de Interés Regional” a desarrollar en el Programa Concertado con Empresas (PCE - Porta HNOS) cuyo financiamiento fue aprobado por el Directorio de la ANPCyT, a través de la Resolución N° 258 del 26 de abril de 2018. Imágenes relacionadas con las primeras experiencias de operación a escala laboratorio que se han realizado se muestran en la figura 4 (a) (b) (c) (d). En (a) se pueden observar resultados de los primeros ensayos de molienda de uno de los tipos de residuos lignocelulósicos de interés regional que, a futuro, serán objeto de estudio. Se muestra en (b) los equipos utilizados a escala laboratorio. A efectos de determinar parámetros de operación se trabajó en dos etapas: tratamiento primario en molino de cuchillas seguido de la desintegración final del material con aplicación de un equipo de alta velocidad, determinándose tiempos y evaluando granulometrías finales pretendidas que resulten válidas para algunos de los pretratamientos que se han seleccionado. En (c) se presenta un croquis general de un reactor para aplicaciones múltiples, actualmente en construcción, que será utilizado para trabajar con pretratamientos de tipo químico y termoquímico. Finalmente, en 4 (d) puede verse el equipo ya desarrollado para operaciones con sistema de explosión de vapor. El proyecto en cuestión se enmarca, además, en el contexto del convenio existente con la citada empresa para asistencia técnica y desarrollo tecnológico y anexo específico para uso compartido de equipamientos y laboratorios para el desarrollo conjunto de actividades de I+D.

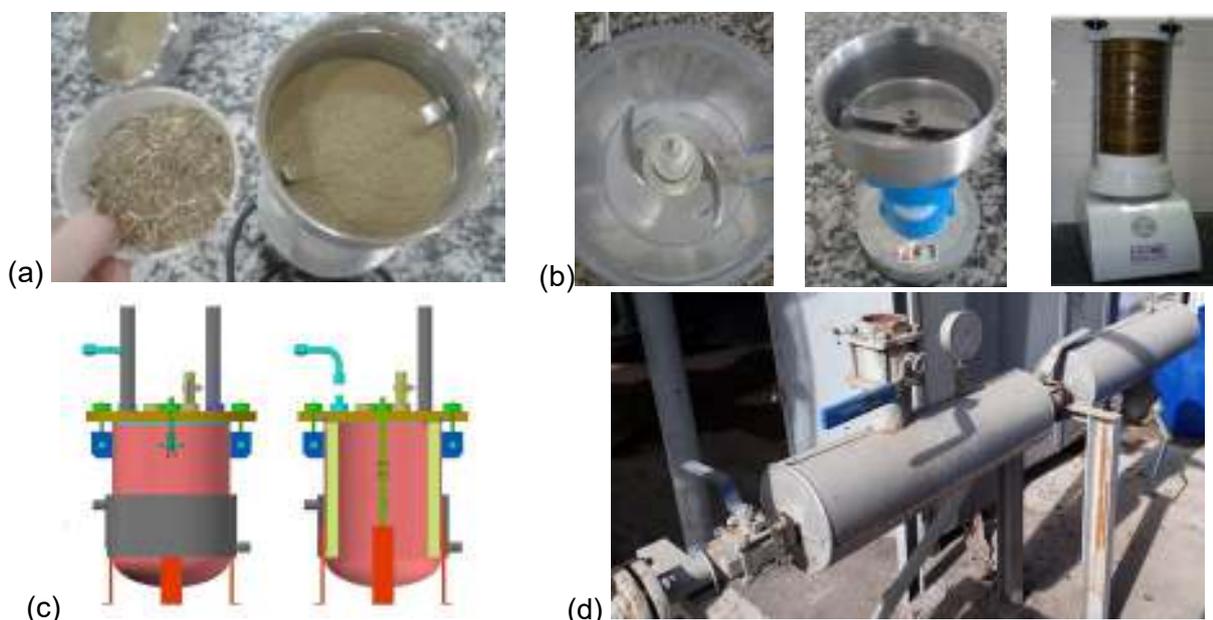


Figura 4: (a) material lignocelulósico molido y micronizado. (b) molino - micronizador – zonytest. (c) reactor para pretratamientos múltiples. (d) equipo para operación por explosión de vapor

### Conclusiones

Se ha podido evaluar las ventajas y desventajas que presentan los métodos de pretratamiento y considerar otras cuestiones específicas del proyecto a desarrollar como, por ejemplo, características físicas y composicionales de los materiales lignocelulósicos que presenta mayor interés regional, las posibilidades presupuestarias, equipamiento experimental disponible y otros a desarrollar/adquirir relacionados con el proceso y su control, además de la disponibilidad real de otros recursos. Se ha

decidido finalmente focalizar el estudio en pretratamientos combinados de tipo químico (alcalinos, ácido diluido, solventes, surfactantes) y termoquímico (explosión de vapor), no descartando, a futuro, la aplicación de otras opciones.

## Referencias

- Berndes G., Hoogwijk M., Van den Broek R., *The contribution of biomass in the future global energy supply: a review of 17 studies*, Biomass Bioenergy. 25, 1 – 28, (2003).
- Cao S. and Aita G. *Enzymatic hydrolysis and ethanol yields of combined surfactant and dilute ammonia treated sugarcane bagasse*, Bioresource Technology 131, 357–364, (2013).
- Chen H. and Qiu W. *Key technologies for bioethanol production from lignocellulose*. Biotechnol. Adv. 28, 556–562, (2010).
- Chen, H. and Liu., Z.H., *Multilevel composition fractionation process for high-value utilization of wheat straw cellulose*. Biotechnol. Biofuels 7, 137, (2014)
- Cheng G., Zhang X., Simmons B. and Singh, S. *Theory, practice and prospects of X-ray and neutron scattering for lignocellulosic biomass characterization: towards understanding biomass pretreatment*. Energ. Environ. Sci. 8,436–455. (2015).
- Chundawat S., Donohoe B., da Costa Sousa L., Elder, T., Agarwal U., Lu F. *Multi-scale visualization and characterization of lignocellulosic plant cell wall deconstruction during thermochemical pretreatment*. Energ. Environ. Sci. 4, 973–984. (2011).
- Dale, B. and Ong, R. *Energy, wealth, and human development: Why and how biomass pretreatment research must improve*. Biotechnol. Prog. 28, (4), 893-898 (2012).
- Escobar J., Lora E., Venturini O., Yanez E., Castillo E. and Almazan O., *Biofuels: environment, technology and food security*, Renewable Sustainable Energy Rev., 13, 1275 -1287, (2009).
- Ewanick, S., Bura, R. *The effect of biomass moisture content on bioethanol yields from steam pretreated switchgrass and sugarcane bagasse*. Bioresour. Technol. 102, 2651–2658. (2011).
- Ferreira, L., Nilsen, P., Polanco, F., Pérez-Elvira, S., *Biomethane potential of wheat straw: influence of particle size, water impregnation and thermal hydrolysis*. Chem. Eng. J. 242, 254–259. (2014).
- Gu T., Held M. and Faik A. *Supercritical CO<sub>2</sub> and ionic liquids for the pretreatment of lignocellulosic biomass in bioethanol production*, Environmental Technology, 34,13-14, 1735-1749, (2013).
- Han G., Deng J., Zhang S.Y., Bicho P. and Wu Q.L., *Effect of steam explosion treatment on characteristics of wheat straw*. Ind. Crops Prod. 31, 28–33, (2010).
- Harun S., Balan V., Takriff M., Hassan O., Jahim, J. and Dale B. *Performance of AFEX™ pretreated rice straw as source of fermentable sugars: the influence of particle size*. Biotech. Biofuels. 6, 40. (2013).
- Helle, S., Duff, S. and Cooper, D., *Effect of surfactants on cellulose hydrolysis*. Biotechnology and Bioengineering 42, 611–617, (1993).
- Jönsson L., Alriksson B and Nilvebrant N. *Bioconversion of lignocellulose: inhibitors and detoxification*. Biotechnol. Biofuels 6, 16, (2013).
- Kim T., Kim J., Lee Y., and Sunwoo C. *Pretreatment of corn stover by aqueous ammonia*. Bioresource Technology 90, 39-47. (2003).
- Kumar A and Sharma S. *Recent updates on different methods of pretreatment of lignocellulosic feedstocks: a review*. Bioresour. Bioprocess. 4,7. (2017).
- Kumar R., Tabatabaei M., Karimi K., Sarvari Horvath I. *Recent updates on lignocellulosic biomass derived ethanol - A review*. Biofuel Research Journal 9, 347-356, (2016).
- Langan, P., Petridis, L., O'Neill, H., Pingali, S., Foston, M and Nishiyama, Y. *Common processes drive the thermochemical pretreatment of lignocellulosic biomass*. Green Chem. 16, 63–68. (2014).
- Madadi M., Tu Y. and Abbas A. *Pretreatment of Lignocellulosic Biomass Based on Improving Enzymatic Hydrolysis*. Int. Journal Appl. Sci. Biotechnol. 5 (1), 1-11, (2017).
- Madadi M., Tu Y. and Abbas A. *Recent Status on Enzymatic Saccharification of Lignocellulosic Biomass for Bioethanol Production* Electronic Journal of Biology, 13, (2): 135-143-, 2017.
- Maurya D., Singla A. and Negi S. *An overview of key pretreatment processes for biological conversion of lignocellulosic biomass to bioethanol*. Biotech 5, 597– 609, (2015).
- Qing Q., Yang B. and Wyman Charles *Impact of surfactants on pretreatment of corn stover*. Bioresource Technology 101, 5941–5951, (2010).
- Singhvi, M., Chaudhari, S and Gokhale, D., *Lignocellulose processing: a current challenge*. RSC Adv. 4, 8271–8277, (2014).
- Tae H., Lee Y., Sunwoo C. and Jun S. *Pretreatment of corn stover by low-liquid ammonia recycle percolation process*. Applied Biochemistry and Biotechnology 133, 41-57, (2006).
- Varga E., Schmidt A.S., Réczey K., and Thomsen A.B. *Pretreatment of corn stover using wet oxidation to enhance enzymatic digestibility*. Applied Biochemistry and Biotechnology 104, 37-50, (2003).
- Zhou Y., Chen H., Qi F., Zhao X., Liu D. *Non-ionic surfactants do not consistently improve the enzymatic hydrolysis of pure cellulose*. Bioresource Technology 182, 136–143, (2015).

## ANÁLISIS DE LOS PRINCIPALES MÉTODOS DE INMOVILIZACIÓN DE ENZIMAS

Ana Clara Morano, Ana Paula Vico.

Tutores: Vanina Monesterolo, Luis A. Toselli.

Grupo de Investigación en Simulación para Ingeniería Química – GISIQ- UTN Facultad Regional Villa María. Av. Universidad 450, Villa María, Córdoba, Argentina. ana.morano@live.com.ar

### Resumen

Las enzimas son catalizadores biológicos que presentan grandes ventajas sobre otros de tipo no biológico, entre ellas su elevada actividad catalítica a temperatura ambiente y presión atmosférica además de una alta especificidad respecto del sustrato. Sin embargo, la inestabilidad que desarrollan luego de ser aplicadas y la dificultad de separación de sustratos y productos, impiden su reutilización. Como opción se ideó inmovilizarlas a un soporte inerte permitiendo mejoras en cuanto a resistencia a cambios en las condiciones de operación. El objetivo de este trabajo está focalizado en el desarrollo de un análisis teórico de los principales métodos de inmovilización, evaluando ventajas y desventajas, a efectos de explorar alternativas de implementación con enzimas biológicas industriales obtenidas de semillas genéticamente modificadas, como opción tecnológica a desarrollar en el GISIQ, en el contexto de un convenio vigente con una empresa regional.

### Introducción

La inestabilidad que presentan las enzimas al ser aplicadas en procesos industriales y los problemas asociados a su separación de sustratos y productos, generalmente solubles en agua, dificultan su reutilización. Este déficit ha sido tema de estudio desde hace casi 50 años y como alternativa se propuso inmovilizarlas en un soporte inerte para que su uso resulte más eficiente, combinando una actividad elevada y específica con estabilidad química y mecánica de la matriz, mejorando su resistencia frente a cambios en las condiciones de operación (Buchholz y Klein, 1987; Heering et al., 2004; Wang y Caruso, 2005). Las enzimas físicamente confinadas o localizadas en una región retienen así sus propiedades y actividad catalítica, de manera permanente o temporal. Esta técnica, proporciona una separación más fácil del producto final, permite la reutilización, mayor estabilidad para condiciones extremas físicas y químicas, facilita su transporte y conservación y se puede aplicar en reactores continuos o batch, dando mayor versatilidad al proceso completo y resultando económicamente más viable (Dwevedi, 2016).

Es posible controlar la ubicación de las enzimas y modificar sus propiedades de manera selectiva. Esto puede lograrse por medio de sustratos naturales y/o sintéticos además de químicos a través de enlaces covalentes, con sustratos físicos que incluyen fuerzas electrostáticas, membranas o encapsulados por adición de agentes formadores de película, que protegen la enzima, permitiendo el paso de reactivos y productos de pequeño tamaño. Como desventajas, su actividad puede verse afectada por el mismo proceso por cambios conformacionales, variaciones en las propiedades cinéticas, limitaciones en la transferencia de masa, o la velocidad de difusión de sustratos y productos en el sistema. Los problemas mencionados no son aplicables a todos los tipos de sistemas inmovilizantes, La elección del método contempla en cada caso propiedades estructurales y mecánicas existentes (Arroyo, 1998). Se presenta una breve revisión del estado del arte, haciendo énfasis en los distintos métodos existentes y como inciden en sus propiedades específicas, evaluando sus ventajas y desventajas. Se discuten aspectos relacionados con la selección de soportes o matrices a efectos de explorar alternativas de implementación como un estudio preliminar del GISIQ para el tratamiento, a futuro, de procesos biotecnológicos de interés industrial

### Desarrollo

Las interacciones entre las propiedades de las enzimas y del material del soporte determinarán su comportamiento. Normalmente se las inmoviliza a través de algún tipo de interacción entre sus residuos aminoácidos y el soporte. Esto además puede producir pérdidas de actividad, al comprometer los aminoácidos del sitio activo o cercanos a éste. Como ventajas de su empleo se puede destacar, el aumento de su estabilidad, una eventual reutilización, disminuyendo los costos del proceso y la posibilidad de diseñar un reactor enzimático de fácil manejo y control, adaptado a la aplicación de un determinado tipo de enzima.

Las características de la matriz son de suma importancia para definir el rendimiento del sistema inmovilizado. Las propiedades de soporte ideales incluyen resistencia física a la compresión, hidrofobicidad, biocompatibilidad, resistencia al ataque microbiano, deben ser inertes y resultar fácilmente disponibles a bajo costo (Gemeiner, 1992). En la Tabla 1 se observa la clasificación de los soportes utilizados para la técnica mencionada.

Tabla 1: Clasificación de soportes (Adaptado de Brenay Batista Viera, 2006).

Orgánicos	<i>Polímeros naturales</i>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Polisacáridos: celulosa, dextranos, agar, agarosa, quitina, alginato</li> <li>• Proteínas: colágeno, albúmina</li> <li>• Carbono</li> </ul>
	<i>Polímeros sintéticos</i>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poliestireno</li> <li>• Otros polímeros: polimetacrilatos de poliacrilato, poliacrilamida, poliamidas, vinilo y polímeros de alilo</li> </ul>
Inorgánicos	<i>Minerales naturales:</i>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bentonita, sílice.</li> <li>• Materiales procesados: vidrio, metales, poro controlado, óxidos metálicos</li> </ul>

Las características físicas de las matrices como diámetro medio de partícula, hinchamiento, resistencia mecánica y comportamiento frente a la compresión son de gran importancia para su funcionamiento y determinarán el tipo de reactor que va a utilizarse para la operación. Los reactores operan con cargas elevadas de enzimas, mantienen su actividad durante más tiempo y pueden incluir el reciclado, lo que conduce a la obtención de productos con mayor pureza (Fang et al, 2011). Los principales tipos aparecen en la Figura 1. Las desventajas inherentes del proceso son: alteración de la conformación de la enzima respecto de su estado nativo, gran heterogeneidad del sistema enzima-soporte donde pueden existir distintas fracciones de proteínas inmovilizadas con diferente número de uniones al mismo, suele haber una pérdida de actividad durante su tratamiento y el biocatalizador es más caro que la enzima nativa (Wang y Caruso, 2004).

### Métodos de inmovilización

En general, los métodos de inmovilización se suelen clasificar en dos grandes categorías: Retención física y Unión química (Esquematizados en la Figura 2).

#### Métodos de inmovilización de enzimas por retención física

- Atrapamiento: Resulta por la retención física de la enzima en una matriz sólida porosa constituida generalmente por prepolímeros fotoentrecruzables o polímeros del tipo poliacrilamida, colágeno, alginato, agar, entre otros. El proceso se lleva a cabo mediante la suspensión de la enzima en una solución del monómero, seguida de una polimerización por un cambio de temperatura o la adición de un reactivo químico. El atrapamiento puede ser en geles o en fibras. En el primer caso, queda atrapada en el interior del gel y en el segundo se encuentra ocluida dentro de las micro-cavidades de una fibra sintética. Es un proceso experimentalmente sencillo y requiere de baja cantidad de enzima, presentando la ventaja de no

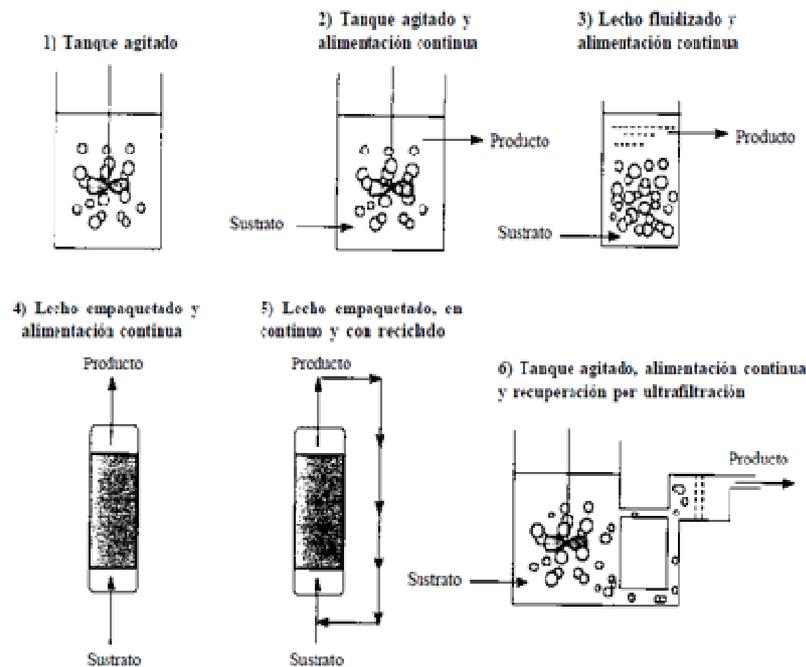


Fig. 1: Tipos de reactores enzimáticos (tomado de arroyo, 1998).

alterar su estructura aun cuando requiere un control riguroso de las condiciones de polimerización, para no modificar los grupos reactivos de la proteína(Data et al, 2013; Chen et al., 1999).

- Inclusión en membranas: Por microencapsulación, las enzimas están rodeadas por membranas semipermeables que permiten el paso de moléculas de sustrato y producto, pero no de ellas. Las microcápsulas obtenidas son de forma esférica, con tamaños comprendidos entre 1 y 100  $\mu\text{m}$  de diámetro. En tanto que los reactores de membrana emplean membranas permeables al producto final, permeables o no al sustrato inicial e impermeables a la enzima (Elnashar, 2010; Chen et al., 1999).

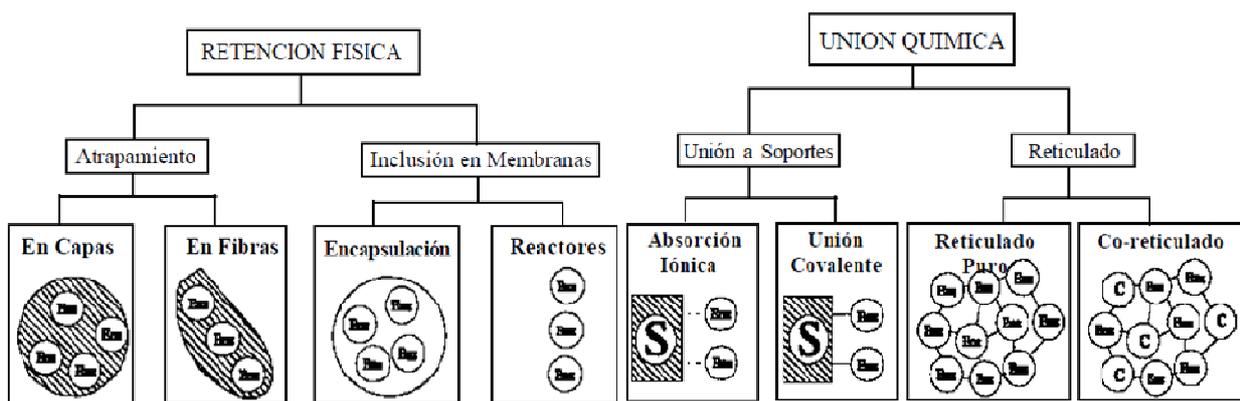


Fig. 2: Métodos de inmovilización por retención física y unión química (tomado de Arroyo, 1998).

### Métodos de inmovilización de enzimas por unión química

- Unión a soportes: Son los más utilizados y de los que se dispone de mayor información. La elección del soporte y del tipo de enlace resultan determinantes en el comportamiento posterior del biocatalizador. La inmovilización debe incrementar la afinidad por el sustrato, disminuir la inhibición, ampliar el intervalo de pH óptimo y reducir las posibles contaminaciones microbianas. El soporte debe tener resistencia mecánica

adecuada para tolerar las condiciones de operación del reactor y ser fácilmente separable del medio líquido para su reutilización. Se emplean una gran variedad de materiales que difieren en tamaño, densidad, porosidad y forma (Kulkarni, 2016). Los principales tipos se enumeran en la figura 3.

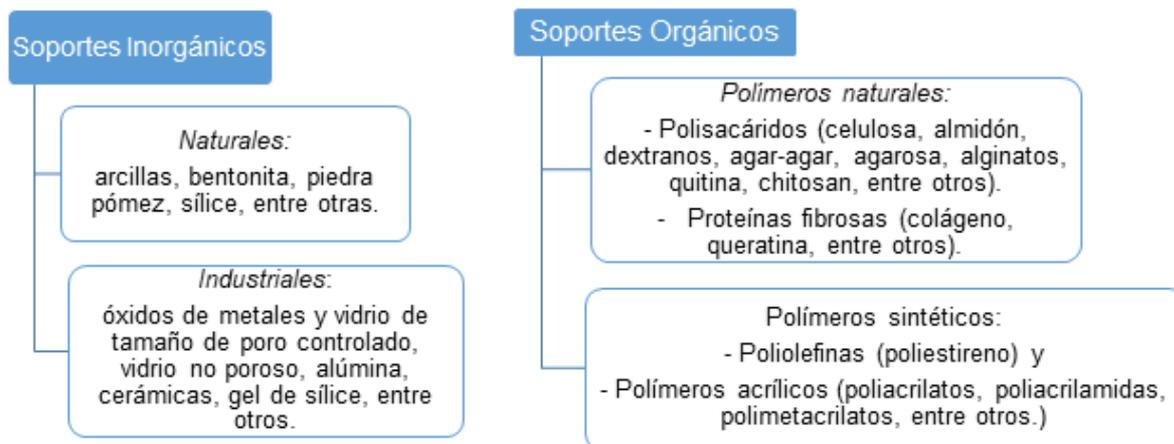


Fig. 3: Soportes para inmovilizar enzimas

- **Adsorción:** La enzima se une a un soporte mediante interacciones iónicas, fuerzas de Van der Waals y puentes de hidrógeno. Son de importancia parámetros como pH del medio, debido a que éste controla el número y la naturaleza de las cargas que presenta la superficie de la proteína y del sólido, la fuerza iónica, pudiendo manipular a través de ésta su desorción, el diámetro de poro y la presencia de iones que actúan como cofactores, incrementando la carga enzimática del derivado. Este método es ventajoso por su sencilla preparación, bajo costo, no posee cambios de especificidad enzimática y los derivados son estables en medios de trabajo con bajo contenido en agua. Los inconvenientes de la adsorción son: la optimización de sus variables controlantes y los derivados obtenidos son poco estables mecánicamente, debido a la débil unión con el soporte (Wood et al., 1997).

- **Unión covalente:** Es el método más interesante desde el punto de vista industrial. Se basa en la activación de grupos químicos del soporte para que reaccionen con nucleófilos de las proteínas. Los aminoácidos más empleados para la formación de enlaces son lisina, cisteína, tirosina e histidina, en menor medida, metionina, triptófano, arginina, ácido aspártico y glutámico. Entre sus ventajas se destacan la sencilla manipulación de los derivados inmovilizados. Luego de ello, la carga de la enzima permanece constante, pueden utilizarse en reactores continuos, de relleno, de lecho fluidizado o tanque agitado y adquieren resistencia a la desactivación por efecto térmico, por solventes orgánicos o pH. Su principal desventaja es la necesidad de conocer la densidad de grupos activos por unidad de superficie, porque esto condiciona el número de uniones enzima-soporte y su geometría, lo cual puede ser distorsionante y conducir a derivados inactivos. Este no resulta conveniente para aquellas enzimas que son muy sensibles a cambios de pH o fuerzas iónicas, entre otros (Cabral y Kennedy, 1991; Wood et al., 1997).

- **Reticulado:** También denominado entrecruzamiento o "*cross-linking*", consiste en el uso de reactivos bifuncionales que originan uniones intermoleculares entre las moléculas de enzima. Estos pueden ser aldehídos, diiminoésteres, diisocianatos, sales de bisdiazonio e, incluso, diaminas si están activadas con carbodiimida. El reticulado genera enzimas con enlaces intermoleculares irreversibles capaces de resistir condiciones extremas de pH y temperatura. Un procedimiento mixto muy común consiste en inmovilizar la enzima por adsorción sobre una resina de intercambio iónico o un soporte polimérico, con lo que se consigue una elevada carga de estas y posteriormente se añade el reactivo bifuncional. Actualmente el método más novedoso de "*cross-linking*" consiste en su cristalización y posterior reticulado con glutaraldehído. Esto genera un aumento de estabilidad que se basa en la obtención de un entramado cristalino, donde sus moléculas están rodeadas exclusivamente por otras proteínas. Esta tecnología se ha aplicado a enzimas muy diferentes, las cuales se han utilizado en la obtención de compuestos enantioméricamente puros y en la síntesis de péptidos (Velasco et al, 2015).

## Elección del método de inmovilización

Aunque se han desarrollado y aplicado muchas técnicas a numerosas enzimas, se reconoce que no existe un método universal válido para todos los casos. Se pueden observar en la Tabla 2 las generalizaciones sobre los diferentes tipos citados. Para su determinación, deben considerarse las condiciones de la reacción biocatalizada, el tipo de reactor a utilizar y el sustrato a procesar, entre otros (Aviles Cabral et al., 2018; Gardossiy Hailing, 2010).

Tabla 2: Comparación de métodos de inmovilización de enzimas.

Método	Inclusión en membranas	Atrapamiento	Reticulado	Adsorción química	Unión Covalente
Preparación	Intermedia	Difícil	Intermedia	Sencilla	Débil
Fuerza de Unión	Débil	Media	Débil-Media	Media	Fuerte
Actividad enzimática	Media-Alta	Baja	Baja	Media	Alta
Regeneración Soporte	Posible	Imposible	Imposible	Posible	Difícil
Costo del proceso	Medio-Alto	Medio	Medio	Bajo	Alto
Estabilidad	Media	Alta	Alta	Baja	Alta
Validez	General	General	Limitada	General	Limitada
Resistencia Microbiana	Si	Si	Si	No	No

## Aplicaciones de las enzimas inmovilizadas

Dentro de las aplicaciones de enzimas inmovilizadas se encuentran los biosensores, también se emplean en diagnóstico de calidad en las industrias alimentarias, para determinación del grado de contaminación microbiana, para cuantificar el nivel de glúcidos presente en bebidas, entre otras. Son útiles en el control de la polución del medioambiente (Mahmoud y Helmy, 2009). Se emplean en industria química, farmacéutica, alimentaria y de tratamiento de residuos, permiten la obtención de productos de gran pureza óptica, lo que constituye una ventaja fundamental cuando las reglamentaciones exigen la síntesis de compuestos ópticamente puros, como fármacos, hormonas o antibióticos. Recientemente, se ha desarrollado un método para la reducción de nitratos a nitritos en aguas residuales que emplea enzimas inmovilizadas (Nisha et al., 2012).

Otras aplicaciones de interés se han desarrollado para usos en medicina, controlando muchas enfermedades, permitiendo lograr una acción más prolongada en los tratamientos, acelerando el crecimiento de nuevos tejidos e inhibiendo ciertos microorganismos (Pastor et al., 2013; Scoutenet al., 1995).

## Conclusiones

Se puede concluir que: la utilización de enzimas inmovilizadas dependerá de una evaluación donde deben considerarse datos de cinética, estabilidad, costos, propiedades fisicoquímicas, eficiencia de inmovilización y carga del soporte. Aunque se han desarrollado y aplicado muchas técnicas de inmovilización a numerosas enzimas, no existe un método universal válido para todas. A partir de la información evaluada se pueden hacer generalizaciones sobre cada método para seleccionar el más adecuado a cada aplicación. En las condiciones de la reacción biocatalizada, el tipo de reactor a utilizar, el sustrato que tenga que ser procesado, entre otras cuestiones determinarán la metodología a emplearse. Se puede asimilar como un hecho cierto que los biocatalizadores más estables y duraderos implicarán mayores costos de procesamiento.

## Referencias

- Arroyo M. Inmovilización de enzimas. Fundamentos, métodos y aplicaciones. Dpto. de Bioquímica y Biología Molecular I Fac. Cs. Biológicas -U. Comp de Madrid, Madrid. *Ars. Pharmaceutica*, 39, 2, (1998).
- Aviles Cabral H., Dorantes Adame J., Calva Neria G., Lucho Constantino C. y Beltrán Hernández R. Inmovilización de enzimas. Publicación Semestral *Pädi* No. 10, 7-8, (2018).
- Beatriz M. Brena and Francisco Batista-Viera. *Methods in Biotechnology/Immobilization of Enzymes and Cells*, Second Edition. Edited by: J. M. Guisan © Humana Press Inc., Totowa, NJ., 15-30, (2006).

- Cabral, J. and Kennedy, J. Covalent and coordination immobilization of proteins. In: Protein immobilization. *Fundamentals and Applications*. Taylor, R. F., ed., M. Dekker, NY, 73–138, (1991).
- Chen C. and Chang H.M. Efficiency and protective effect of encapsulation of milk immunoglobulin in multiple emulsion. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 47, 407-410, (1999).
- Datta S., Rene Christena L., Rani Y., and Rajaram S. Review Article: Enzyme immobilization: an overview of techniques and support materials. *Biotech* 3, 1–9, (2013).
- Dwevedi, Alka. Basics of Enzyme Immobilization. Ch.2. Enzyme Immobilization Advances in Industry, Agriculture, Medicine, and the Environment. Pages 21-44. Springer Int. Publishing Switzerland (2016).
- Elnashar, M.M. Review Article: Immobilized molecules using Biomaterials and Nanobiotechnology. *Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology*. 1, 61-77. (2010).
- Fang Y., Huang, X., Chen, P., and Xu, Z. Polymer materials for enzyme immobilization and their application in bioreactors. *BMB reports*, 44 (2), 87-95, (2011).
- Gardossi L. and Halling P. Guidelines for Reporting of Biocatalytic Reactions - Dipartimento di Scienze Farmaceutiche, Università degli Studi di Trieste, Trieste, Italy - WestCHEM, Department of Pure & Applied Chemistry, University of Strathclyde, Scotland, U.K. 14<sup>th</sup> September (2010).
- Gemeiner, P. Materials for enzyme engineering. In: Enzyme Engineering (Gemeiner, P., ed.), Ellis Horwood, New York, NY, pp. 13–119. (1992).
- Heering HA, Wiertz FGM, Dekker C y de Vries S. Direct immobilization of native yeast iso-1 cytochrome c on bare gold: Fast electron relay to redox enzymes and zeptomole protein-film voltammetry. *Journal of the American Chemical Society*. 126, 11103-11112, (2004).
- Kulkarni S., Enzyme immobilization: Research and Studies. Data Meghe College of Engineering, Airoli, Navi Mumbai, Maharashtra, India. (2016).
- Mahmoud, D., Helmy, W. Potential application of Immobilization Technology in Enzyme and Biomass Production. *Journal of Applied Sciences Research*. 5, (2), 2466-2476. (2009).
- Nisha S, Arun K. and Gobi N, A Review on Methods, Application and Properties of Immobilized Enzyme. *Chemical Science Review and Letters*. 1, (3), 148-155 (2012).
- Pastor M., A. Esquisabel, and Pedraz J. Biomedical Applications of immobilized Enzymes: An Update. Jose M. Guisan (ed.), Immobilization of Enzymes and Cells: 3<sup>rd</sup> Edition, Methods in Molecular Biology, vol. 1051, Springer Science. (2013).
- Scouten, W., Luong J.; Brown, R. Enzyme or protein immobilization techniques for applications in biosensor design. *Trends Biotechnol.* 13, 178-185, (1995).
- Velasco-Lozano S., López-Gallego F., Mateos-Díaz J., Favela-Torres E., Cross-linked enzyme aggregates (CLEA) in enzyme improvement – a review. *Biocatalysis*. 1, 166–177, (2015).
- Wang Y, Caruso F. Enzyme encapsulation in nanoporous silica spheres. *Chem. Com.* 1528-1529. (2004).
- Wang Y. and Caruso F. Mesoporous silica spheres as supports for an enzyme immobilization and encapsulation. *Chem. Mater.* 17, 953-961, (2005).
- Wood L., Cheng S., Edmiston P. and Saavedra S. Molecular orientation distributions in protein films. 2. Site-directed immobilization of yeast cytochrome c on thiol capped, self-assembled monolayers. *Journal of the American Chemical Society*. 119, 571-576, (1997).

## DESHIDRATACION DE FRUTAS POR SECADO BAJO VACÍO Y LIOFILIZACION

María del M. Mercatante, Manuel Terrestre.

Tutores: Luis A. Toselli, Milena Vanina Monesterolo.

Grupo de Investigación en Simulación para Ingeniería Química – GISIQ- UTN Facultad Regional Villa María. Av. Universidad 450, Villa María, Córdoba, Argentina.

milagro-mercatante@live.com.ar

### Resumen

Se presentan los resultados experimentales de ensayos realizados a escala laboratorio utilizando tecnología de operación bajo vacío con un sistema de secado/deshidratación-liofilización disponible en el GISIQ, que cuenta de una cámara de secado vertical de bandejas, calefacción por termorresistencias y bomba para generación de vacío. Durante el estudio realizado se han aplicado estas tecnologías para conservación de frutas de interés por cuestiones de volúmenes de consumo y/o estacionalidad (manzanas y bananas, principalmente). Se aplicó un pretratamiento que implicó su cortado según geometrías diversas a efectos de incrementar las superficies expuestas, seguido de lavado/acidificación para reducir el pardeamiento oxidativo, escurrido y secado/deshidratación final, evaluándose niveles de vacío, tiempos y temperaturas de operación. Como resultados se presentan los avances alcanzados mediante liofilización para la obtención de productos finales de muy buenas características, evaluando su potencial para la comercialización directa o posterior conversión a harinas. Ambas opciones permitirían aumentar el aprovechamiento de una fracción de materias primas, evitando eventuales pérdidas por desecho.

### Introducción

Un aspecto que merece considerable atención es el hecho que, en un mundo demandante de alimentos, las pérdidas anuales de éstos resultan de gran magnitud, aún con el avance tecnológico existente. Según trabajos presentados por la FAO se estima que se pierde una tercera parte de los alimentos producidos para consumo humano a nivel global, registrándose en América Latina, pérdidas (como desechos) que superan el 50 % de la producción de frutas y vegetales (Parzanese, 2011) (De Michelis y Ohaco, 2012).

Los métodos de secado o deshidratación/liofilización de los alimentos permiten extender su vida útil y además obtener un mayor valor agregado, evitando pérdidas de excedentes de producción y consumo, favoreciendo así a las economías regionales (Kumar et al, 2015) (Sagar et al, 2010) (Shyam, 2006).

Los procesos como secado y/o deshidratación de alimentos se encuentran entre los métodos de conservación más antiguos conocidos por el hombre. Sus principios básicos consisten en la remoción de la mayor parte del agua del alimento para evitar la actividad enzimática, generando estabilidad microbiológica y química. La diferencia entre ambas tecnologías se encuentra en los porcentuales de humedad final que se alcanza, estableciéndose 2,5% de humedad final como límite de secado, valor por debajo del cual corresponde considerar al producto como deshidratado (Mayer y Bertoluzzo, 2006) (Krokida and Philippopoulos, 2005) (Somogyi and Luh, 1986).

Las aplicaciones de liofilización en los alimentos se iniciaron luego de la Segunda Guerra Mundial implementándose para diversos usos industriales. Debido a su elevado costo, se restringe a productos de alto valor agregado y sensibles a tratamientos térmicos, como farmacéuticos, biotecnológicos y alimentarios, (café, enzimas, alimentos funcionales, entre otros) (Gaidhani et al, 2015) (Snowman, 1997).

Las técnicas de liofilización y secado al vacío se usan para obtener productos de mayor calidad frente a otros generados por métodos de secado convencionales. Los vegetales y frutas procesados por medio de estas técnicas adquieren alta rigidez estructural, muy buena capacidad de rehidratación, baja densidad y conservan las propiedades iniciales de la materia prima, como apariencia, forma, aroma y sabor (Ratti, 2001).

La liofilización es el proceso de eliminación de agua de un producto por sublimación y desorción. La sublimación es la transformación del hielo directamente en un gas sin pasar por una fase líquida. La misma ocurre cuando la presión de vapor y la temperatura de la superficie del hielo están por debajo de las del punto triple (4.58 mm Hg, 0 °C), como se muestra en la figura N°1 (Goff, 1992) (Karel, 1975).

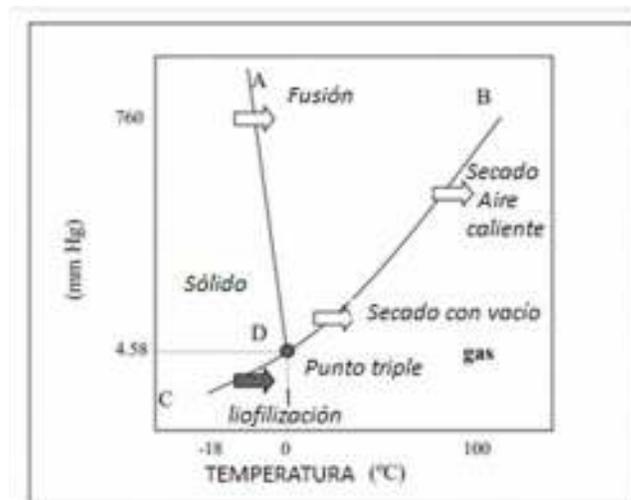


Figura N°1: Diagrama de fases presión-temperatura del agua pura.

La línea DC, del diagrama de fase, indica el equilibrio sólido-gas. Estas combinaciones de presión y temperatura son las que determinan las condiciones de operación para la liofilización (Mallik A et al, 2018) (Pragati and Preeti, 2014) (Karel, 1975).

El principio de este proceso es generar una diferencia de presión de vapor lo más grande posible sobre el material congelado. Esto se logra con la aplicación de vacío y, eventualmente, temperatura (Goff, 1992).

En comparación con operaciones de secado clásico, éste es un proceso con costos más elevados debido a sus requerimientos de mayores tiempos de operación y cantidades de energía que resulta necesaria para congelar, calentar, sublimar el hielo, condensar el vapor de agua y mantener el vacío del sistema. Sin embargo, permite la obtención de productos de muy alta calidad.

## Materiales y métodos

Se realizaron procedimientos experimentales a escala laboratorio de liofilizado utilizando el equipamiento disponible en el GISIQ de la FRVM que integra un secadero vertical de bandejas, con sistema calefactor por termorresistencias y conjunto integrado de vacío. El mismo se complementa con un sistema de congelamiento externo. En la figura N° 2 (A) puede observarse el equipamiento disponible y en (B) sus principales partes constitutivas.



Figura N° 2: Equipo de secado bajo vacío/lioofilizador (A). partes constitutivas (B)

El mismo está compuesto por una cámara de operación de dos secciones desmontables, cada una de ellas dispone de termorresistencias regulables independientes que permiten un control del suministro energético con regulación automática de temperatura de operación. El vacío es generado mediante una bomba marca arcano con capacidad de evacuación de 1 lt/s, y vacío máximo de 5 Pa. La carga de material se realiza en 10 bandejas desmontables localizadas en un soporte vertical.

Se procesaron frutas que resultan de interés por cuestiones de volúmenes de consumo y/o estacionalidad (manzanas y bananas, con tenores de agua de partida de 85 y 75 %, promedio  $P/P$ , respectivamente), las cuales se someten a un pretratamiento que implica cortado según geometrías preestablecidas a efectos de incrementar las superficies expuestas, lavado/acidificación para reducir su pardeamiento oxidativo, escurrido y secado/deshidratación y/o liofilizado final, evaluándose niveles de vacío ( $5 > P < 30$  Pa), tiempos (hasta 4 hs. máximo) y temperaturas de operación (rango de 25 - 50 °C) para los distintos casos analizados.

Se trabajó bajo diferentes formatos (habitualmente denominados como cubeteados y en bastones), pudiendo ser transformados luego de la operación mediante picado, granulado o en polvo, para evaluar su utilización como ingredientes industriales en la fabricación de otros productos (Derossi et al, 2011).

Se enfatizó el cuidado en realizar el acondicionamiento de la materia prima, a efectos de evitar una manipulación excesiva en las etapas de pretratamiento y, de manera particular, sobre el producto liofilizado una vez completado el proceso. Se hizo un control riguroso de temperatura/tiempo para su congelamiento, por cuanto esto condiciona el tamaño de los cristales dentro de las células y la calidad del producto final.

Se buscó que la materia prima congelada tenga una estructura sólida, sin existencia de líquido concentrado, de manera de garantizar que la eliminación de agua ocurriera por sublimación.



Figura 3: Geometrías consideradas y equipo cargado en operación.

Para lograr el cambio de fase esperado se redujo la presión en el interior de la cámara, mediante operación controlada de vacío y aplicación de calor al producto según un programa establecido, con transferencia de calor radiante generado bajo las condiciones mencionadas (Lorentzen, 1974).

En el preprocesamiento se evaluó materia prima sin tratamiento y lavando con solución de ácido cítrico (0,5 a 2 %  $P/P$ ) para minimizar las reacciones de pardeamiento y mejorar la retención de color. Algunos autores indican también que se acelera la velocidad de secado (De Michelis y Ohaco, 2012). En la figura N° 4 se observan las características que adquieren estas luego del proceso de liofilización con y sin tratamiento ácido previo.

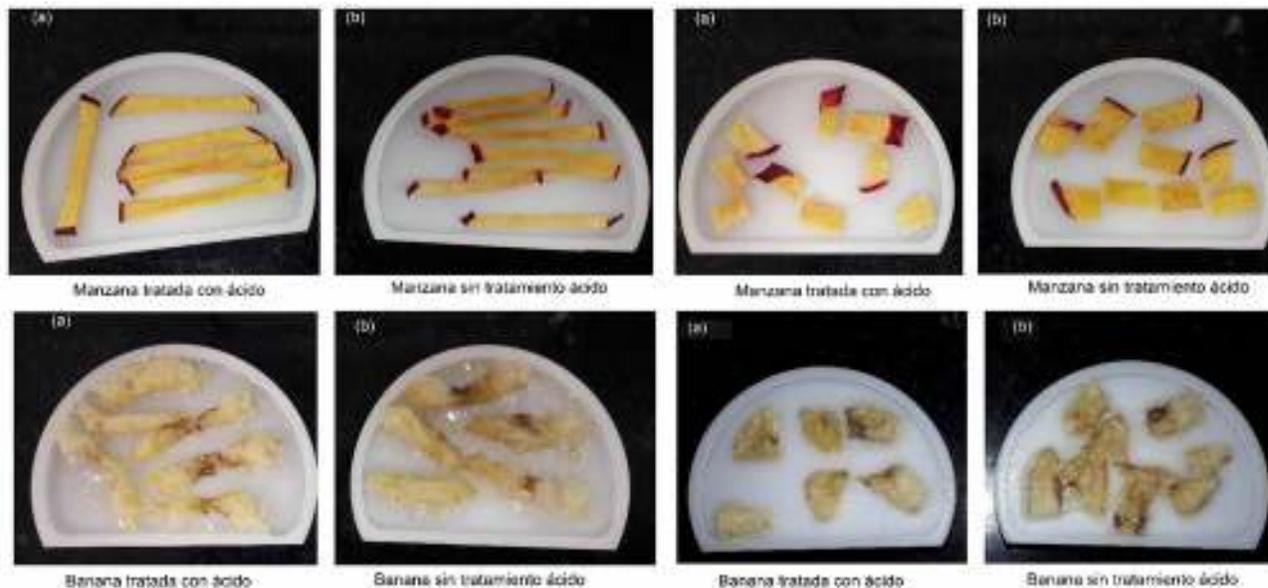


Figura 4: Manzanas y bananas liofilizadas en las distintas geometrías, con y sin aplicación de tratamiento ácido de lavado, (a) y (b) respectivamente

### Análisis de Resultados

Durante la liofilización se pudieron observar claramente las distintas fases clásicas propias de esta operación (Gaidhani, 2015). La fase 1 denominada etapa conductiva comprende el calentamiento inicial de la muestra. En ella la velocidad de sublimación crece rápidamente hasta llegar a un máximo. El tiempo para agotar esta fase es relativamente corto (aproximadamente dos horas) removiéndose la mayor parte de agua del producto. Luego se desarrolló la fase 2 o etapa difusiva, en donde se produce un descenso importante de la

velocidad de sublimación a medida que procede el secado, situación que progresa en forma paulatina a medida que se aproxima a los valores finales.

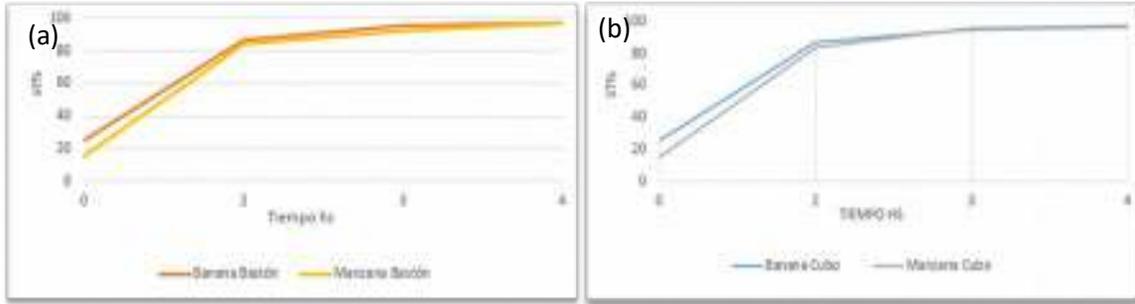


Figura 5 (a) y (b): % de sólidos totales por fase de operación

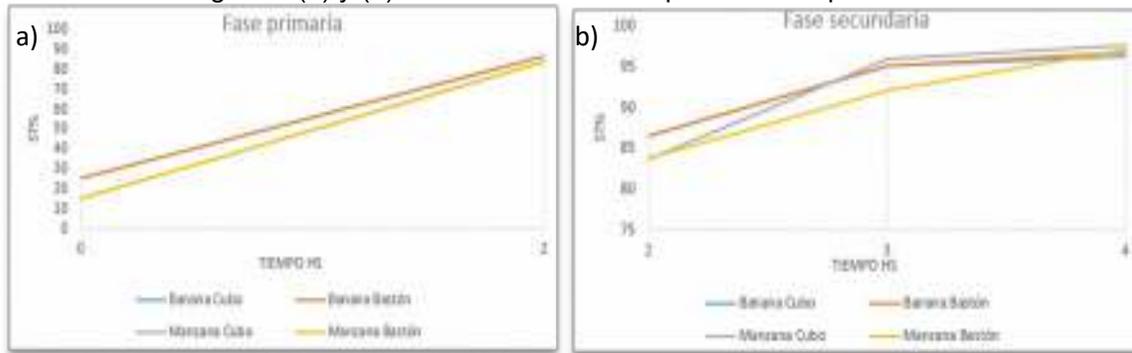


Figura 6 (a) y (b): % de sólidos totales por fase de operación

La figura N° 5 (a) y (b) muestra las variaciones del contenido de sólidos durante cada una de las fases del proceso en función del tiempo de operación. En la figura N° 6 (a) y (b) se presenta la evolución completa diferenciadas según las geometrías consideradas.

Como analizador del contenido de humedad de las materias primas, productos en proceso y productos finales se empleó una termobalanza marca OHAUS, modelo MB45 con fuente de energía halógena para generación de calor por infrarrojo, precisión de 0.001 g, repetibilidad 0.015%, rango de temperaturas 50° a 200°C con  $\Delta T$  de 1°C, con programa de secado automático y kit de calibración de temperatura.

Los análisis realizados fueron desarrollados en el laboratorio de la empresa Porta Hnos. S. A. en el contexto del anexo específico del convenio marco existente entre ésta y la FRVM para uso compartido de laboratorios y equipamiento para el desarrollo de actividades de I + D.

## Conclusiones

De acuerdo con las experiencias realizadas se puede concluir que: a) se ha evaluado la efectividad operativa que presenta el sistema experimental disponible para su aplicación al proceso objeto de estudio. b) los resultados obtenidos permiten considerar la factibilidad de avanzar en el procesamiento de otras frutas que, a priori, presentan mayores dificultades de operación por su contenido de agua, estructura física, ej: frutilla o kiwi, entre otros. c) para las geometrías analizadas la manzana alcanza menores valores de humedad final. d) en la primera fase se observó una superposición neta de las curvas de sublimación que demuestran un mejor comportamiento en función de la geometría y no del tipo producto tratado. e) los resultados de velocidades de sublimación y concentración de sólidos presentan mayores diferencias durante el desarrollo de segunda etapa de operación. f) para un mismo tiempo de procesado (4 horas) todos los valores superaron el 92% de sólidos totales y la diferencia de valores alcanzados difiere en un 2 % máximo. g) en todos los casos se puede observar que

los productos finales presentaban un buen aspecto y mantenían su calidad en relación con sus características organolépticas.

## Referencias

- De Michelis A., Ohaco E. Deshidratación y desecado de frutas, hortalizas y hongos. INTA Ediciones – Com. Tca. N° 84. Área Desarrollo Rural - ISSN 1667-4014, (2012).
- Derossi A., Severini C. and Cassi D. Mass Transfer Mechanisms during Dehydration of Vegetable Food: Traditional and Innovative Approaches, Advanced Topics in Mass Transfer, Prof. Mohamed El-Amin (Ed.), (2011). ISBN: 978-953-307-333-0, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/advanced-topicsin-mass-transfer/mass-transfer-mechanisms-during-dehydration-of-vegetable-food-traditional-and-innovativeapproaches>
- Gaidhani. K. A., Harwalkar. M. Bhambere D. Nirgude P. Lyophilization/ Freeze Drying - A Review. *World Journal of Pharmaceutical Research*. 4, 8, 516-543, (2015).
- Goff, H.D. Low-temperature stability and the glassy state in frozen foods. *Food Research International*, 25, 317-325, (1992).
- Karel, M. Heat and mass transfer in freeze-drying. In *Freeze Drying and Advanced Food Technology*; Goldblith, S.A., Rey, L., Rothmayr, W.W., Eds.; Academic Press: New York, 177–202, (1975).
- Krokida M.K. & Philippopoulos C. Rehydration of Dehydrated Foods. *Journal Drying Technology*. 23, 4, 799-830, (2005).
- Kumar Y., Tiwari S. and Belorkar S. A. Drying: An Excellent Method for Food Preservation. *International Journal of Eng Studies and Tech Approach*. 1, 8, August, 2015.
- Lorentzen, J. New directions in freeze-drying. *Advances in Preconcentration and Dehydration of Foods.*, 413-434, (1974).
- Mallik A, Arefin AM, Kundu S, Al Nahian SR, Sakif SA Drying and Dehydration Technologies: A Compact Review on Advance Food Science. *MOJ Food Process Technol* 6, (1): 00142. (2018).
- Mayer L. E., Bertoluzzo S. M. Conservación de Alimentos. Diseño y Construcción de un Liofilizador, *Invenio*. 9, (17) 147-157, (2006).
- Parzanese, M. Tecnologías para la Industria Alimentaria Liofilización de Alimentos. Alimentos Argentinos – Liofilización de alimento. Ficha N° 3. Págs. 1 -12. [www.alimentosargentinos.gob.ar](http://www.alimentosargentinos.gob.ar).
- Pragati S. and Preeti B. Technological Revolution in Drying of Fruit and Vegetables. *International Journal of Science and Research*. 3, 10, 705-711, (2014).
- Ratti, C. Hot air and freeze-drying of high-value foods: A review. *J. Food Eng.* 49, 311-319, (2001).
- Sagar V., Suresh R. and Kumar P. Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: a review. *J Food Sci Technol* 47, (1),15–26. (2010)
- Shyam S. Drying of fruits and vegetables: retention of nutritional/functional quality. *Drying technology* 24, (2), 123- 135. (2006).
- Snowman, J. W. Freeze dryers. In *Industrial Drying of Foods*; Baker, C.G.J., Ed.; Blackie Academic & Professional: London, 134-155. (1997).
- Somogyi L. P. and B. S. Luh. Dehydration Of Fruits, Commercial Fruit Processing, Second Ed., J. G. Woodroof and B. S. Luh, Editors. AVI Publishing Company, Inc. (1986).
-

## **EVALUACION DE LA CALIDAD FÍSICO-QUÍMICA DEL RIO CTALAMOCHITA.**

Camila Bellotti, Florencia Tavella.  
Estudiantes de Ingeniería Química. UTN Facultad Regional Villa María.

Tutores: Mgter. Graciela Marín; Mgter. Silvia Moyano.  
Laboratorio de Servicios Universidad Tecnológica Nacional, FRVM.  
Av. Universidad 450 - (5900) Villa María (Cba); gramarin@hotmail.com  
Tel/FAX: (+54 353-4537500).

### **Resumen**

Dada la diversidad de características hidrológicas de las aguas superficiales de la provincia de Córdoba, en cuanto a niveles variables de componentes que pueden limitar su utilización como fuente de provisión para agua de consumo humano, es necesario realizar una evaluación y seguimiento de los mismos. En este trabajo se toman muestras en la margen derecha del Río Ctalamuchita, de distintos puntos a lo largo de su paso por la ciudad de Villa María. El objetivo es evaluar la calidad respecto de los parámetros analizados, y su variabilidad en distintos puntos a su paso por la ciudad. Las técnicas empleadas para la determinación de los parámetros físico-químicos corresponden a las publicadas en el Standard Methods, For The Examination Of Water And Wastewater - APHA y son realizadas en el Laboratorio de la FRVM. Se concluye que los valores obtenidos de arsénico, flúor, nitritos, alcalinidad y dureza total se mantienen constantes a lo largo del paso del río en la ciudad. Mientras que los valores de nitratos y sulfatos presentan una variación máxima del 28% y del 21% respectivamente, entre el primer y segundo punto de muestreo, observando en ambos parámetros una disminución de dicho porcentaje hacia el punto final analizado. Al mismo tiempo se presenta un comportamiento similar con una variación menor, del 8%, para la conductividad.

Palabras clave: aguas superficiales, parámetros físico-químicos, Río Tercero.

### **Introducción**

Sobre la margen del Río Tercero o Ctalamochita se encuentra ubicada la ciudad de Villa María, al sudeste de la ciudad capital de la provincia. Situada a 32°24'36 Sur y 63°14'52 Oeste, Cota 204 msnm, cuenta con una población de 79.946 habitantes según el censo 2010, y es la tercera aglomeración más poblada de la provincia de Córdoba, Argentina (Dirección General de Estadística y Censos, 2010).

Villa María es una de las principales cuencas lecheras de país y sede de importantes industrias agropecuarias, metalmecánicas, alimenticias y tecnológicas, hecho que conjuntamente con su constante crecimiento demográfico, redundando en grandes demandas de provisión de agua. La provisión actual se efectúa mayoritariamente desde la cuenca subterránea, cuya calidad y cantidad se ven afectadas por la sobreexplotación de las napas (Pflüger J, 2008).

Se considera de suma importancia la búsqueda de alternativas del recurso hídrico, apelando a la evaluación de distintas fuentes superficiales de agua que contribuyan a satisfacer las demandas del recurso. Por otro lado, la degradación del agua dulce como consecuencia de las actividades antrópicas, se inicia con los asentamientos y se agrava con el crecimiento de las poblaciones y la intensificación industrial y productiva, siendo el Río Tercero (Ctalamochita), una importante captación para el suministro de agua potable en la zona sur y este de la provincia (Pflüger J. 2008). Por lo ello, se realiza la evaluación en su paso por la ciudad de Villa María, y se determina la zona de estudio en el área que comprende la ciudad de Villa María, ubicada sobre la margen izquierda del Río Tercero.

El objetivo de este trabajo ha sido determinar las variaciones de parámetros indicadores de la calidad del agua del Río Ctalamochita, y su variabilidad en distintos puntos a su paso por la ciudad de Villa María. Para ello se realiza el muestreo del río aguas arriba y en puntos intermedios situados en el paso por dicha ciudad. Se realizaron determinaciones analíticas de parámetros Físico-Químicos, Microbiológicos y otros indicadores de contaminación, aplicando técnicas y procedimientos analíticos estándares del Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater. (APHA; AWWA; WPCF, 2005)

## Metodología

Para la realización del presente trabajo fueron analizadas muestras de agua tomadas del curso del Río Ctalamochita, evaluando algunos parámetros indicadores de la calidad tanto físico-química, como bacteriológica de dichas muestras.

Para evaluar estos parámetros se eligieron tres puntos de muestreo a lo largo del curso del río que se los denominó de acuerdo al lugar donde fueron tomas de la siguiente manera: (1) Primer acceso derecho Puente Andino ( $32^{\circ}24'44''$ Sur  $63^{\circ}17'02''$ Oeste), (2) Bajada de la calle Entre Ríos ( $32^{\circ}25'07''$ Sur  $63^{\circ}14'54''$ Oeste), (3) Barrancas del Río ( $32^{\circ}25'10''$ Sur  $63^{\circ}12'57''$ Oeste). Los puntos de muestreo se encuentran representados en la Figura 1. Los parámetros físico químicos evaluados en este trabajo fueron Sólidos Suspendidos Totales (SST), Oxígeno Disuelto (OD), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno ( $DBO_5$ ), Nitratos ( $NO_3^-$ ), Nitritos ( $NO_2^-$ ), Conductividad, pH, Temperatura, Turbiedad, Arsénico(As), Sulfato( $SO_4^-$ ) y Fluoruro (F<sup>-</sup>).

Las técnicas y procedimientos analíticos aplicados son los estándares del <sup>1</sup>Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater (APHA, 1992 y 2005) y se analizan en el Laboratorio de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Villa María en el marco del Proyecto PID "Calidad Del Agua Superficial como fuente alternativa de agua potable en la Región Centro de la Provincia de Córdoba. Caracterización estacional".

Se realizaron además las observaciones sobre las características del recorrido del curso de agua y las características del entorno, en cuanto a presencia de bancos de arena y el balneario de la ciudad, presencia de descargas pluviales, etc.

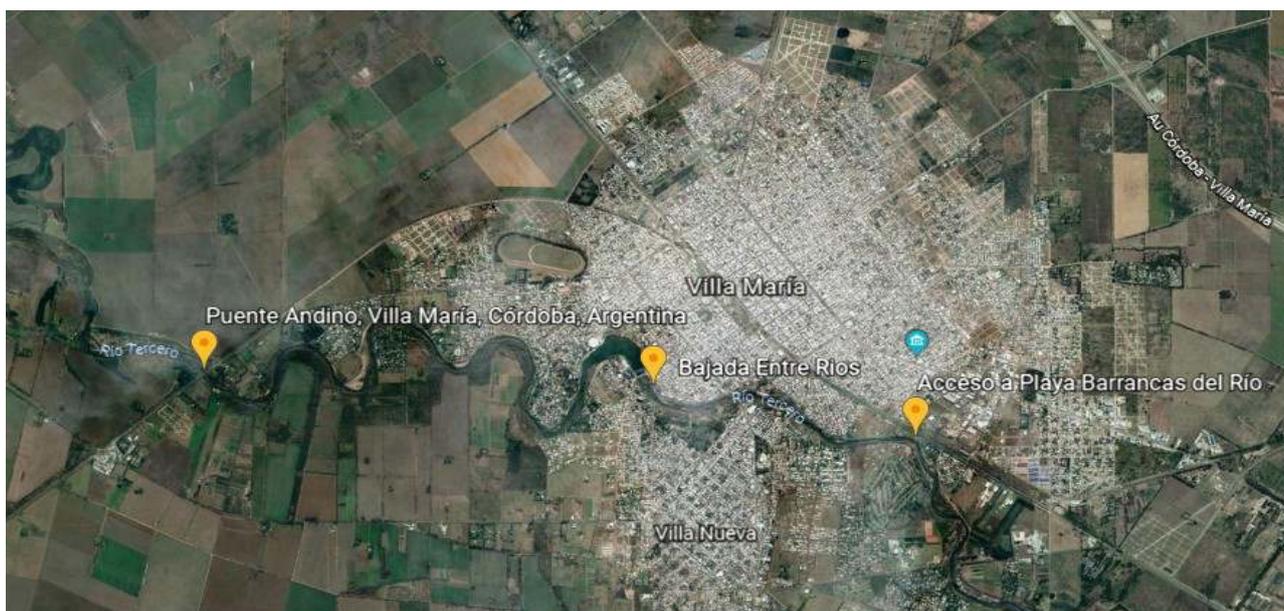


Figura 1. Ubicación de los puntos de muestreo.

## Resultados y discusión

Se presentan a continuación algunos de los resultados de los parámetros evaluados, físico químicos y microbiológicos, en los diferentes puntos de toma de muestra a lo largo del curso del río, para una muestra tomada el 31 de Octubre del 2017.

Los resultados de los parámetros evaluados son presentados en las Tablas 1 y 2 correspondientes a muestras en los distintos puntos de muestreo, pudiendo visualizar su comportamiento en las Figuras 2 y 3 respectivamente.

En estas Tablas (1 y 2) se expresan además los porcentajes (%) que representa cada valor obtenido, considerando como 100% y valor inicial, el obtenido en la muestra tomada en el Puente Andino, anterior al desarrollo de la ciudad de Villa María.

Tabla 1. Resultados de parámetros físico-químicos

Lugar	pH a 20°C	Turbiedad	Conductividad	Alcalinidad	Dureza total	Cloruros	Nitratos	Nitritos	Sulfatos	Flúor	Arsénico
		UNT	µS/cm	mgCaCO <sub>3</sub> /l		mg/l					
Puente Andino	8,24	21,6 (100%)	449 (100%)	115 (100%)	90	57 (100%)	7 (100%)	<0,005	101 (100%)	<0,5	0,01
Bajada calle Entre Ríos	8,04	10,1 (46%)	409 (91%)	110 (96%)	94	45 (79%)	5 (71%)	<0,005	89 (88%)	<0,5	0,01
Barrancas del Río	8,30	11,3 (53%)	413 (92%)	106 (92%)	90	46 (81%)	5,5 (78%)	<0,005	95 (94%)	<0,5	0,01

Tabla 2. Resultados de otros parámetros indicadores de carga orgánica

Lugar	DBO <sub>5</sub>	DQO	Sólidos totales	Oxígeno disuelto
	(mg/l)			
Puente Andino	6 (100%)	0	294 (100%)	7,6 (100%)
Bajada calle Entre Ríos	7,1 (118%)	0	270 (92%)	7,9 (104%)
Barrancas Del río	4,9 (82%)	0	270 (92%)	7,9

A continuación se representan gráficamente (Figura 2 y 3) los resultados obtenidos en el muestreo realizado para cada uno de los puntos evaluados, en la Figura 2 se esquematizan los parámetros físico-químicos; mientras que en la Figura 3 algunas determinación de carga orgánica.

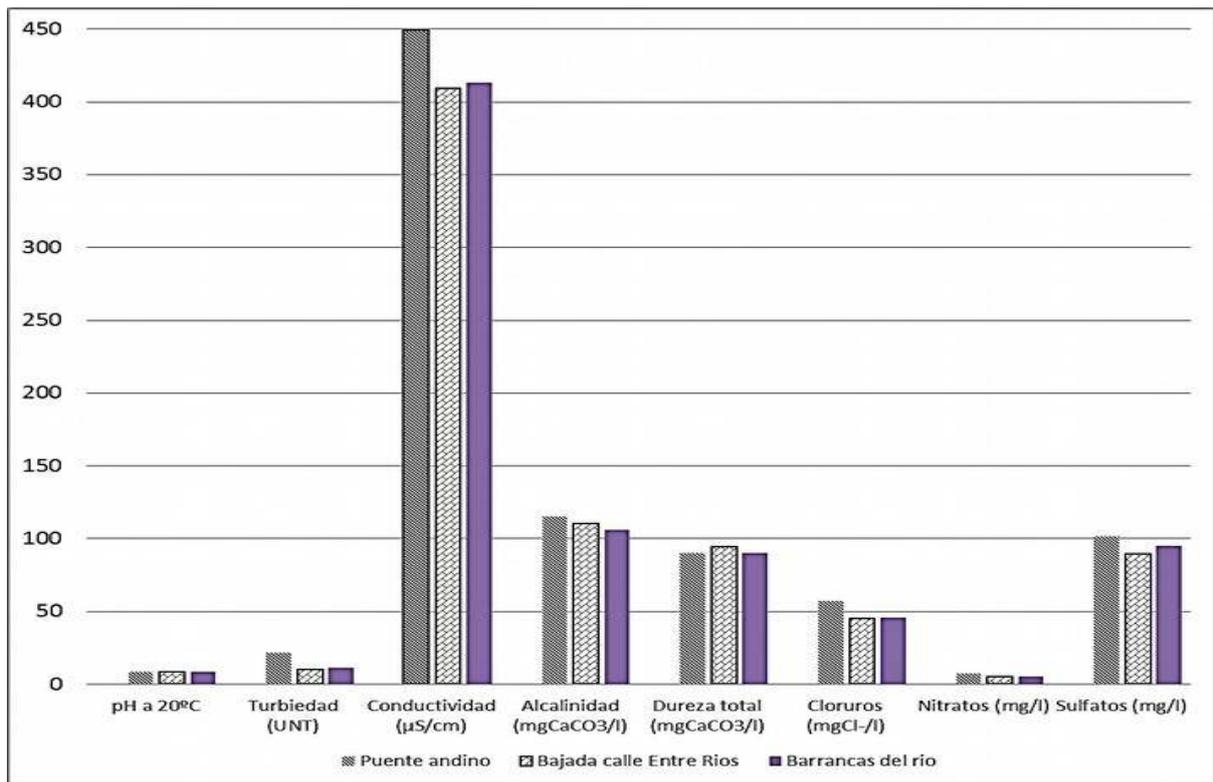


Figura 2. Representación de los parámetros físico químicos Río abajo

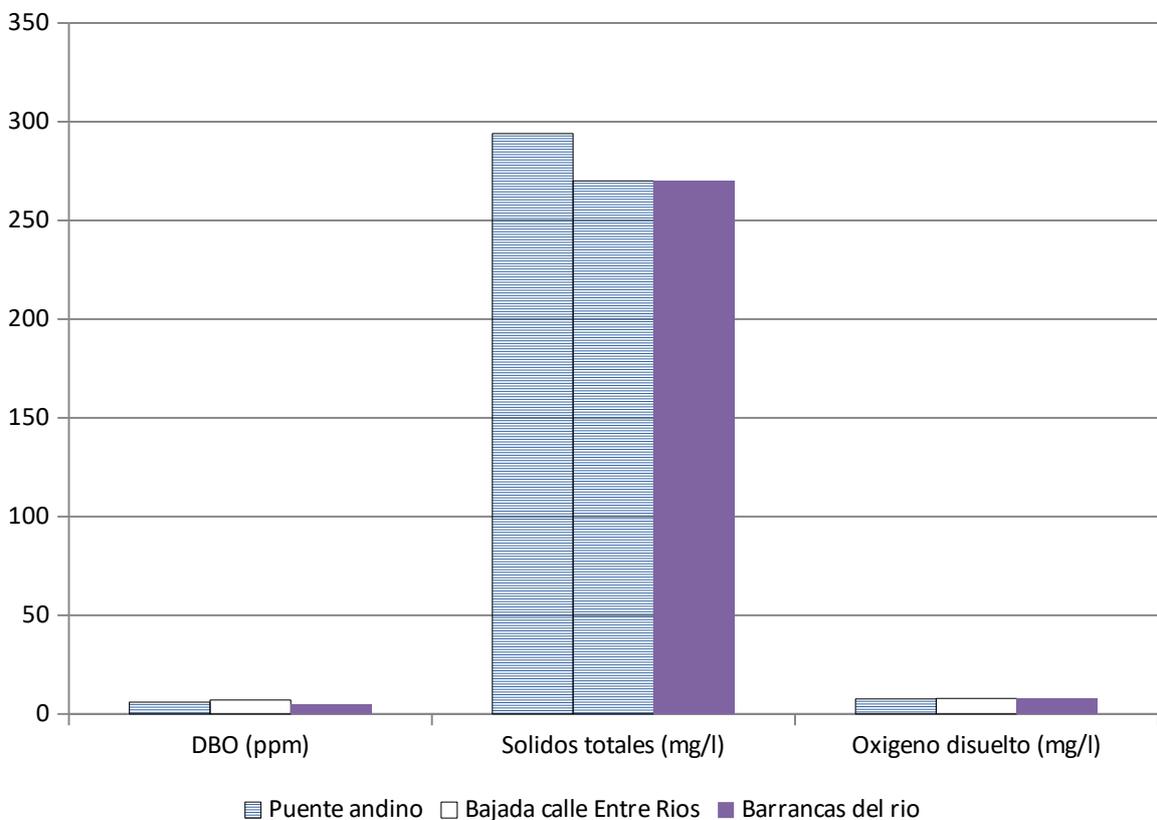


Figura 3. Representación de DBO<sub>5</sub>, Sólidos Totales y Oxígeno Disuelto

En las tablas 2 y 3 se calculan los porcentajes de variación respecto del punto inicial de muestreo (Puente Andino), cuyos valores se toman como 100 %.

Los resultados de los parámetros evaluados en los distintos puntos de muestreo, aguas abajo del Puente Andino, tomado como anterior al asentamiento de la población, presentan una disminución (% Inicial- %Valor hallado) en los valores la mayoría de las determinaciones físico químicas como Turbiedad (54% y 47%), Conductividad (9% y 8%), Alcalinidad (6% y 8%), Cloruros (21% y 19%), Nitratos (29% y 22%) y Sulfatos (12% y 6%). Se mantienen casi sin variación el pH, Dureza, Nitritos, Flúor y Arsénico.

Por otra parte la DBO<sub>5</sub> tiene un comportamiento variable, aunque al final del tramo muestreado presenta un disminución del 18 % Se observa un aumento del Oxígeno Disuelto (OD) en un 4%.

Este comportamiento podría deberse a las características meandrosas del río, que permite la acumulación de grandes bancos de arena, que estarían actuando como filtro natural de las aguas. Se observa además una notable aireación en la salida del balneario, que colabora con el mantenimiento de la DBO y el OD a lo largo del pasaje por la ciudad.

## Conclusiones

- ✓ La investigación realizada nos permite determinar la calidad físico-química del agua del Rio Ctalamochita de manera puntual ya que se han evaluado tres muestras en su paso por la ciudad, tomadas en una misma fecha y en una condición de caudal del curso de agua.
- ✓ La evaluación realizada solo comprende parámetros físico-químicos y puede complementarse con la investigación de su calidad bacteriológica y otros indicadores de contaminación.
- ✓ Los resultados de los parámetros evaluados en los distintos puntos de muestreo, aguas abajo del Puente Andino, tomado como anterior al asentamiento de la población, presentan una disminución en los valores la mayoría de las determinaciones físico químicas como Turbiedad (54% y 47%), Conductividad (9% y 8%), Alcalinidad (6% y 8%), Cloruros (21% y 19%), Nitratos (29% y 22%) y Sulfatos (12% y 6%).
- ✓ Se mantienen casi sin variación el pH, Dureza, Nitritos, Flúor y Arsénico.
- ✓ La DBO<sub>5</sub> tiene un comportamiento variable, aunque al final del tramo muestreado presenta un disminución del 18 % Se observa un aumento del Oxígeno Disuelto en un 4%.

## Bibliografía

- APHA; AWWA; WPCF. 2005. *Standard Methods For The Examination Of Water And Wastewater, 21th.*
- CEPIS, OPS, OMS. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. 2002. Manual de diseño de galerías filtrantes.
- D.A.S, Sistema Provincial de Control de Calidad. 1994. *Normas Provinciales de Calidad y Control de Agua Para Bebida, Resolución Di.P.A.S. 608/93.* Córdoba. vol. I.
- Fair G., Okun D., Geyer J. *Abastecimiento De Agua Y Remoción De Aguas Residuales. Tomo 1: Ingeniería Sanitaria Y De Aguas Residuales.* Ed. Ciencia y Técnica, 1993.
- Gil Montes J. 2008. *Recursos Hidrogeológicos.* Instituto de Ciencias de la Tierra <http://gea.ciens.ucv.ve/geoquimi/hidro/wp-content/uploads/2011/07/recursos.pdf>.
- Huisman L. 1984. Slow Sand Filtration TU. Delf University.
- Pflüger J. 2008. *El Agua Potable En La Republica Argentina. Diagnostico De Fuentes De Agua En Algunas Localidades.* [www.alhsud.com/public/ebooks/aguaenargentina\\_fluger\\_24º\\_0307.pdf](http://www.alhsud.com/public/ebooks/aguaenargentina_fluger_24º_0307.pdf)
- Dirección General de Estadística y Censos. Gobierno de la Provincia de Córdoba. Provincia de Córdoba según Municipios/Comunas. Censo 2010. <https://estadistica.cba.gov.ar>.



## Índice de trabajos

	<b>Pág.</b>
CYTF-001 La Experiencia del Aprendizaje Basado en Problemas para el Desarrollo de las Competencias Ingenieriles (Trabajo de Grado)	9
CYTF-002 Hardware Multidisciplinario para la Enseñanza de Ciencias Exactas (Trabajo de Grado)	15
CYTF-003 Transformada Discreta de Fourier: Demostración Didáctica sobre Distorsión Armónica en Redes Eléctricas (Trabajo de Posgrado)	21
CYTF-004 Re-Ingeniería, Verificación y Validación de Tribómetro Abrasivo (Trabajo de Grado)	27
CYTF-005 Normativa de Agua de Reuso: Estado del Conocimiento (Trabajo de Grado)	33
CYTF-006 Desarrollo de un Circuito Versátil de Intercambio de Calor a Escala Piloto (Trabajo de Grado)	39
CYTF-007 Análisis de la Infiltración en Hormigones Porosos con Áridos de la Provincia de Entre Ríos - Desempeño Hidrológico (Trabajo de Grado)	45
CYTF-008 Centrales Eléctricas a Base de Biogás. Estudio del Potencial de Producción de Energía Eléctrica en los Distritos de Reconquista y Avellaneda según los Residuos Urbanos y Agroindustriales Disponibles (Trabajo de Grado)	51
CYTF-009 Proyecto de Parque Eólico en el Límite Interprovincial San Luis-Córdoba. Análisis en Régimen Estático y Dinámico de su Acceso a la Red Según Aplicación del Código de Red Argentino (Trabajo de Grado)	57
CYTF-010 Estudio del Fenómeno Transitorio ante Huecos de Tensión de un Generador Eólico Funcionando en una Red de Baja Potencia de Cortocircuito (Trabajo de Grado)	63
CYTF-011 Solución a Atasco en Sistema de Trazabilidad de Inyección de Plásticos Mediante el Uso de TRIZ y sus Herramientas (Trabajo de Grado)	69
CYTF-012 Propuesta de Laboratorio de Análisis de Aceite para Mantenimiento Predictivo (Trabajo de Grado)	75
CYTF-013 Plataforma Robótica Móvil Outdoor de Bajo Costo (Trabajo de Grado)	81
CYTF-014 Detección Temprana de Deserción Estudiantil para Aspirantes e Ingresantes de la UTN FRLP (Trabajo de Posgrado)	87
CYTF-015 Efecto del Alcohol Etílico en la Cinética de Curado de Resinas de Fenol-Formaldehido del Tipo Resol (Trabajo de Grado)	93
CYTF-016 Revisión de Kits para la Determinación de Arsénico en Aguas (Trabajo de Grado)	99
CYTF-017 Una Propuesta de Aplicación de Metodologías Activas en una Materia Integradora de Ingeniería Electromecánica (Trabajo de Grado)	105
CYTF-018 Una Herramienta Lúdica Adaptada para Uso en Múltiples Contextos de Aprendizaje (Trabajo de Grado)	111
CYTF-019 Determinación del Potencial de Generación Híbrida Distribuida Vinculada al Sistema de Subtransmisión en 33 kV de La Provincia de Entre Ríos (Trabajo de Grado)	117
CYTF-020 Detección de Fallas Estructurales en Secciones Analógicas Configurables de Sistemas en Chip (Trabajo de Posgrado)	123
CYTF-021 Estudio para Mejorar la Duración del Filo de Cuchillas para Corte de Hilo y Papel (Trabajo de Grado)	129
CYTF-022 Monitoreo de Contaminación Acústica Generada por el Tráfico Vehicular en el Entorno del Hospital Vera Barros, La Rioja (Trabajo de Grado)	135
CYTF-023 Detección de Fallas en Elementos Estructurales Mediante Señales de Vibraciones (Trabajo de Grado)	141

	<b>Pág.</b>	
CYTF-024	Aplicación en Scilab para la Determinación de la Respuesta Dinámica en Rotores Flexibles (Trabajo de Grado)	147
CYTF-025	Comparación de las Curvas de Revenido en Aceros SAE 1070 y SAE 4140 con las Curvas de las Normas IRAM (Trabajo de Grado)	153
CYTF-026	Análisis de Fallas en Sistema de Mezclado de Germinador de Cebada (Trabajo de Grado)	159
CYTF-027	Reingeniería del Dispositivo para Determinar la Resistencia al Desgaste en Seco de Materiales por Erosión (Trabajo de Grado)	165
CYTF-028	Aprovechamiento de Residuos Arcillosos para la Remoción de Metales Divalentes en Solución (Trabajo de Grado)	171
CYTF-029	Estudio Preliminar de Desorción de Metales Divalentes en Arcillas de La Provincia de Entre Ríos (Trabajo de Grado)	177
CYTF-030	Estudio de Líneas de Transmisión T.E.M. a través de Simuladores de Circuitos Electrónicos (Trabajo de Grado)	183
CYTF-031	Estudio del Contenido Armónico en Líneas de Alumbrado Público con Componentes Electrónicos Alimentándolo entre Fases y Usando Autotransformadores (Trabajo de Grado)	189
CYTF-032	Aplicación del Procesamiento de Imágenes en la Caracterización y Clasificación de Áreas Agrícolas (Trabajo de Grado)	195
CYTF-033	Estimación Híbrida de Posición Angular en Dispositivos de Captura de Imágenes Aéreas (Trabajo de Grado)	201
CYTF-034	Implementación de Movilidad Sostenible en Vehículos de la Municipalidad de Santa Fe (Trabajo de Grado)	207
CYTF-035	Análisis Estructural de Dispositivos Traseros de Protección (Paragolpes) de Semirremolques Fabricados en Aleación de Aluminio (Trabajo de Grado)	213
CYTF-036	Resinas Poliéster Insaturadas Modificadas con Aceite de Ricino Maleinizado con Propiedades Finales Mejoradas (Trabajo de Grado)	219
CYTF-037	Rediseño Conceptual del Inodoro Convencional Mediante TRIZ con el Objetivo de Reducir el Consumo de Agua Potable (Trabajo de Grado)	225
CYTF-038	Optimización de la Eficiencia de una Antena de Transmisión de Datos (Trabajo de Grado)	231
CYTF-039	Estudio Comparativo de Secado por Convección y Radiación de Zapallo Variedad Cucurbita Moschata Duch (Trabajo de Posgrado)	237
CYTF-040	Desarrollo de un Sistema de Tratamiento de Efluente Producido en una Instalación de Ordeño (Trabajo de Grado)	243
CYTF-041	Adsorción de Azul de Metileno Mediante Residuos Provenientes de la Industria Algodonera (Trabajo de Grado)	249
CYTF-042	Aislamiento de Actinobacterias y Ensayos de Crecimiento en Medio de Cultivo Suplementado con Furfural (Trabajo de Grado)	255
CYTF-043	Análisis Predictivo sobre la Cantidad de Horas de Generación de una Instalación Solar Fotovoltaica (Trabajo de Grado)	261
CYTF-044	Armaduras Espaciales de Doble Capa Plana: Optimización Mediante Diseño Paramétrico y Algoritmos Genéticos (Trabajo de Posgrado)	267
CYTF-045	Mejora de Sistema de Transporte Horizontal - Método TRIZ (Trabajo de Grado)	273
CYTF-046	Diseño de un Sistema de Climatización por Tubos Enterrados en Viviendas Económicas. Predicciones Teóricas de su Eficiencia Energética (Trabajo de Grado)	279
CYTF-047	Caracterización Estructural de Suelos Arcillosos de la Región a Partir de Ensayos Triaxiales Escalonados (Trabajo de Grado)	285

	<b>Pág.</b>	
CYTF-048	El Uso de AMA como Metodología de Control de la RAS en Hormigones de la Mesopotamia con Agregados de Hormigones Reciclados Reactivos (Trabajo de Grado)	291
CYTF-049	Aplicación de Hormigones Sustentables, Alternativas para el Diseño de Hormigones Porosos en Pavimentos con Agregados de la Provincia de Entre Ríos (Trabajo de Grado)	297
CYTF-050	Monitoreo de Material Particulado y Desarrollo de Instrumental, Caso de Estudio Ciudad de Concordia, Entre Ríos. (Trabajo de Grado)	303
CYTF-051	Sobre el Comportamiento de las Arcillas Activas de Entre Ríos con Cantidades Variables de Arena (Trabajo de Grado)	309
CYTF-052	Sobre el Comportamiento de los Suelos Potencialmente Activos Estabilizados para su Uso en la Ingeniería Vial. (Trabajo de Grado)	315
CYTF-053	Variación de Compuestos Bioactivos e Indicadores de Color Durante el Almacenamiento de una Salsa Vegetal Envasada en Distintos Materiales (Trabajo de Posgrado)	321
CYTF-054	Bloques de Tierra Comprimida (BTC) Estabilizados con Cal. Evaluación de su Resistencia a Compresión y Erosión Húmeda (Trabajo de Posgrado)	327
CYTF-055	Modernización de La Fresadora CNC Supermill (Trabajo de Grado)	333
CYTF-056	Caracterización Espectroscópica y Propiedades Superficiales de Precursores de Quimiosensores Soportados en Sílice Mesoporosa (Trabajo de Posgrado)	339
CYTF-057	Caracterización y Síntesis del Bis-Eugenol a Partir del Eugenol Obtenido por Métodos Convencionales de Extracción (Trabajo de Grado)	345
CYTF-058	Especificación de Celdas de Combustible (Fuel Cell) para Generación Distribuida (Trabajo de Grado)	351
CYTF-059	Implementación de un Esquema de Despliegue Continuo para el Desarrollo de Aplicaciones Móviles Híbridas (Trabajo de Posgrado)	357
CYTF-060	Adhesión y Desgaste de un Recubrimiento PVD de TiN Depositado sobre AISI 316L Nitruado (Trabajo de Grado)	363
CYTF-061	Optimización de Máquina para Ensayos de Fatiga por Flexión Rotativa y Estudio de la Influencia de Diferentes Terminaciones Superficiales (Trabajo de Grado)	369
CYTF-062	Influencia de la Glucosa como Co-Sustrato en la Biodegradación de Furfural (Trabajo de Grado)	375
CYTF-063	Desarrollo de Disco para el Pulido de Pezuñas de Ganado Bovino (Trabajo de Posgrado)	379
CYTF-064	Análisis de la Evolución de Curva de Tasa Spot Teórica en Bonos Soberanos del Estado Argentino Nominados en Dólares y Potenciales Arbitrajes en el Año 2016 (Trabajo de Posgrado)	385
CYTF-065	Diseño de Herramienta para Mejorar Técnicas Podales y Realizar Podología Preventiva, Potro Hidráulico (Trabajo de Posgrado)	389
CYTF-066	Redes Poliméricas Bio-Basadas a Partir de Aceite Epoxidado de Soja y Ácidos Carboxílicos Naturales (Trabajo de Grado)	395
CYTF-067	Implementación de la Metodología B-Learning en el Seminario de Ingreso de la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Villa María (Trabajo de Posgrado)	401
CYTF-068	Modelado de Procesos de Enseñanza con Business Process Modeling Notation (BOMN) en la Ingeniería (Trabajo de Posgrado)	407
CYTF-069	Mapeo de Actores Socio Productivos de Villa María y Villa Nueva. (Trabajo de Grado)	413
CYTF-070	Ejemplo de Análisis Sísmico de Estructura de H <sup>o</sup> A <sup>o</sup> con Sistemas de Disipación de Energía Mediante la Aplicación de la Norma ASCE 7-10 (Trabajo de Grado)	419

	<b>Pág.</b>
CYTF-071 Modulador Digital QPSK (Trabajo de Grado)	425
CYTF-072 Selección de Sistema de Compresión de Imágenes para Cámara Satelital de Alta Resolución (Trabajo de Posgrado)	431
CYTF-073 Mejora de Proceso de Fabricación de Pistones con Cámaras de Refrigeración Mediante Metodología TRIZ (Trabajo de Grado)	437
CYTF-074 Paneles Aislantes de Revestimiento Interior a Partir de Residuos Celulósicos (Trabajo de Grado)	443
CYTF-075 Determinación de la Variación de la Cohesión, Susceptibilidad Térmica, Adherencia y Envejecimiento al Incorporar Arenas Naturales en Concretos Asfálticos en Caliente, Mediante el Método UCL. (Trabajo de Grado)	449
CYTF-076 Efectos de Aceites Esenciales de Orégano ( <i>Origanum Vulgare</i> , L) y Canela ( <i>Cinnamomum Cassia</i> ) sobre el Crecimiento de la Levadura <i>Zygosaccharomyces Parabaillii</i> . (Trabajo de Posgrado)	455
CYTF-077 Investigación de la Presencia de <i>Clostridium Perfringens</i> en Aguas Superficiales. (Trabajo de Grado)	461
CYTF-078 Estudio de las Deformaciones Permanentes en Mezclas Asfálticas Usando Porcentajes Variables de Áridos Triturados y Naturales (Trabajo de Grado)	467
CYTF-079 Caracterización Sensorial y Físicoquímica de Productos Cárnicos Elaborados con Cantidades Reducidas de Sodio (Trabajo de Grado)	473
CYTF-080 Automatización de un Reactor Biológico a Escala Piloto para el Tratamiento de Efluentes Lácteos (Trabajo de Grado)	479
CYTF-081 Caracterización Físicoquímica, Microbiológica y Detección de Atrazina en Agua Subterránea de la Cuenca Lechera de Villa María, Córdoba, Argentina. (Trabajo de Posgrado)	485
CYTF-082 Contribución sobre Diseño de Estructuras para Montar Paneles Solares en Zonas Urbanas (Trabajo de Posgrado)	491
CYTF-083 Diseño y Simulación de una Estructura para Instalación Solar Piloto. (Trabajo de Grado)	497
CYTF-084 Análisis del Efecto de la Aireación en la Hidrodinámica de Fluidos con Flujo No Ideal en un Reactor Flujo-Pistón (Trabajo de Posgrado)	503
CYTF-085 Desarrollo, Construcción y Puesta en Funcionamiento de Cámara de Carbonatación Acelerada (Trabajo de Grado)	509
CYTF-086 Evaluación de la Relación entre la Compresión Paralela a la Fibra y la Resistencia a Flexión de Secciones Aserradas de Madera de Álamo (Trabajo de Grado)	515
CYTF-087 Implementación de una Microrred como Alternativa de Abastecimiento Energético Mediante la Utilización de Energías Renovables (Trabajo de Grado)	521
CYTF-088 Revisión de Métodos de Pretratamiento de Biomasa Lignocelulósica para la Obtención de Bioetanol de Segunda Generación. (Trabajo de Grado)	527
CYTF-089 Análisis de los Principales Métodos de Inmovilización de Enzimas (Trabajo de Grado)	533
CYTF-090 Deshidratación de Frutas por Secado Bajo Vacío y Liofilización (Trabajo de Grado)	539
CYTF-091 Evaluación de la Calidad Físico-Química del Río Ctalamochita (Trabajo de Grado)	545



Secretaría de Ciencia,  
Tecnología y Posgrado



**UTN VILLA MARIA**

## Comité Organizador

Presidente:

**Ing. Pablo Rosso**

Coordinador:

**Ing. José Catalano**

Vicepresidente:

**Ing. Franco Salvático**

Integrantes:

**Dr. Eduardo Romero**

**Dra. Gabriela Peretti**

**Mg. Carlos Tais**

**Ing. Huber Fernández**

Secretario Ejecutivo:

**Ing. Marcelo Cejas**

**Mg. Luis Toselli**

**Dr. Jorge Palombarini**

**Ing. Gaspar Cena**

**Dr. Eldo J. Lucioni**

**Cr. Sergio Gilabert**

**Ing. David Belamate**

**Mg. Miguel A. Rosa**

**Sr. Gonzalo Giorgis**

Secretarios:

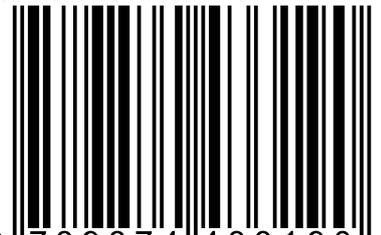
**Ing. Javier Gonella**

**Ing. Fabian Sensini**

Universidad Tecnológica Nacional  
Facultad Regional Villa María  
Av. Universidad 450 - Villa María, Córdoba  
[jcytal@frvm.utn.edu.ar](mailto:jcytal@frvm.utn.edu.ar)

Septiembre 2018

ISBN 978-987-4433-19-0



9 789874 433190