

jjit 2021

# Jornadas Jóvenes Investigadores Tecnológicos

Facultad Regional Santa Fe

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Santa Fe

JIT 2021 : Jornadas de Jóvenes Investigadores Tecnológicos : Novena edición de las Jornadas de Jóvenes Investigadores Tecnológicos JIT 2021 / contribuciones de Patricia Acevedo ; Mauro Avalo ; Marcela Tulián ; compilación de Ana Rosa Tymoschuk ; prefacio de Ana Rosa Tymoschuk. - 1a ed adaptada. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : Universidad Tecnológica Nacional, 2022.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

Traducción de: Ana Rosa Tymoschuk.

ISBN 978-950-42-0212-7

1. Nuevas Tecnologías. I. Acevedo, Patricia, colab. II. Avalo, Mauro, colab. III. Tulián, Marcela, colab. IV. Tymoschuk, Ana Rosa, comp. V. Título.

CDD 607.1

ISBN 978-950-42-0212-7



Este obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional.



# Jornadas Jóvenes Investigadores Tecnológicos

6 y 7 de octubre de 2021

Facultad Regional Santa Fe

Memoria de Trabajos

## EDITORIAL

Los cambios que se produjeron en las actividades de la Universidad a partir de marzo de 2020 por la pandemia del COVID 19, entre ellas las de investigación y desarrollo, no impidieron que se continuara con el espacio de las Jornadas de Jóvenes Investigadores Tecnológicos, tanto en la octava (2020) como en la novena edición (2021).

El evento se llevó a cabo los días 6 y 7 de octubre de 2021, con sede en la Facultad Regional Santa Fe, y fue organizada en conjunto con las otras cuatro Facultades Regionales de la UTN pertenecientes a la Provincia de Santa Fe: Rafaela, Reconquista, Venado Tuerto y Rosario. Los integrantes del Area TICS de la FR Santa Fe desarrollaron la plataforma virtual, tomando como modelo la que se usó en las JIT 2020, con sede en la FR Venado Tuerto, y brindada por la FR San Francisco.

Se presentaron 62 trabajos de I+D escritos en 12 de los Programas de I+D de la UTN, cuyos autores fueron 101 alumnos y graduados recientes. En el proceso de evaluación de dichos trabajos participaron 20 coordinadores y más de 90 docentes investigadores. Las exposiciones virtuales se presentaron online en un arreglo de 3 sesiones en paralelo (usando reuniones Zoom y un canal de YouTube para su difusión masiva). Además los trabajos fueron presentados en una sesión de videos pregrabados, dispuestos en la plataforma del evento. Las charlas en vivo y los videos pregrabados se encuentran disponibles online en la dirección <https://jit2021.frsf.utn.edu.ar/>.

Durante el evento, se realizó la conferencia plenaria “Profesiones tecnológicas vinculadas a las áreas de Investigación, Desarrollo e Innovación. Casos presentes y oportunidades del futuro”, donde participaron los egresados de UTN Dr. Emiliano Reynares, quien actualmente trabaja en la empresa alemana multinacional Boehringer Ingelheim con filial radicada en Barcelona (España), y Mg. Leonardo Cristalli, CEO de la Empresa Okaratech (Uruguay), de agricultura digital. La charla se encuentra disponible en la dirección <https://www.youtube.com/watch?v=CPD8K7GW-aw>.

Al final de las Jornadas se realizaron menciones especiales de los 5 videos más populares y de los 12 trabajos mejor escritos.



El Comité Organizador y las autoridades de la FR Santa Fe agradecemos la participación de los asistentes, expositores, evaluadores, moderadores, coordinadores, auspiciantes, técnicos de TICS y todos los que hicieron posible realizar esta novena edición de las JIT, cuya próxima sede será la FR Reconquista en 2022.

COVID 19 pandemic, occurred since March 2020, produced changes in University activities, including research and development, but this did not stop the Jornadas de Jóvenes Investigadores Tecnológicos, continuing, both in the eighth as in the ninth edition. The virtual modality allowed expositions of students and recent graduates R&D works, previous to evaluate the papers. The virtual event was held on October 6th and 7th, 2021, in Facultad Regional Santa Fe (FRSF), and organized in conjunction with the other four Facultades Regionales of Provincia de Santa Fe: Rafaela, Reconquista, Venado Tuerto and Rosario. The TICS members of FRSF developed the virtual platform, similar to one used in the JIT 2020 in the Facultad Regional Venado Tuerto, and provided by the Facultad Regional San Francisco. Sixty two papers were presented in 12 of the UTN's R&D Programs, and also, participated 101 work's authors. Twenty coordinators and more than ninety researchers proffesors participated in papers evaluation process. The papers were presented online in an arrangement of 3 parallel sessions (using Zoom meetings and a YouTube channel for mass dissemination). The resumen works were also presented in a pre-recorded video session. Live talks and pre-recorded videos are available online in <https://jit2021.frsf.utn.edu.ar/>.

The conference “Technological professions linked to the areas of Research, Development and Innovation. Present cases and future opportunities”, was developed by teo UTN`s graduates, Dr. Emiliano Reynares, who currently works at Boehringer Ingelheim company (Barcelona, Spain), and Mg. Leonardo Cristalli, CEO of the Okaratech Company (Uruguay). Conference was oriented to digital agriculture. Video was available online <https://www.youtube.com/watch?v=CPD8K7GW-aw>.

Finally, specials mentions was made for the ten most popular videos and the top ten written papers.

The Organizing Committee and the authorities of FRSF appreciate the participation of the attendees, exhibitors, evaluators, moderators, coordinators, sponsors, ICT technicians and whose made it possible to carry out this ninth edition JIT, whose next venue will be the FACULTAD REGIONAL Reconquista in 2022.

# COMITÉ ORGANIZADOR

## Autoridades:

a la fecha de las jornadas:

Rector UTN: **Ing. Héctor Aiassa**

Secretario de Ciencia, Tecnología y Posgrado UTN: **Ing. Miguel Sosa**

## Decanos:

Facultad Regional Rafaela: **Ing. Jorge David**

Facultad Regional Rosario: **Ing. Rubén Ciccarelli**

Facultad Regional Reconquista: **Ing. Santiago Arnulphi**

Facultad Regional Venado Tuerto: **Ing. Jorge Amigo**

Facultad Regional Santa Fe: **Ing. Rudy Grether**

## Secretarios de CyT de las Facultades Regionales organizadoras:

Facultad Regional Rosario: **Dr. Nicolás Scenna**

Facultad Regional Rafaela: **Ing. Marcelo Laorden**

Facultad Regional Reconquista: **Ing. Brian Moschen**

Facultad Regional Venado Tuerto: **Dr. Leandro Prevosto**

Facultad Regional Santa Fe: **Dra. Ana Rosa Tymoschuk**

## Invitada Especial

**Lic. Marina Baima**, Secretaria de Ciencia y Tecnología, Ministerio de Producción, Ciencia y Tecnología de la Provincia de Santa Fe

## Colaboradores de las Facultades Regionales organizadoras:

Facultad Regional Rosario: **Dra. Ana Marisa Arias**

Facultad Regional Rafaela: **Lic. Alejandra Mahieu**

Facultad Regional Santa Fe: **Dra. Anabela Guillarducci, Mg. José Luis Torres, Dr. Ariel Loyarte, Ing. María Elvira Rodríguez**

Facultad Regional Santa Fe, Área TIC: **Ing. Gustavo Pighin, Ing. Juan Carlos Ramos, Ing. Leopoldo Oronel.**

Facultad Regional Santa Fe, Área Comunicaciones: **Téc. Nahuel Gastón Zabala, Téc. Germán Saudejaud, Téc. Rodrigo Castillo.**

Facultad Regional Santa Fe, Secretaría de Ciencia y Tecnología: **Ing. Patricia Acevedo, Téc. Mauro Avalo, Téc. Marcela Tulián.**

# Comité Académico Científico

<b>Javier Acosta</b>	UTN Facultad Regional Santa Fe
<b>Alejandro Albanesi</b>	UTN GIMA Facultad Regional Santa Fe y CIMEC-CONICET / UNL
<b>Marcela Ambrosini</b>	UTN Facultad Regional Santa Fe
<b>Jorge Amigo</b>	UTN Facultad Regional Venado Tuerto
<b>Ana Marisa Arias</b>	UTN CAIMI Facultad Regional Rosario
<b>Luciana Ballejos</b>	UTN CIDISI Facultad Regional Santa Fe
<b>María Florencia Balzarini</b>	UTN CIDTA Facultad Regional Rosario
<b>Juan Marcos Banegas</b>	UTN CIESE Facultad Regional Santa Fe
<b>Loreley Beltramini</b>	UTN CECovi Facultad Regional Santa Fe
<b>Sonia Benz</b>	UTN CAIMI Facultad Regional Rosario
<b>Paola Biscotti</b>	UTN CAIMI Facultad Regional Rosario
<b>María Julia Blas</b>	INGAR (CONICET-UTN) Facultad Regional Santa Fe
<b>Rosana Boglione</b>	UTN Facultad Regional Venado Tuerto
<b>Santiago Cabrera</b>	UTN Facultad Regional Santa Fe
<b>María Fernanda Carrasco</b>	UTN Facultad Regional Santa Fe
<b>Eva Casco</b>	UTN Facultad Regional Santa Fe
<b>Mariel Ale</b>	UTN CIDISI Facultad Regional Santa Fe
<b>Juan Camilo Chamorro</b>	UTN Facultad Regional Venado Tuerto
<b>Maria cristina Ciappini</b>	UTN CIDTA Facultad Regional Rosario
<b>Ángel Ciarbonetti</b>	UTN Facultad Regional Santa Fe- CONICET
<b>Patricia Mores</b>	UTN CAIMI Facultad Regional Rosario
<b>Rossana Crudeli</b>	UTN Facultad Regional Reconquista
<b>Roberto Pablo Da Graca</b>	UTN Facultad Regional Santa Fe
<b>Adrian D'Andrea</b>	UTN Facultad Regional Santa Fe
<b>Evangelina Delfratte</b>	UTN CAIMI Facultad Regional Rosario
<b>Felipe Diaz</b>	UTN Facultad Regional Rafaela
<b>Erica Fernandez</b>	UTN Facultad Regional Santa Fe-Facultad Regional Rafaela
<b>Liliana Ferranti</b>	UTN Facultad Regional Rosario
<b>María Cecilia Filippetti</b>	UTN Facultad Regional Venado Tuerto
<b>Mauren Fuentes Mora</b>	INGAR (UTN-CONICET) Facultad Regional Santa Fe
<b>Silvio Gonnet</b>	INGAR (UTN -CONICET) Facultad Regional Santa Fe

<b>Ariel González</b>	UTN Facultad Regional Santa Fe
<b>Dianela González</b>	UTN CECOVl Facultad Regional Santa Fe
<b>Anabela Guilarducci</b>	UTN CECOVl Facultad Regional Santa Fe
<b>Alfredo Anibal Guillaumet</b>	UTN Facultad Regional Venado Tuerto
<b>María De Los Milagros Gutiérrez</b>	UTN CIDISI Facultad Regional Santa Fe
<b>Raúl Hurani</b>	UTN Facultad Regional Santa Fe
<b>Fernando Imaz</b>	UTN CETRAM Facultad Regional Santa Fe
<b>Juan Jaurena</b>	UTN CETRAN Facultad Regional Santa Fe
<b>Susana Keller</b>	UTN Facultad Regional Rafaela
<b>Pablo A. Kler</b>	UTN Facultad Regional Santa Fe y CIMEC-CONICET / UNL
<b>Rodrigo Leurino</b>	UTN GIMA Facultad Regional Santa Fe
<b>Román Rafael Llorens</b>	UTN Facultad Regional Santa Fe
<b>Diego López</b>	UTN CIESE Facultad Regional Santa Fe
<b>Jacinto Diab Losada</b>	UTN Facultad Regional Venado Tuerto
<b>Ariel Loyarte</b>	UTN CIESE Facultad Regional Santa Fe
<b>Alejandra Mahieu</b>	UTN Facultad Regional Rafaela
<b>Juan Ignacio Manassaldi</b>	UTN CAIMI Facultad Regional Rosario
<b>Ulises Manassero</b>	UTN CIESE Facultad Regional Santa Fe
<b>Luciano Marani</b>	UTN Facultad Regional Santa Fe
<b>Santiago Márquez Damián</b>	UTN Facultad Regional Santa Fe y CIMEC-CONICET / UNL
<b>Héctor Martín</b>	UTN Facultad Regional Reconquista
<b>Sandra M. Mendoza</b>	UTN Facultad Regional Reconquista
<b>Héctor Mónaco</b>	UTN Facultad Regional Rafaela
<b>Brian Moschen</b>	UTN Facultad Regional Reconquista
<b>Sergio Mussati</b>	INGAR (CONICET-UTN) Facultad Regional Rosario
<b>Miguel Mussati</b>	INGAR (CONICET-UTN) Facultad Regional Rosario
<b>Juan José Nittmann</b>	UTN Facultad Regional Rafaela
<b>Diego Gabriel Oliva</b>	INGAR (CONICET -UTN) Facultad Regional Santa Fe
<b>Matías Orué</b>	UTN GIEDI Facultad Regional Santa Fe
<b>Cecilia Panigatti</b>	UTN Facultad Regional Rafaela
<b>Mara Jaquelina Papa</b>	UTN Facultad Regional Venado Tuerto
<b>Rosana Marcela Portillo</b>	UTN Facultad Regional Santa Fe
<b>Leandro Prevosto</b>	UTN Facultad Regional Venado Tuerto

<b>Pedro Querini</b>	UTN Facultad Regional Rafaela
<b>Sandra Cristina Ramírez</b>	UTN Facultad Regional Santa Fe
<b>María Reinheimer</b>	UTN Facultad Regional Rosario
<b>Fabiana María Riva</b>	UTN Facultad Regional Rosario
<b>María Elvira Rodríguez</b>	UTN Facultad Regional Santa Fe
<b>María Luciana Roldán</b>	INGAR (CONICET –UTN) Facultad Regional Santa Fe
<b>Nadia Román</b>	UTN Facultad Regional Santa Fe
<b>Omar Romero</b>	UTN Facultad Regional Santa Fe
<b>Mariano Rubiolo</b>	UTN CIDISI Facultad Regional Santa Fe
<b>Sebastián Russillo</b>	UTN GIMA Facultad Regional Santa Fe
<b>Emmanuel Sangoi</b>	UTN CIESE Facultad Regional Santa Fe
<b>Carlos Ignacio Sanseverinatti</b>	UTN Facultad Regional Santa Fe
<b>Judith Santa Cruz</b>	UTN CAIMI Facultad Regional Rosario
<b>Alejandro Santa Cruz</b>	UTN Facultad Regional Rosario
<b>Nicolás José Scenna</b>	UTN Facultad Regional Rosario
<b>María Celeste Schierano</b>	UTN Facultad Regional Rafaela
<b>Mariano Serenelli</b>	UTN Facultad Regional Rosario
<b>Fabrizio Sfulcini</b>	UTN Facultad Regional Rosario
<b>Irene Steinmann</b>	UTN Facultad Regional Santa Fe
<b>José Luis Torres</b>	UTN CIESE Facultad Regional Santa Fe
<b>Néstor Ulibarrie</b>	UTN CECOVl Facultad Regional Santa Fe
<b>Marcela Vegetti</b>	UTN INGAR (CONICET / UTN) - Facultad Regional Santa Fe
<b>Marcela Vera</b>	UTN Facultad Regional Santa Fe
<b>Darío Weitz</b>	UTN Facultad Regional Rosario
<b>Laura Zanitti</b>	UTN Facultad Regional Santa Fe
<b>Lara Zingaretti</b>	UTN Facultad Regional Santa Fe
<b>David Zumoffen</b>	CIFASIS-CONICET – CCT Rosario



## AUSPICIANTES

1. Gremio de Docentes UTN FAGDUT
2. Concejo Deliberante de la Municipalidad de Santa Fe- gestión Concejala Laura Spina
3. Cámara de Diputados del Congreso de la Provincia de Santa Fe - gestión Diputado Sergio Basile.
4. Colegio de Ingenieros Especialistas de Santa Fe.
5. Secretaría de Ciencia, Tecnología y Posgrado de la Universidad Tecnológica Nacional, Secretario Ing. Miguel Angel Sosa.
6. Rector de la Universidad Tecnológica Nacional, Ing. Héctor Aiassa

# Cronograma de Actividades

Miércoles 6 de octubre de 2021

09:00 hs. **Acto de apertura y presentación de las JIT 2021**

Sesión 1 A - Área Temática: Energía

**Subestación en IEC 61850 para una microred con recursos energéticos distribuidos. Parte i: construcción de la infraestructura** - Kevin Basilio, Rodrigo Ekkert y Franco Verón Lagger ..... Pág.18

10:00 hs. Sesión 2 A - Áreas Temáticas: Sistemas de Información e Informática -  
Electrónica, Comunicaciones y Computación

**Una Gramática Libre de Contexto para la Definición de Modelos de Red Restringidos como Soporte al Formalismo RDEVS** - Clarisa Espertino ..... Pág.23

Sesión 3 A - Área Temática: Tecnología Educativa y Enseñanza de la Ingeniería

**Experiencias didácticas para el aprendizaje de cinemática mediante el uso del sensor acelerómetro del teléfono celular** - Antonela Fissore, Julieta Lederhos, Inés Schneider y Sofía Zunoffen ..... Pág.28

Sesión 1 A - Área Temática: Energía

**Subestación en IEC 61850 para una micro-red con recursos energéticos distribuidos. Parte II: Programación de los IEDs** - Kevin Tomás Basilio y Franco Verón Lagger ..... Pág.35

10:20 hs. Sesión 2 A - Áreas Temáticas: Sistemas de Información e Informática -  
Electrónica, Comunicaciones y Computación

**Uso de herramientas SIG para análisis de índole urbana: aplicación en cobertura de la red de saneamiento de la ciudad de Venado Tuerto** - Estefania Zoppi y Matías Majoral ..... Pág.40

Sesión 3 A - Área Temática: Tecnología Educativa y Enseñanza de la Ingeniería

**Comparación de metodología y herramientas utilizadas durante la pandemia** - Agustina Funes, Milagros Galoppo y Victoria Sosa ..... Pág.45

Sesión 1 A - Área Temática: Energía

**Análisis del Impacto en Redes de Media Tensión del Arranque de Motores Eléctricos de Gran Potencia** - Mariano Miguel Perdomo ..... Pág.50

10:40 hs. Sesión 2 A - Áreas Temáticas: Sistemas de Información e Informática -  
Electrónica, Comunicaciones y Computación

**Aplicación de técnica de resumen extractiva para documentos legales** - Facundo Montiel y Juan Ignacio Grosso ..... Pág.55

Sesión 3 A - Área Temática: Tecnología Educativa y Enseñanza de la Ingeniería

**Implementación Didáctica de una Simulación, bajo un Motor de Juegos, para el Laboratorio en Química de la FRSF, UTN** - Tomás Assenza, y Domingo Liprandi ..... Pág.60



Sesión 1 A - Área Temática: Energía

**Metodológica para el dimensionamiento de módulos de generación distribuida renovable a ingresar en redes de distribución en 33 Kv - Agustin Solari** ..... Pág.65

Sesión 2 A - Áreas Temáticas: Sistemas de Información e Informática - Electrónica, Comunicaciones y Computación

11:00 hs. **Implementación de Procesos de Negocio Colaborativos usando la Plataforma de Blockchain Hyperledger Fabric - Juan Wiggenhauser**..... Pág.70



Sesión 3 A - Área Temática: Tecnología Educativa y Enseñanza de la Ingeniería

**Experiencia de investigación y evaluación taxonómica de la enseñanza de Química en Ingeniería Civil - Lucia Giuliani, y Nicolas Carrara** ..... Pág.75

Sesión 1 A - Área Temática: Energía

**Impacto sobre la red de distribución de técnicas de gestión de demanda aplicadas en usuarios residenciales convencional y electrointensivos - Damian Cano**..... Pág.80

Sesión 2 A - Áreas Temáticas: Sistemas de Información e Informática - Electrónica, Comunicaciones y Computación

11:20 hs. **Esquema de comunicaciones entre dispositivos programables IOT en el contexto de microredes eléctricas - Matías Agustín Hillar y Esteban Echandia Onchiniuk** ..... Pág.85

Sesión 3 A - Área Temática: Tecnología Educativa y Enseñanza de la Ingeniería

**Creación de una Mini Unidad de Aprendizaje denominada "Integral Definida" - Ignacio José Alurralde, Romina Durunda y Aldana Stefanía Tibaldo** ..... Pág.90

Sesión 1 A - Área Temática: Energía

11:40 hs. **Eficiencia energética en el edificio de la UTN FRRq con la aplicación de la Norma ISO 50001 - Sergio Villán, Gabriel Martinez y Danielo Tourne** ..... Pág.95

Sesión 3 A - Área Temática: Tecnología Educativa y Enseñanza de la Ingeniería

**Ingeniería industrial: probables aspectos a mejorar de su plan de estudios relativos a materias básicas - Manuel Trejo Blas** ..... Pág.100

Sesión 1 A - Área Temática: Energía

**Estudio y propuesta de obras de expansión del sistema interconectado provincial de Corrientes con cambio de estrategia de operación de los enlaces interprovinciales - Emanuel Ordoñez** ..... Pág.105



Sesión 2 A - Áreas Temáticas: Sistemas de Información e Informática - Electrónica, Comunicaciones y Computación

12:00 hs. **Control de acceso libre de contacto - Juan Pablo Marcon y Mateo Bassani** ..... Pág.110



Sesión 3 A - Área Temática: Tecnología Educativa y Enseñanza de la Ingeniería

**Desarrollo y generación de material didáctico para la enseñanza de cinemática en ingeniería - Brian J. Zorzon, Ezequiel L. Pappano, Juan P. Marcon, Lucas D. Snaider y Marcos Peresón** ..... Pág.115

12:20 hs. **Sesión 1 A - Área Temática: Energía**  
**Propuesta Metodológica de un Conjunto de Calificadores para Análisis de Estrategias de Reconfiguración de Redes de Distribución - Alexander Nahs** ..... Pág.119

---

12:30 hs. Finalización de charlas de la mañana

---

#### Panel de disertantes

14:00 hs. •Dr. Emiliano Reynares. Dr. En Ingeniería Mención Ingeniería en Sistemas de Información de la UTN FRSF. Docente e investigador de UTN y del CONICET. Desde febrero de 2020 trabaja como modelador de datos para simulaciones de agentes inteligentes en el desarrollo de fármacos para salud humana y animal en la empresa alemana multinacional Boehringer Ingelheim, con filial radicada en Barcelona (España)

•Ing. Leonardo Cristalli. Ing. Industrial del UTN FRSF, es gerente de la empresa OKARATECH, dedicada a la agricultura digital y a los agronegocios, radicado en Montevideo (Uruguay).

---

#### Sesión 1 B - Área Temática: Medio Ambiente, Contingencias y Desarrollo Sustentable

**Caracterización del uso del agua en sistemas de producción primaria lechera - Luciana Jennerich**..... Pág.124

15:20 hs. **Sesión 2 B -Área Temática: Estructuras Civiles y Construcciones**  
**Prototipo de Vivienda Multifamiliar Sustentable desde una mirada constructiva y social - Paula Cinat, Victoria Williner y Carolina Giorgiutti**..... Pág.129

#### Sesión 3 B - Área Temática: Materiales

**Análisis de las relaciones entre los parámetros de esfericidad y compacidad en fundición de grafito esferoidal mediante micro tomografía computarizada de rayos X y procesamiento de imágenes - Juan Cruz Toledo** ..... Pág.134



#### Sesión 1 B - Área Temática: Medio Ambiente, Contingencias y Desarrollo Sustentable

**Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en sistemas de tratamiento de efluentes en predios lecheros - Facundo Vogt y Mateo Caussi** ..... Pág.139

15:40 hs. **Sesión 2 B -Área Temática: Estructuras Civiles y Construcciones**  
**Análisis comparativo de los reglamentos argentino y europeo de las presiones en las cubiertas abovedadas - Milagros Turino y Paula Farandato**..... Pág.144

#### Sesión 3 B - Área Temática: Materiales

**Bloques de Tierra Comprimida (BTC) estabilizados con cal y adiciones minerales - Virginia Clausen**..... Pág.149

Sesión 1 B - Área Temática: Medio Ambiente, Contingencias y Desarrollo Sustentable

**Simulación del equilibrio Líquido-Vapor de la mezcla NH<sub>3</sub>-CO<sub>2</sub>-NaCl-H<sub>2</sub>O** - *Martina Ana Serra, Patricia Liliana Mores y Ana Marisa Arias*..... Pág.154

16:00 hs. Sesión 2 B -Área Temática: Estructuras Civiles y Construcciones  
**Métodos probabilísticos para el estudio de vibraciones libres de entramados planos con parámetros inciertos** - *Nicolás Martín y Marcos Pereson*.....Pág.159

Sesión 3 B - Área Temática: Materiales

**Mejoras del proceso e instalación de un laboratorio de ensayos para la empresa GS Block** - *Gonzalo Leon Darras y Cristian Benvenuto* ..... Pág.164

---

Sesión 1 B - Área Temática: Medio Ambiente, Contingencias y Desarrollo Sustentable

**Tratamiento terciario de efluentes de un predio lechero aplicando humedales construidos** - *Alejo Pagaburu, Sabrina Monay y Lorenzo Boschetto*..... Pág.169

16:20 hs. Sesión 2 B -Área Temática: Estructuras Civiles y Construcciones  
**Evaluación de la incidencia de la longitud de la varilla del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) en el funcionamiento del equipo y las correlaciones asociadas al ensayo** - *Joel Agüero, María Emilia Ferreras y Brenda Monci* .....Pág.174

Sesión 3 B - Área Temática: Materiales

**Estudio de estructuras de trans-estilbeno mediante microscopía de efecto túnel** - *Brian Zorzon, Javier Vitti y Sandra Mendoza* ..... Pág.179

---

Sesión 1 B - Área Temática: Medio Ambiente, Contingencias y Desarrollo Sustentable

**Análisis comparativo de lixiviados del relleno sanitario de la ciudad de Rafaela (santa fe) a diferentes edades** - *Gonzalo Gutierrez* ..... Pág.184



16:40 hs. Sesión 2 B -Área Temática: Estructuras Civiles y Construcciones  
**Aplicación del método de volúmenes finitos a la modelización del flujo en hormigones permeables** - *Ignacio Corazza* .....Pág.189

Sesión 3 B - Área Temática: Materiales

**Tensiones críticas para madera laminada encolada de álamo sometida a compresión centrada** - *Lia Meyer* ..... Pág.194

---

Sesión 1 B - Área Temática: Medio Ambiente, Contingencias y Desarrollo Sustentable

**Sistema de información geográfica de aptitud de suelos para su uso en la construcción con tierra, en la región del sur de Santa Fe y sur de Córdoba** - *Malena Becerra, Andres Rottet y Pablo Costamagna* ..... Pág.199

17:00 hs. Sesión 2 B -Área Temática: Estructuras Civiles y Construcciones  
**Revisión sobre ensayo de carbonatación acelerada** - *Javier Schmidt, Francisco Ulibarrie y Sebastián Vanney* .....Pág.203

Sesión 3 B - Área Temática: Materiales

**Criterios para el análisis de ciclo de vida de la producción de cemento** - *Dianela Gonzalez, Ludmila Rosso y Valentina Storti*..... Pág.208

Sesión 1 B - Área Temática: Medio Ambiente, Contingencias y Desarrollo Sustentable

**Metodologías SIG para la elaboración de indicadores de arbolado urbano: caso de aplicación B° Norte, Venado Tuerto** - Marina Carpinetti y Camila Sager ..... Pág.213



17:20 hs. Sesión 2 B - Área Temática: Estructuras Civiles y Construcciones

**Ensayos de caracterización de tierra para la construcción con Tapia** - Kevin Gajdosik ..... Pág.218

Sesión 3 B - Área Temática: Materiales

**Determinación de la resistencia al aplastamiento en madera de Pinus Elliottii** - Silvina Bianchi y Hugo Martínez Merlo ..... Pág.223

Sesión 1 B - Área Temática: Medio Ambiente, Contingencias y Desarrollo Sustentable

17:40 hs. **Estudios preliminares sobre la disposición del alcantarillado en redes viales conforme el efecto de la recurrencia del agua en superficie. Caso de aplicación: Sur de Santa Fe** - Vanina Piñero, Romina Nieves y Martina Cutró ..... Pág.228



Sesión 3 B - Área Temática: Materiales

**Use of cotton gin waste y urea formaldehyde resin for the manufacture of particle board** - Luciano Massons, Agustina Trevisan y Florencia Benítez ..... Pág.233

Sesión 1 B - Área Temática: Medio Ambiente, Contingencias y Desarrollo Sustentable

18:00 hs. **Evaluación de la vulnerabilidad del acuífero Pampeano frente a diferentes escenarios climáticos en la ciudad de Rafaela, Santa Fe (Argentina)** - Milagros Márquez y Lara Tascón ..... Pág.238

Sesión 3 B - Área Temática: Materiales

**Uso del hormigón drenante como alternativa a los sistemas de regulación pluvial convencionales** - Maximiliano Eduardo Miraglio, Diego Aguirre y Fernando Fogliatti ..... Pág.243

Sesión 1 B - Área Temática: Medio Ambiente, Contingencias y Desarrollo Sustentable

18:30 hs. **Cálculo del índice de calidad de agua en muestras de agua subterránea de la ciudad de Rafaela** - Alejandra López, Mariana Milagros Carrel y Brenda Elisa Costamagna... Pág.248

Sesión 3 B - Área Temática: Materiales

**Biohormigones: viabilidad de las bacterias y su afectación en las propiedades físico-mecánicas del hormigón** - Sharon Rupp y Catalina Cerutti ..... Pág.253

Sesión 1 B - Área Temática: Medio Ambiente, Contingencias y Desarrollo Sustentable

18:50 hs. **Simulación numérica del flujo de agua subterránea del acuífero freático en la cuenca del Arroyo Cululú, Santa Fe (Argentina)** - Natalia Ramos, Joan Franzen y Andrés Capelino ..... Pág.258

Sesión 1 B - Área Temática: Medio Ambiente, Contingencias y Desarrollo Sustentable

19:10 hs. **Huella de carbono y balance de carbono en establecimientos lecheros de la provincia de Santa Fe bajo diferentes sistemas de alimentación** - Daiana Albrecht y Juan Manuel Beltramo ..... Pág.263

## Jueves 7 de octubre de 2021

### Sesión 1 C - Área Temática: Análisis de Señales, Modelos y Simulación

**Estimación de parámetros para un modelo de circuito equivalente de una batería ion-litio** - *Rodrigo Alarcón y Martin Alarcón*..... Pág.268

09:00 hs. Sesión 2 C - Áreas Temáticas: Ingeniería De Procesos, Biotecnología y Tecnología de Alimentos. Tecnología de las Organizaciones

**Modelos matemáticos para el ajuste de las curvas de secado de quinoa (*Chenopodium Quinoa Willd.*)** - *Alberto Ravagnan y Julia Luisetti* ..... Pág.273

### Sesión 3 C - Áreas Temáticas: Transporte y Vías de Comunicación. Aplicaciones Mecánicas y Mecatrónicas

**Movilidad Sostenible en Argentina** - *Paula Stroili y Virginia Isabela Paduan* ..... Pág.278

---

### Sesión 1 C - Área Temática: Análisis de Señales, Modelos y Simulación

**Estudio computacional de transitorios en cojinetes bajo lubricación hidrodinámica** - *Lucas Javier Donnet, Maximiliano Omar Frutos, Jorge Alberto Palavecino* ..... Pág.283

09:20 hs. Sesión 2 C - Áreas Temáticas: Ingeniería De Procesos, Biotecnología y Tecnología de Alimentos. Tecnología de las Organizaciones

**Preferencias de los consumidores rosarinos por mieles mono y multiflorales** - *Lucía Arias y Pilar Diaz* ..... Pág.288

### Sesión 3 C - Áreas Temáticas: Transporte y Vías de Comunicación. Aplicaciones Mecánicas y Mecatrónicas

**Análisis de la Movilidad Sostenible en Europa y Latinoamérica** - *Rodrigo Arriondo, Sebastián Pisati y Fernando Seco Ermácora* ..... Pág.294



---

### Sesión 1 C - Área Temática: Análisis de Señales, Modelos y Simulación

**Optimización de la recolección de leche de diferentes calidades** - *Martin Leguizamon y Nabila Abzug* ..... Pág.299

09:40 hs. Sesión 2 C - Áreas Temáticas: Ingeniería De Procesos, Biotecnología y Tecnología de Alimentos. Tecnología de las Organizaciones

**Application of the Quality Index Method to evaluate the freshness and predict the shelf life of Boga (*Leporinus obtusidens*) in the industry** - *Juan C. Passeto y D. Belén Bogado*..... Pág.304



---

### Sesión 1 C - Área Temática: Análisis de Señales, Modelos y Simulación

**Descargas en contacto con líquidos: caracterización eléctrica de una descarga corona pulsada** - *Matías Ferreyra, Chamorro Juan Camilo y Ayelén Grillo* ..... Pág.311



10:00 hs. Sesión 3 C - Áreas Temáticas: Transporte y Vías de Comunicación. Aplicaciones Mecánicas y Mecatrónicas

**Desarrollo de un Sistema de Control y Medición de Potencia Mecánica de un Freno de Corrientes Parásitas para Ensayos de Motores Eléctricos de hasta 5 kW.** - *Franco Feck, Tomas Basilio y Franco Verón* ..... Pág.316



Sesión 1 C - Área Temática: Análisis de Señales, Modelos y Simulación  
**Distribución radial de temperatura e índice de refracción del gas empleando la técnica Schlieren en la columna positiva de una descarga glow en aire ambiente - Ezequiel Cejas y Juan Camilo Chamorro.....** Pág.321



10:20 hs.

Sesión 2 C - Áreas Temáticas: Ingeniería De Procesos, Biotecnología y Tecnología de Alimentos. Tecnología de las Organizaciones  
**Comparación de métodos de costeo para la toma de decisiones de la rectificación de tapas de motor - Agustin Grieco, Santiago Yori y María del Milagro Reinares..** Pág.326



---

Sesión 1 C - Área Temática: Análisis de Señales, Modelos y Simulación

10:40 hs. **Diseño de cadenas de suministro de lazo cerrado para la industria de alfombras - Maria Agustina Franco y Gonzalo De Salazar .....** Pág.331

---

**11:00 hs. Cierre de las jornadas con reconocimientos a los trabajos escritos, videos y exposiciones orales destacadas**



Trabajos

**jit**2021

## SUBESTACIÓN EN IEC 61850 PARA UNA MICRORRED CON RECURSOS ENERGÉTICOS DISTRIBUIDOS. PARTE II: PROGRAMACIÓN DE LOS IEDs

## SUBSTATION IN IEC 61850 FOR A MICROGRID WITH DISTRIBUTED ENERGY RESOURCES. PART II: PROGRAMING OF IEDs

**Kevin Basilio**

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Santa Fe  
[tomass\\_07-@hotmail.com](mailto:tomass_07-@hotmail.com)

**Franco Verón Lager**

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Santa Fe  
[franco1020@hotmail.com.ar](mailto:franco1020@hotmail.com.ar)

**Resumen:** En el presente trabajo se desarrolla la programación de los Dispositivos Electrónicos Inteligentes (IEDs) existentes en la Microrred, por intermedio del programa PCM600 de la firma ABB, y según la norma IEC 61850. La Microrred contempla características de funcionamiento similares a las existentes en los sistemas de distribución y transmisión, pero a escala de laboratorio, con la posibilidad de interconectar Recursos Energéticos Distribuidos (DERs) disponibles dentro de la facultad y/o realizar prácticas académicas.

**Palabras claves:** IEC 61850, IED, Microrred, Subestación y Recursos Eléctricos Distribuidos (DERs).

**Abstract:** This paper develops the programming of the Intelligent Electronic Devices (IEDs) existing in the Microgrid, through the PCM600 program of ABB, and according to the IEC 61850 standard. The Microgrid contemplates operating characteristics like those existing in distribution systems and transmission, but on a laboratory scale, with the possibility of interconnecting Distributed Energy Resources (DERs) available within the faculty and/or carrying out academic practices.

**Keywords:** IEC 61850, IED, Microgrid, Substation and Distributed Electric Resources (DERs).

### INTRODUCCIÓN

Las microrredes tienen un comportamiento muy dinámico. En cualquier momento, una conexión y desconexión de carga o generador distribuido, puede tener lugar. Para un funcionamiento adecuado, los parámetros de la microrred deben seguir las condiciones cambiantes de la red. Esto requiere un sistema de gestión centralizado que implemente un algoritmo para determinar la estructura del sistema y producir la jerarquía de relés en todas las ramas de la red (C. Ozansoy et al., 2012:1).

En este trabajo, se propone la utilización de una computadora personal (PC) como unidad de protección central de la microrred y para intercomunicar los equipos de relés y Recursos

Eléctricos Distribuidos (DERs), y el uso del programa “PCM 600 – Protection and Control IED Manager” para definir protecciones y jerarquías de control en el sistema.

La comunicación necesaria viene dada por la implementación de la norma IEC 61850. Con este criterio de diseño se obtiene además una alta transferencia de datos, y proporciona una gestión sólida en el sistema de automatización de estaciones (M. Abbas Ghorbani et al., 2008:1). Cabe mencionar, que se centra en el uso de la comunicación horizontal, la cual es altamente confiable y se basa en el envío de informes asíncronos de multidifusión del estado de las salidas digitales de un Dispositivo Electrónico Inteligente (IED), a otros dispositivos registrados (M. Ataei et al., 2011: 3).

El artículo actual presenta el modelado del sistema de protección de la microrred a escala descripta en la parte I de este trabajo. Tal modelado se logra mediante la utilización de los nodos lógicos (NL) proporcionados en los estándares de comunicación IEC61850 e IEC61850-7-420. También, se demuestra cómo es desarrollada la comunicación propuesta a través de los NL. En las secciones siguientes, se describe el procedimiento de configuración, citando los apartados y herramientas implementadas en el programa PCM600.

## COMUNICACIÓN Y PROCESADO DE DATOS

Para la realización de este trabajo, se efectúa la comunicación entre los IEDs con una red en estrella no redundante (no PRP), mediante un router y un ordenador. El router se encargará de vincular los distintos IEDs entre ellos y la PC, a través de una red Ethernet basada en TCP/IP. La computadora estará a cargo del procesamiento avanzado de datos, siendo capaz de verificar las distintas señales y permitir el configurado de los equipos, tal como puede verse en la Figura 1. Inicialmente se ha creado la subestación mediante la herramienta “Project Explorer” del software PCM600, provisto por el fabricante de los IEDs (ABB). En la Figura 2 puede observarse la utilización de esta herramienta para la inserción del nivel de voltaje y las respectivas bahías (o campos) que se vinculan con cada IED.

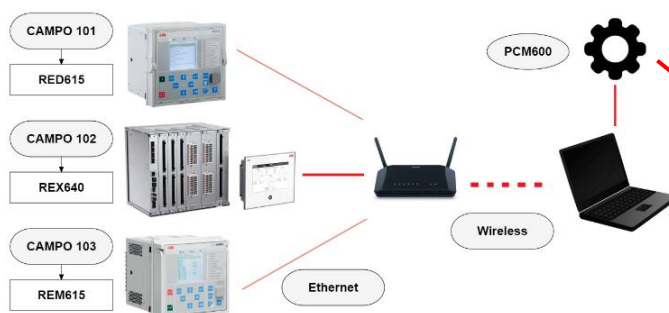


Figura 1. Estructura de la red de comunicaciones.

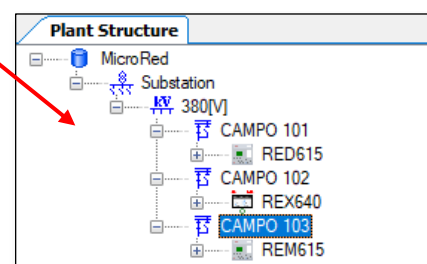


Figura 2. Estructura de la programación.

Posteriormente se procedió a la realización de la configuración offline de los equipos, por intermedio de la “Application Configuration Tool” disponible dentro del programa, la cual concentra todos los Nodos Lógicos (NL) o Bloques de Control (“Control Blocks”) mencionados en la IEC61850-7-4. Mediante ellos es posible realizar lógicas de programación, para posteriormente enviar mensajes para control, protección, enclavamientos, alarmas y disparos. Se destaca que dichos mensajes emitidos son de tipo Generic Object Oriented Substation Event (GOOSE), Sampled Values (SV), entre otros.

## PROGRAMACIÓN Y CONFIGURACIÓN DEL IED DEL CAMPO 101

Primeramente, se vincularon las variables lógicas de entrada, a señales que informan el estado de interruptores y seccionadores abiertos y/o cerrados. Existen otras entradas vinculadas a señales lógicas, las cuales son plausibles de utilizar en trabajos futuros, ellas son: pulso de restablecimiento del bloqueo del interruptor, alarmas por presión de gas (SF6), pulsos constantes que informan que el resorte del interruptor se encuentra cargado, señal para transferencia binaria de fallas y una señal para bloqueo de la protección de sobrecorriente. En cuanto a las salidas, se realizaron las lógicas necesarias para obtener pulsos para cierre o apertura del interruptor, disparo de respaldo en caso de falla del interruptor, señal de protección diferencial en falla o activa y señal de disparo maestro. Lo anteriormente descrito puede verse en la Figura 3.

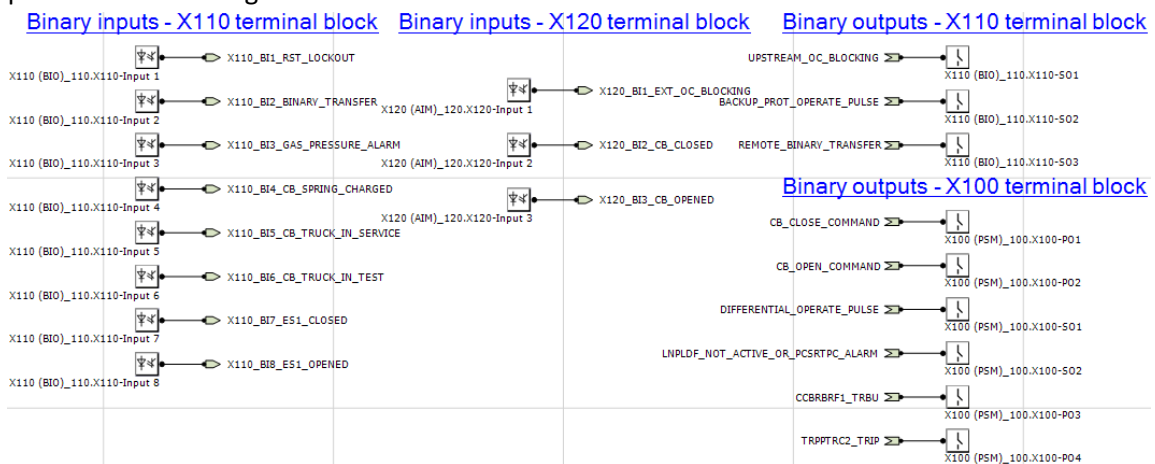


Figura 3. Salidas y entradas lógicas en la configuración del RED615.

Concluida la vinculación de señales externas con señales internas, se procedió a crear la lógica de control y protección. Puesto que el objetivo principal de esta programación es el control inteligente del interruptor, se comenzó configurando su NL denominado CBXCBR1, asociado al del campo 101, tal como puede verse en la Figura 4.

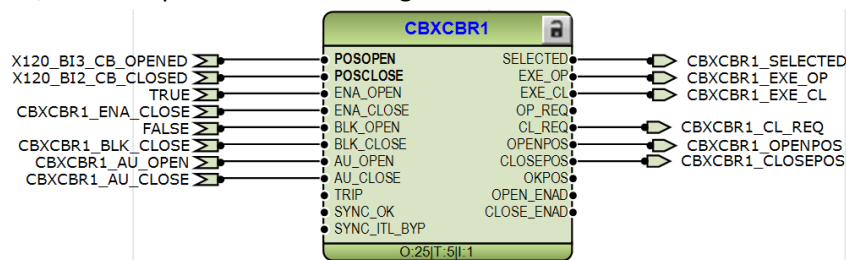


Figura 4. Vinculaciones lógicas del NL de control del interruptor del campo 101.

En "POSOPEN" y "POSCLOSE" se ingresan las variables lógicas anteriormente creadas, que brindan la señal de interruptor abierto o interruptor cerrado respectivamente. "ENA\_OPEN" y "ENA\_CLOSE", habilitan la apertura o cierre del interruptor. En esta instancia se ha dejado habilitado el cierre solo cuando se tiene señal de seccionadores de tierra abierto y de línea cerrados, alarma por presión de gas desactivada, resorte cargado y no hay señales de fallas de disparos maestros. "BLK\_OPEN" y "BLK\_CLOSE" tienen la misma lógica que las entradas anteriores, pero bloqueando la capacidad de apertura o cierre del interruptor en lugar de habilitarla, y a tal efecto, se bloquea la posibilidad de cierre cuando el seccionador de línea se encuentra abierto o el de tierra cerrado. Las entradas "AU\_OPEN" y "AU\_CLOSE" aguardan la

señal para habilitar la apertura o cierre, respectivamente (siempre que se cumplan los demás requisitos dados, según la lógica del flujograma visto en la parte I). El RED 615 no se posee NL de autosincronización, por lo tanto, "SYNC\_OK" no es útil en la presente programación.

En cuanto a la salida "SELECTED", es utilizada para el permiso de reconexión (recierre) del interruptor (bloque "DARREC1") o también se emplea para dar señal de interruptor seleccionado para operaciones de control. "EXE\_OP" y "EXE\_CLOSE" ejecutan los comandos de apertura y cierre del interruptor respectivamente, motivo por el cual se conectan a salidas binarias (salidas de relés), que activan o desactivan la bobina de cierre/apertura. En cuanto a las salidas "OP\_REQ" y "CL\_REQ", brindan una señal sobre la necesidad de apertura o cierre del interruptor. Esto último es útil para dar la orden de cierre al seccionador, en caso de permanecer abierto. Las salidas OPENPOS, CLOSEPOS, OKPOS informan el estado del interruptor.

Complementariamente al NL del interruptor, el cual es el de mayor importancia para el funcionamiento del sistema, se encuentran vinculados los siguientes:

DCXSWI (Seccionador), ESXSWI (Seccionador de tierra), CCBRBRF (falla interruptor), CCSPVC (falla de medición en el transformador de intensidad), DEFxPDEF (direccional de tierra), EFHPTOC (no direccional de tierra), INRPHA1 (Detector de irrupción trifásico), INTRPTEF1 (falla a tierra transitoria / intermitente), LNPLDF (Diferencial de línea), NSPTOC (sobrecorriente de secuencia negativa), PCSITPC1 (Supervisión de comunicación de protección), PDNSPTOC1 (Discontinuidad de fase), PHxPTOC (Sobretensión trifásica), ROVPTOV (Sobretensión residual), TxPTTR (sobrecarga térmica), TRPPTRC (Disparo maestro), Bloques de medidas: CMMXU, CSMSQI, RESVMMXU, RESCMMXU, SSCBR (Supervisión de la condición del interruptor automático), TCSSCBR (Supervisión de circuito de disparo), bloques FLTRFRC, LDPRLRC, RDRE de registro, entre otros.

Ha de tenerse en cuenta que las señales binarias de elementos aun inexistentes (por ej.: seccionadores), serán simuladas por pulsos a las entradas y mediante la activación de luces leds a las salidas. Asimismo, cabe mencionar que la configuración del campo 103, resulta similar a la del campo 101, motivo por el cual no se expone su desarrollo.

## PROGRAMACIÓN Y CONFIGURACIÓN DEL IED DEL CAMPO 102

La programación del campo 102 que posee como IED al REX 640, también es muy similar a la del campo 101 y 103. Pero si es oportuno mencionar una función preponderante, que lo diferencia de los dos anteriores. Se trata del NL "ASGCSYN", el cual permite la realización del proceso de sincronización del DER a la barra. Este bloque de autosincronización se puede visualizar en la Figura 5.

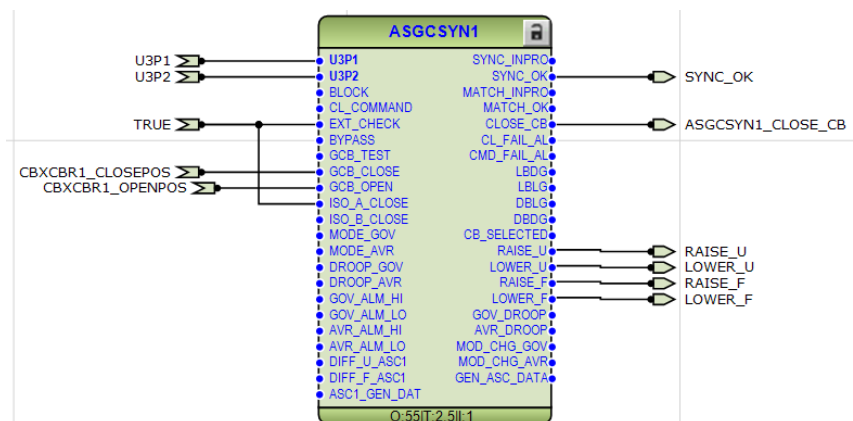


Figura 5. Vinculaciones lógicas del NL de sincronización del DER del campo 102.

Se deben ingresar las tensiones provenientes de los TVs conectados a ambos lados del interruptor, con lo cual el IED adquiere las señales analógicas de tensión (“U3P1” y “U3P2”). Se adiciona como entrada, la posición abierta o cerrada del interruptor y una señal de verdadero (true) para habilitar ciertas funciones de protección del bloque.

Al momento que las condiciones para sincronización son cumplimentadas, el presente NL envía un verdadero “True”, a través de su salida “SYNC\_OK”, el cual ingresa al NL “CBXCBR2” para habilitar el cierre del interruptor.

## COMUNICACIÓN HORIZONTAL

Como se muestra en la Parte I del presente proyecto, todos los IEDs deben conocer el estado de los interruptores entre sí, entre otras informaciones. Esto es posible lograrlo mediante una herramienta de gran beneficio que ofrece la Norma: los mensajes “GOOSE”. Con ello cada IED envía como señal lógica el estado de su interruptor al resto de los IEDs, con la ayuda del NL “GOOSESERCV\_INTL”, prescindiendo de un conductor físico, como puede ser un cable de cobre. La configuración de cual mensaje es enviado y recibido por cada IED, es realizado con la herramienta “Signal Matrix”, tal como puede observarse en la Figura 6.

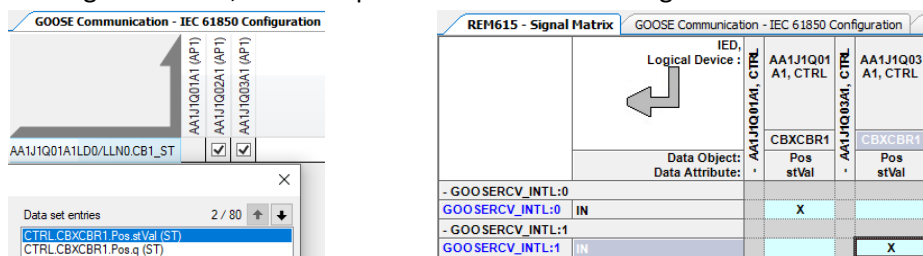


Figura 6. Matriz para vinculación e intercambio de mensajes GOOSE entre IEDs

## CONCLUSIONES

Mediante la realización del presente trabajo, se ha podido obtener el control, sincronización y monitoreo de los interruptores de potencia que forman parte de una microrred a escala de laboratorio, con las ventajas que ofrecen los IEDs en IEC 61850 (equipos intercambiables, interoperables y digitalización de la estación). En futuros trabajos, se pretende desarrollar en mayor profundidad el control y monitoreo de los seccionadores, como así también el estudio de los sistemas de protecciones vinculados al NL del interruptor.

## REFERENCIAS

- Ataei M., Hooshmand R. y Roostae S. (2011). "Substation automation system using IEC 61850.", 5th International Power Engineering and Optimization Conference, Shah Alam, Selangor, Malaysia, 6-7 de Junio de 2011 ,393-397.
- Ozansoy C., Ustun T. S. y A. Zayegh (2012). "Modeling of a Centralized Microgrid Protection System and Distributed Energy Resources According to IEC 61850-7-420,", IEEE Transactions on Power Systems, vol. 27, (no. 3), 1560-1567.
- Abbas Ghorbani M., Arshia M., Ebrahimi A. R. y Vadiati M. (2008). "Future Trends of Substation Automation System by Applying IEC 61850.", 43rd International Universities Power Engineering Conference, Padua, Italy, 1-4 September, S/N.

Este trabajo ha sido realizado bajo la dirección del Ing. Andrés Zottico ([azottico@frsf.utn.edu.ar](mailto:azottico@frsf.utn.edu.ar)) y la Ing. Irene Steinmann ([isteinmann@frsf.utn.edu.ar](mailto:isteinmann@frsf.utn.edu.ar)).

# Una Gramática Libre de Contexto para la Definición de Modelos de Red Restringidos como Soporte al Formalismo RDEVS

## A Context Free Grammar for the Definition of Constrained Network Models as Support of RDEVS Formalism

Clarisa Espertino

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Santa Fe  
cespertino@frsf.utn.edu.ar

### Resumen

Se presenta una gramática libre de contexto para la definición de procesos de enrutamiento como un caso particular de un modelo de red restringido. La gramática se basa en un metamodelo que define la semántica sobre los elementos sintácticos. Como soporte, se implementó un editor de texto como un plugin para Eclipse, con sugerencias de escritura, una herramienta para la creación de archivos y opciones de validación. Los objetivos son *i)* ofrecer un entorno de software que facilite la definición de procesos de enrutamiento utilizando lenguaje natural y *ii)* obtener una definición de modelo que admita la generación de código Java para situaciones de enrutamiento, a fin de que puedan ser ejecutadas en simuladores DEVS como modelos de simulación RDEVS. La herramienta final permitirá obtener un modelo de simulación sin tener conocimientos de programación, utilizando especificaciones escritas en lenguaje natural, que serán procesadas y validadas para lograr dicho modelo.

### Palabras clave

Editor, gramática, lenguaje, natural, plugin.

### Abstract

A context-free grammar is presented for the definition of routing processes as a particular case of a constrained network model. The grammar is based on a metamodel that defines the semantics over the syntactic elements. As support, a text editor was implemented as a plugin for Eclipse, with writing suggestions, a tool for creating files and validation options. The aims are *i)* to offer a software environment for the natural language definition of routing situations using a constrained network model, and *ii)* to be able to get a model definition that supports a further generation of Java code for such routing situations in a way that they can be executed in DEVS simulators as RDEVS simulation models. The final tool will allow to get a simulation model without having programming knowledge, using specifications written in natural language, which will be processed and validates to achieve the model.

### Keywords

Editor, grammar, natural, language, plugin.

### Introducción

La teoría de redes es una técnica útil para modelar relaciones entre entidades (Newman M. et al., 2006). Dicha representación ha sido ampliamente adoptada para estudios de modelado en diversos campos, como, por ejemplo, el dominio de las redes sociales (Borgatti S.P. et al., 2006). En ingeniería de software, muchos estudios han utilizado esta técnica para evaluar problemas de sistemas/software (Pan W. et al., 2011; Zakari A. et al., 2018).

Cuando en un sistema de componentes que interactúan, la operación de un componente y el enrutamiento de sus salidas depende de qué está sucediendo a lo largo del proceso, la dinámica puede verse como un proceso de enrutamiento. Los procesos de enrutamiento exhiben una

fuerte interdependencia dentro de los componentes que permiten modelar su estructura utilizando teoría de redes. Además, cuando los procesos de enrutamiento son estudiados como sistemas de eventos discretos, el formalismo Routed Discrete Event System Specification (RDEVS) (Blas M. et al., 2017) provee una base sólida para su modelado y simulación (M&S).

De acuerdo con lo definido en (Blas, M. et al., 2021), si un proceso de enrutamiento es correctamente definido como un modelo de red restringido, luego los modelos RDEVS pueden ser automáticamente obtenidos siguiendo un conjunto de reglas de traducción. Es decir, al realizar una interpretación de la definición de un modelo de red restringido, es posible obtener los modelos de simulación de eventos discretos que representan la estructura de dicha situación. En este trabajo proponemos la implementación de una gramática libre de contexto desarrollada con ANTLR4 (ANTLR4 IDE Eclipse, 2021), que permite la definición de procesos de enrutamiento a través de la edición en lenguaje natural de sus representaciones. Se presenta un editor de texto desarrollado como un plugin para Eclipse (The Eclipse Foundation, 2021a) que incluye una herramienta para la creación de archivos de especificación textual, sugerencias de escritura y la opción de validación necesaria para obtener una instancia de un modelo de red. El análisis sintáctico se logra a través la gramática definida, y el análisis semántico utiliza un metamodelo (en el que se basa la gramática) para determinar la correctitud de la especificación definida, teniendo en cuenta un conjunto de restricciones invariantes definidas en OCL.

### La gramática del modelo de red restringido

Una gramática libre de contexto es una forma de describir lenguajes mediante reglas recursivas llamadas producciones (Hopcroft J.E. et al., 2007). La gramática RDEVSNL, que encabeza la Figura 1, permite abstraer (por medio de su sintaxis), la definición del proceso de enrutamiento en una representación textual basada en nodos y enlaces para describir su estructura. La semántica asociada a la gramática es representada con un metamodelo que conceptualiza procesos de enrutamiento, el cual incluye restricciones OCL para asegurar su correctitud y limitar el modelo de red original, dando lugar a un modelo de red restringido. Se implementó una versión Ecore de dicho metamodelo (junto con sus restricciones OCL, utilizando la herramienta EMF (The Eclipse Foundation, 2021b)) para permitir la futura validación de la semántica de una definición RDEVSNL. El plugin implementado para Eclipse consiste en un editor de texto conformado por una herramienta que facilita la creación de archivos de especificación, brinda sugerencias de escritura y una opción de validación.

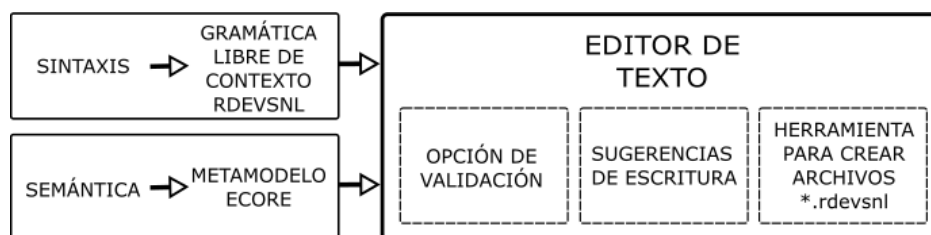
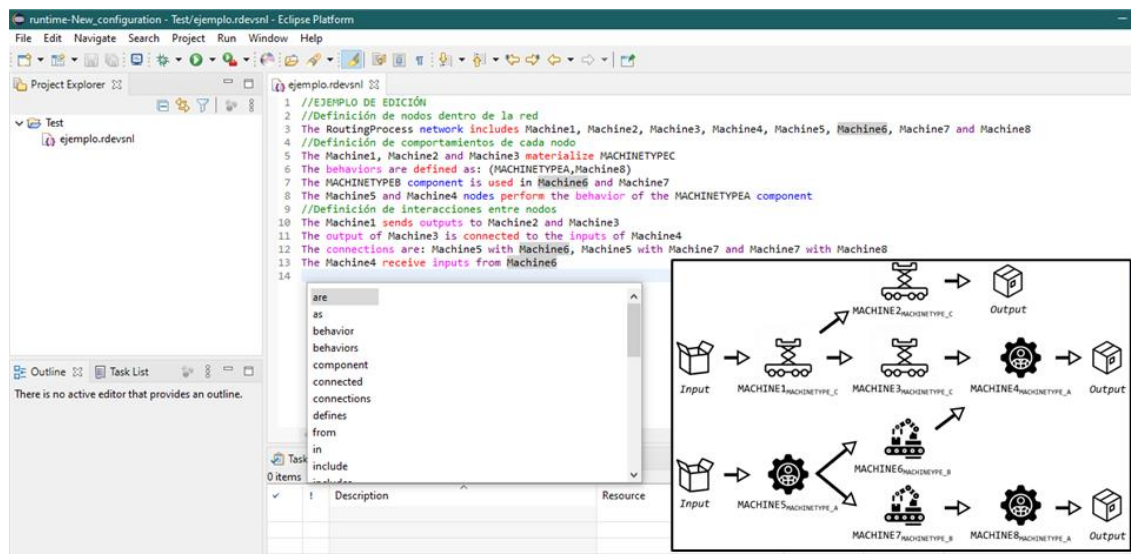


Figura 1. Esquema de los componentes de la herramienta.

Para brindar mayor versatilidad, se definieron dos versiones de la sintaxis: inglés y español. Ambas fueron implementadas utilizando ANTLR4. Así, el modelador podrá optar por el idioma de su preferencia para la definición del modelo. En la versión en inglés, se pueden identificar tres bloques de construcción primarios (o tres principales símbolos no terminales): *network*, *materializes* y *edges*. Las reglas de producción y el diagrama de sintaxis de dichos bloques pueden consultarse [aquí](#).



La Figura 2 presenta un ejemplo de edición de una especificación RDEVSNL utilizando el editor de texto implementado. Como puede observarse, una red (*network*) se especifica utilizando un id (*RoutingProcess*) y siempre incluye una lista de nodos (desde *Machine1* a *Machine8*), que puede ser expresada como una única especificación (línea 3) o en múltiples líneas (donde cada nodo, con un id, es identificado como parte de *network*). En un proceso de enrutamiento, cada componente exhibe una operación interna, que es identificada como un componente (*component*) y define el comportamiento de un nodo o una lista de nodos (tal como se ve entre las líneas 5 y 8, utilizando cuatro de las diferentes estructuras que provee la gramática para dicha especificación). Los enlaces (*edges*) definen interacciones directas entre nodos. En el ejemplo, se observa que la definición de los enlaces se realiza entre las líneas 10 y 13, empleando distintas sentencias aceptadas.



**Figura 2. Captura del editor de texto implementado para admitir la sintaxis. Las sugerencias de escritura y el resaltado de sintaxis pueden observarse en las palabras clave, siguiendo la configuración del idioma (inglés en este caso). Abajo a la derecha: proceso de enrutamiento definido en la especificación textual.**

Sobre la sintaxis asociada a la gramática RDEVSNL se crea una instancia de un metamodelo (que no es presentado en este trabajo por razones de espacio). En este metamodelo, una especificación RDEVSNL incluye un proceso de enrutamiento y el modelo de red restringido utilizado para estructurar dicho proceso. Este modelo es definido sobre un conjunto de nodos que denotan componentes. A su vez, incluye un conjunto de interacciones dirigidas entre componentes, donde un componente actúa como fuente y otro como destino. Se incluyen restricciones OCL a fin de limitar dicho metamodelo, de forma que *i)* al menos un componente debe identificarse como componente inicial, *ii)* al menos un componente debe detallarse como componente final, *iii)* los componentes no pueden estar aislados, *iv)* varias interacciones no pueden conectar los mismos componentes, y *v)* las auto interacciones no están permitidas.

### Editor de texto

El editor de texto le brinda al modelador la posibilidad de escribir su especificación dentro de Eclipse. Se complementa con una herramienta que permite crear archivos con extensión *\*.rdevsnl* y seleccionar el idioma de preferencia, brinda ayudas durante la edición (como resaltado de sintaxis y sugerencias de escritura) y facilita la validación de la especificación final. El idioma elegido durante la creación de cada archivo es almacenado junto con sus metadatos, como un atributo definido por el usuario. Así, cada vez que se abre el archivo, se lee el valor almacenado para conocer su definición y de este modo, muestra las ayudas de escritura

correspondientes al idioma seleccionado. Si el modelador no selecciona ninguno al crear el archivo, por defecto trabajará en inglés.

Para lograr el resaltado de sintaxis, las palabras válidas se clasifican en: artículos, símbolos no terminales, acciones, comentarios e interacciones. De esta forma, al escribir la especificación, el modelador puede identificar claramente los componentes de cada sentencia a través de sus colores. En la Figura 2, símbolos no terminales como las palabras *network*, *node* y *component* se resaltan en azul, acciones como *includes*, *materializes*, *sends* y *receives* se resaltan en rojo. El modelador puede incluir comentarios (resaltados en color verde) de una sola línea o de múltiples líneas, que no serán analizados en el proceso de validación. Las sugerencias de escritura visibles pueden obtenerse presionando CTRL+SPACE y seleccionando de a una palabra por vez. Las palabras sugeridas son almacenadas en archivos de configuración (existiendo uno para cada idioma disponible).

Para validar el archivo de especificación se utiliza el analizador sintáctico (o parser) creado con ANTLR4. Cuando el modelador activa el proceso de validación, el análisis sintáctico de RDEVSNL es ejecutado sobre el contenido actual del archivo *\*.rdevsnl*, que fue previamente guardado en forma automática. El parser tratará de reconocer las estructuras de las sentencias a partir de un flujo de tokens, dado por el contenido actual de la especificación. Si el análisis es exitoso, de acuerdo con la línea 3 del ejemplo de la Figura 2, se creará una instancia del modelo Ecore que contendrá una instancia del concepto *NLSpecification* con los siguientes elementos: *i*) una instancia de *RoutingProcess* denominada *"RoutingProcess"*, *ii*) ocho instancias de *Component* (cada una denominada *"Machine1"* hasta *"Machine8"*), y *iii*) ocho relaciones *isDefinedOver* para vincular a cada *Component* con *RoutingProcess*. Este proceso se repite para todas las líneas válidas a fin de obtener una instancia del metamodelo a ser validada. Por otro lado, si se identifican errores sintácticos en el archivo, como el que se presenta en la línea 13 (ya que la sentencia que identifica el parser como correcta incluye la palabra *"receives"* en lugar de *"receive"*), el modelador visualizará un mensaje con el detalle de los errores y podrá corregir su especificación.

Una vez superado el proceso de validación sintáctica, teniendo ya creada la instancia del modelo, el plugin ejecuta la validación del metamodelo Ecore para asegurar su correctitud. Se verifican así los conceptos, relaciones, multiplicidades y restricciones OCL sobre la instancia obtenida del análisis sintáctico. De esta manera se lleva a cabo el análisis semántico del contenido especificado. Si ambos análisis tienen éxito (es decir, el análisis sintáctico y semántico), el modelador recibirá un mensaje de éxito. De lo contrario, podrá visualizar un mensaje de error y podrá corregir su especificación.

## Conclusiones

Se ha introducido una gramática basada en un modelo de red restringido para abordar la definición de procesos de enrutamiento a través del formalismo RDEVS.

El plugin final RDEVSNL se compone de la sintaxis (definida utilizando ANTLR4), el editor de texto RDEVSNL y el modelo semántico (definido como un modelo Ecore). Esta herramienta facilita la definición de procesos de enrutamiento empleando lenguaje natural. De esta forma, el modelador podrá obtener, desde su especificación textual de un proceso de enrutamiento como una red, un modelo de simulación RDEVS sin contar con conocimientos de programación.

El trabajo futuro está dedicado a la traducción del proceso de enrutamiento descrito en la instancia del modelo de red (obtenido de la gramática) a los modelos de simulación RDEVS.

Dicha traducción será desarrollada como la ya implementada en (Blas M et al., 2021). Además, se utilizará la representación gráfica existente para mostrar la descripción en lenguaje natural como un grafo. Así, la herramienta de software M&S admitirá definiciones tanto gráficas como textuales.

## Referencias

ANTLR4 IDE Eclipse Plugin para ANTLR 4. ANTLR. Disponible en <https://www.antlr.org/tools>. Recuperado el 11/9/2021.

Blas, M. y Gonnet, S. (2021). "Computer-aided Design for Building Multipurpose Routing Processes in Discrete Event Simulation Models", *Engineering Science and Technology, an International Journal*, vol. 24, 22–34.

Blas, M., Espertino, C. y Gonnet, S. (2021). "Modeling Routing Processes through Network Theory: A Grammar to Define RDEVs Simulation Models", Aceptado en 3rd Workshop on Modeling and Simulation of Software-Intensive Systems - MSSiS 2021.

Blas, M., Gonnet, S. y Leone, H. (2017). "Routing Structure over Discrete Event System Specification: A DEVS Adaptation to Develop Smart Routing in Simulation Models", *Actas de Winter Simulation Conference, Las Vegas, USA, 3 al 6 de Diciembre 2017*, 774-785.

Borgatti, S. P. y Halgin, D. S. (2011). "On network theory", *Organization Science*, vol. 22(5), 1168-1181.

Hopcroft J. E., Motwani R. y Ulman J.D. (2007). *Introduction to Automata Theory, Languages and Computation*. Madrid: Pearson, 184.

Newman, M., Barabasi, A.-L., y Watts, D. J. (2006). *The Structure and Dynamics of Networks*. Princeton University Press.

Pan, W. (2011). "Applying Complex Network Theory to Software Structure Analysis", *International Journal of Computer and Systems Engineering*, vol. 5(12), 1634- 1640.

The Eclipse Foundation (2021a). Eclipse. Disponible en <https://www.eclipse.org/>. Recuperado el 11/9/2021.

The Eclipse Foundation (2021b). Eclipse Modeling Project. Eclipse Modeling Framework. Disponible en <https://www.eclipse.org/modeling/emf/>. Recuperado el 11/9/2021.

Zakari, A., Lee, S. P., y Chong, C. Y. (2018). "Simultaneous Localization of Software Faults based on Complex Network Theory", *IEEE Access*, vol. 6, 23990-24002.

## **Experiencias didácticas para el aprendizaje de cinemática mediante el uso del sensor acelerómetro del teléfono celular**

### **Didactics experiences to learn kinematics by using the mobile phone accelerometer sensor**

#### **Antonela FISSORE**

Laboratorio de Física II. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Rafaela  
antofissore8@gmail.com

#### **Julieta LEDERHOS**

Laboratorio de Física II. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Rafaela  
juliilederhos@gmail.com

#### **Inés SCHNEIDER**

Laboratorio de Física II. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Rafaela  
inuschneider1@gmail.com

#### **Sofía ZUNOFFEN**

Laboratorio de Física II. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Rafaela  
zunoffensofia@gmail.com

#### **Resumen**

Los sensores de los teléfonos celulares pueden ser utilizados como sistemas de adquisición de datos en la realización de experiencias para la enseñanza de las ciencias. En este trabajo, se presentan dos propuestas que relacionan el tema cinemático con experiencias reales, y surgen como necesidad de mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje en el contexto de pandemia, a través de dispositivos de uso cotidiano: los teléfonos celulares.

Se realizaron dos experiencias utilizando el sensor acelerómetro con gravedad disponible en los smartphones, y la aplicación gratuita Phyphox, para integrar contenidos teóricos vistos en la cátedra de Física 1 de las carreras de las ingenierías de la Facultad Regional Rafaela, con prácticas cotidianas como un paseo en bicicleta y una caminata.

Con el tratamiento de los datos obtenidos, mediante un proceso inverso al de los modelos de aprendizajes tradicionales, se confeccionaron gráficas de velocidad y posición en función del tiempo.

**Palabras claves:** Experiencia didáctica, sensor, teléfono celular, cinemática, prácticas reales

## Abstract

Mobile phone sensors can be used as data acquisition systems to incorporate experiences into the teaching of science. In this essay, two proposals are presented connecting kinematics with real experiences. These proposals arise from the necessity to improve the teaching-learning process within a pandemic context by using an everyday use device: a mobile phone.

Two experiences have been done using the accelerometer sensor with gravity available in smart phones and the free application Phyphox. Its purposed was to integrate contents studied in Physics1 in engineering at 'Facultad Regional Rafaela' with daily actions such as bike riding or walking.

After analyzing the data obtained and by implementing a different process from the traditional one, velocity and position graphs as a function of time were designed.

**Keywords:** Didactics experience, sensor, mobile phone, kinematics, real practices.

### 1. Introducción:

El presente trabajo se enmarca dentro del programa "Tecnología Educativa y Enseñanza de la Ingeniería" de la Universidad Tecnológica Nacional, como parte de las actividades del grupo TEEC, "Tecnología Educativa para la Enseñanza de las Ciencias". Se ubica dentro del proyecto Integración de Ciencias Básicas a Través de Experiencias de Laboratorio" que surge como consecuencia de los resultados de los proyectos que se desarrollan en la Facultad Regional Rafaela: "Integración de contenidos de ciencias básicas a través de experiencias de laboratorio" (2017) y "Los teléfonos celulares como sensores para el aprendizaje de las ciencias" (2019).

#### 1.1 El teléfono celular como sensor

Los teléfonos celulares además de ser elementos de uso común entre las personas y permitirles la conectividad en todo momento, son herramientas potentes que permiten realizar experimentos sencillos gracias al conjunto de sensores que disponen y a su capacidad de cálculo. Teniendo en cuenta el alto costo de los equipos de adquisición comerciales, comparado con la disponibilidad de los teléfonos celulares (Alegre y otros, 2018), y considerando la situación de pandemia que el mundo está atravesando, la enseñanza debe acoplarse con herramientas que le permitan a los alumnos seguir aprendiendo desde la casa. Coincidimos con Martínez Perez (2015) en que "Mientras muchos de estos equipos se hacen cada vez menos visibles en los establecimientos educativos, otros, como los teléfonos inteligentes, se hacen más comunes en manos de estudiantes universitarios".

Como dice Gonzales & Gonzales, 2016, "Se utilizaron los smartphones como dispositivos de medida reemplazando algunos aparatos clásicos en diferentes experimentos sencillos como, por ejemplo, el estudio del movimiento de un péndulo simple, análisis del movimiento rectilíneo uniforme y uniformemente acelerado en un carril de aire, estudio de choques en el carril, estudio de la fuerza centrípeta, cálculo de la aceleración de la gravedad por diferentes métodos". (Gil & Laccio, 2017) Proponen la realización de varias experiencias utilizando los sensores incluidos en los teléfonos celulares.

En el presente trabajo se exponen dos propuestas didácticas basadas en el estudio de cinemática, a través de experiencias sencillas que utilizan los sensores de los teléfonos

celulares como sistemas de adquisición de datos, permitiendo que las mismas se realicen fuera del espacio físico del laboratorio. Se busca reforzar y fortalecer el desarrollo del aprendizaje autónomo e innovador, permitiéndole plantear y resolver nuevos interrogantes cercanos a la realidad y a la actividad profesional de los estudiantes mediante la utilización de herramientas de uso habitual.

Los dispositivos inteligentes cuentan con una serie de sensores indispensables para su buen funcionamiento. Algunos de éstos son bastantes conocidos, mientras que otros pueden resultar inciertos como material de laboratorio para el aprendizaje de las ciencias. La posición de los sensores dentro del teléfono varía de acuerdo al modelo, por lo que es recomendable consultar el manual del mismo para detectar su ubicación.

Entender la ubicación de los ejes en estos dispositivos, es indispensable para la toma de datos y se distribuyen de la siguiente posición:

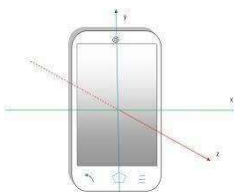


Figura 1. Ubicación de los tres ejes cartesianos en el teléfono celular

## 1.2 Aplicación gratuita utilizada: Phypfox

Existen varias aplicaciones disponibles en PlayStore. Para este trabajo se optó por utilizar Phypfox, una aplicación gratuita para sistemas operativos Android, donde los datos guardados se presentan de manera ordenada y posee una interfaz amigable y de fácil comprensión para los usuarios.

Al ingresar a la aplicación, la misma brinda una lista de las distintas experiencias que pueden realizarse a través de los sensores disponibles en el teléfono celular, indicando en color blanco aquellos posibles de utilizar y en tono gris los que no están disponibles.

Los datos de la experiencia se exportan fácilmente en diversos formatos a otros dispositivos.



Figura 2. Capturas de pantalla y video de la aplicación Phypfox

## 2. Desarrollo:

Se realizaron dos experiencias: dar un paseo en bicicleta y una caminata, buscando específicamente obtener las gráficas de posición, velocidad y aceleración a partir de los datos obtenidos por el acelerómetro con gravedad, disponible en dicha aplicación. Para el registro de los datos en ambas experiencias, el celular se mantuvo desbloqueado.

	Experiencias	
	Bicicleta	Caminata
Forma de colocar el teléfono celular	Se colocó el celular en una mochila de manera tal que el eje Z apunte en el sentido del movimiento.	Se colocó el celular en la cintura de manera vertical para que el sentido del movimiento sea a través del eje Z.
Procedimiento para la toma de datos	Se inició la grabación de los datos al comienzo del paseo (la aplicación iba tomando los distintos valores de la aceleración). Transcurridos los dos minutos, nos detuvimos e interrumpimos la grabación (pausamos la misma) y, desde los tres puntos ubicados en la parte superior, seleccionamos "Exportar datos" (se tomó un período corto de tiempo, ya que si se graba una gran cantidad de datos se puede generar un archivo de gran tamaño que el teléfono no puede almacenar). Se guardó el registro en "Excel".	Se inició la grabación de datos. Al comienzo de la caminata se fue aumentando la velocidad hasta conseguir correr, completando entre ambas acciones unos 50 metros. Luego se interrumpió la grabación y se exportaron los datos en formato "Excel".

Tabla 1. Forma de colocar el teléfono celular y procedimiento para la toma de datos.

### 2.1 Análisis de datos:

Una vez que se obtuvo el archivo, en la computadora se creó el gráfico de aceleración en función del tiempo. Para esto se seleccionó las columnas de interés, es decir, el tiempo y, como en este caso las variaciones de aceleración se produjeron en el eje Z del teléfono, se escogió la aceleración en Z para insertar el gráfico de dispersión con líneas suavizadas y marcadores.

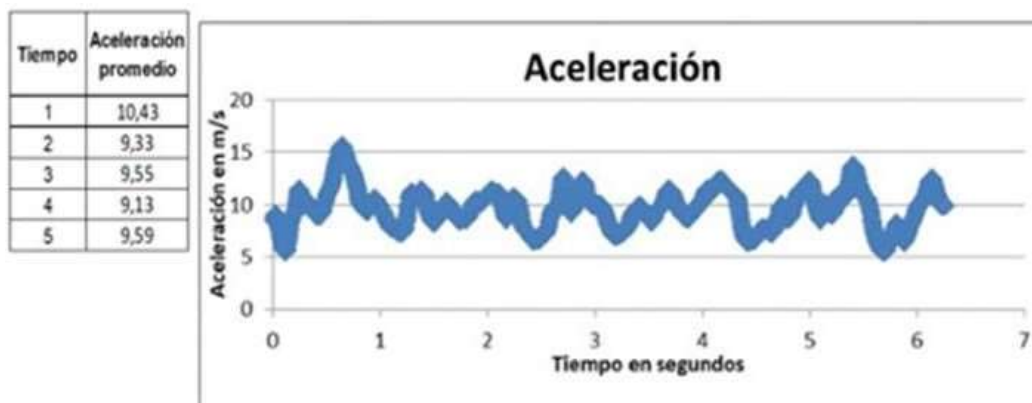


Figura 3. Gráfica de aceleración en función del tiempo: paseo en bicicleta

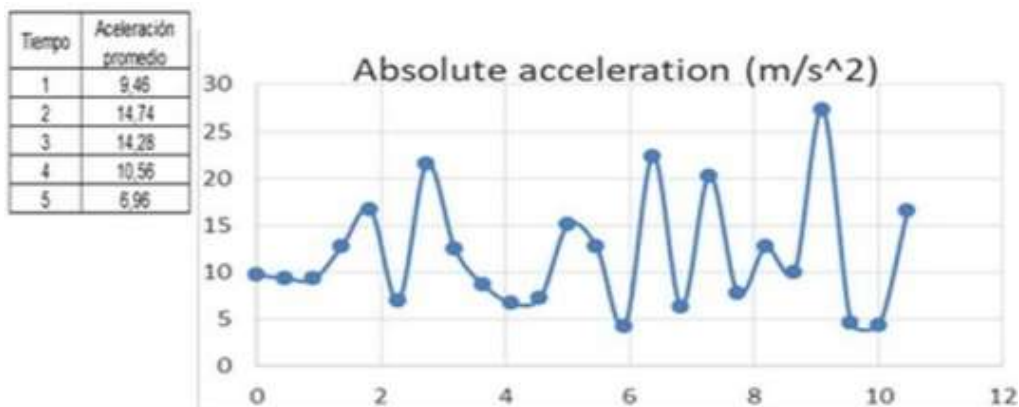


Figura 4. Gráfica de aceleración en función del tiempo: caminata

## 2.2 Procesamiento de datos

Con los datos obtenidos se realizó un trabajo inverso al habitual. Mediante una integración de los valores de aceleración (promedio en el eje Z) se obtuvieron los de velocidad, y con estos, los de posición por cálculo, permitiéndonos realizar los gráficos correspondientes.

La velocidad a cada segundo se obtiene de la ecuación:

$$V_f = V_o + at \tag{1}$$

En el inicio, para determinar la velocidad generada en el primer segundo, la velocidad inicial se considera cero. Para los segundos posteriores se tomó la velocidad calculada anteriormente.

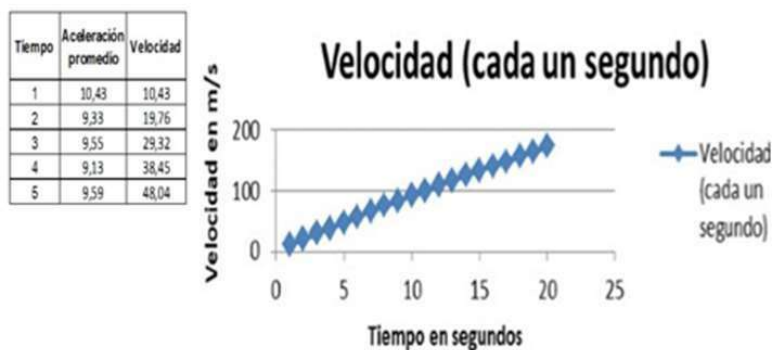


Figura 5. Gráfica de velocidad en función del tiempo: paseo en bicicleta

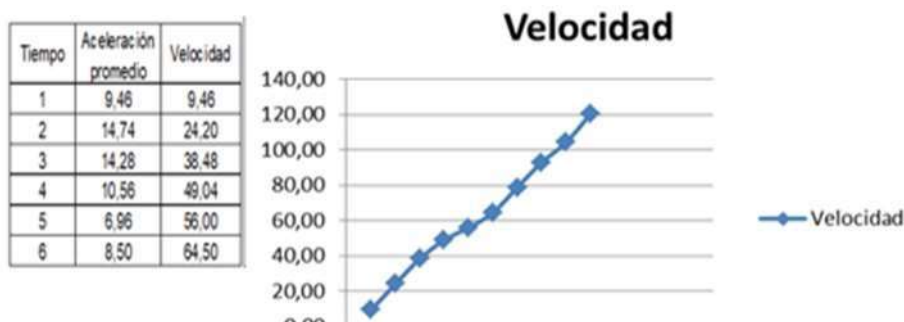


Figura 6. Gráfica de velocidad en función del tiempo: Caminata



Para determinar la posición en cada segundo, se utilizó la ecuación:

$$X_f = X_o + V_o t + a t^2 \quad (2)$$

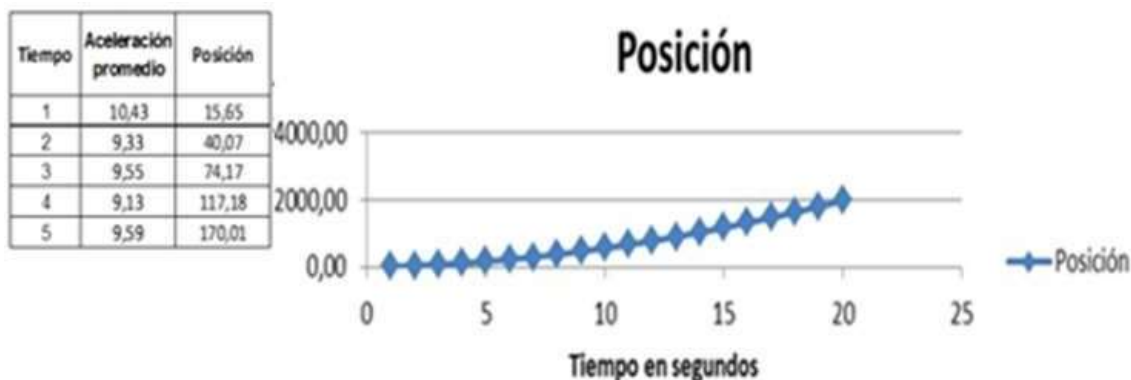


Figura 7. Gráfica de posición en función del tiempo: paseo en bicicleta

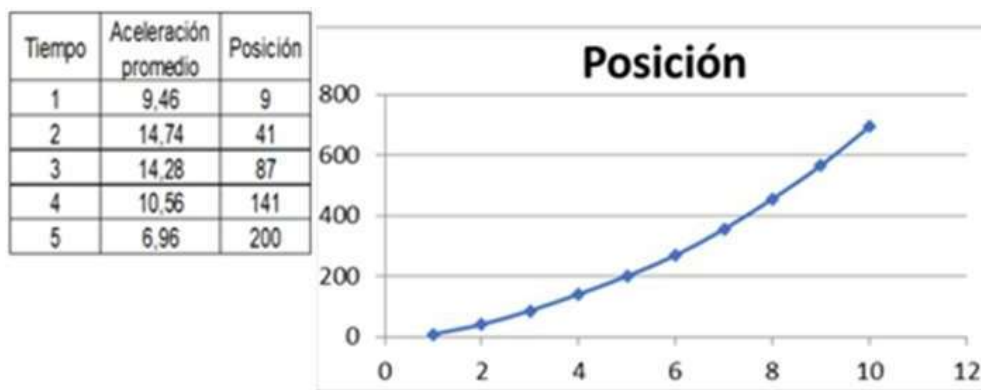


Figura 8. Gráfica de posición en función del tiempo: caminata

### 3. Conclusiones:

Las gráficas obtenidas de la experiencia son semejantes a las estudiadas teóricamente, por lo cual se considera aceptable el uso de la aplicación como alternativa de enseñanza y en reemplazo del material de laboratorio de alto costo adquisitivo.

En cuanto a la confección de gráficos se generó un procesamiento inverso, partiendo de la aceleración para poder llegar a la posición, permitiéndonos comprender cómo se relacionan los conceptos de Posición, Velocidad y Aceleración.

La realización de la experiencia se pudo lograr de manera sencilla debido a que la simplicidad de la aplicación, es una herramienta muy intuitiva por lo que se puede adecuar para un trabajo práctico con alumnos de secundaria.

Para concluir, quienes realizamos la experiencia consideramos que es una manera sencilla y práctica que a partir de vivencias cotidianas se puedan comprender conceptos de Física. Además, al tratarse de un trabajo individual, permitirá a los alumnos comparar los resultados e incrementar la motivación.

#### 4. Referencias:

Phyphox (2021) [Aplicación móvil]. Google Play. [https://play.google.com/store/apps/details?id=de.rwth\\_aachen.phyphox](https://play.google.com/store/apps/details?id=de.rwth_aachen.phyphox)

Alegre, L., Culzoni, C., Bircher, G., Fissore, A., & Quiroga, M. y. (2018). Incorporación de sistemas de adquisición de datos en prácticas de laboratorio. Una revisión. *Revista de enseñanzade la Física . 30*, 17–26.

Gil, S., & Laccio, D. (2017). Smartphone una herramienta de laboratorio: laboratorios de bajo costo para el aprendizaje de las ciencias. *Lam. Am. J. Phys. Educ.* Vol 11 (1), 1035/1-1305/9.

Gonzales, M., & Gonzales, M. (2016). Uso de smartphones en experimentos de Física en el laboratorio y fuera de él. Disponible en <<http://uvadoc.uva.es/handle/10324/17485> >.

Martínez Pérez, J. E. (2015). Obtención del valor de la aceleración de la gravedad en el laboratoriode Física. Experiencia comparativa del sensor de un teléfono celular inteligente y el péndulo simple. *Revista Eureka s o b r e Enseñanza y Divulgación de las Ciencias. Vol. 12 (2), 341-136*

## **SUBESTACIÓN EN IEC 61850 PARA UNA MICRORRED CON RECURSOS ENERGÉTICOS DISTRIBUIDOS. PARTE II: PROGRAMACIÓN DE LOS IEDS**

### **SUBSTATION IN IEC 61850 FOR A MICROGRID WITH DISTRIBUTED ENERGY RESOURCES. PART II: PROGRAMING OF IEDs**

---

**Kevin BASILIO, Franco VERÓN LAGGER.**

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Santa Fe

E-mail de autores: [tomass\\_07@hotmail.com](mailto:tomass_07@hotmail.com), [franco1020@hotmail.com.ar](mailto:franco1020@hotmail.com.ar)

#### **RESUMEN**

En el presente trabajo se desarrolla la programación de los Dispositivos Electrónicos Inteligentes (IEDs) existentes en la Microrred, por intermedio del programa PCM600 de la firma ABB, y según la norma IEC 61850. La Microrred contempla características de funcionamiento similares a las existentes en los sistemas de distribución y transmisión, pero a escala de laboratorio, con la posibilidad de interconectar Recursos Energéticos Distribuidos (DERs) disponibles dentro de la facultad y/o realizar prácticas académicas.

**PALABRAS CLAVES: IEC 61850, IED, Microrred, Subestación y Recursos Eléctricos Distribuidos (DERs).**

#### **ABSTRACT**

This paper develops the programming of the Intelligent Electronic Devices (IEDs) existing in the Microgrid, through the PCM600 program of ABB, and according to the IEC 61850 standard. The Microgrid contemplates operating characteristics like those existing in distribution systems and transmission, but on a laboratory scale, with the possibility of interconnecting Distributed Energy Resources (DERs) available within the faculty and/or carrying out academic practices.

**KEYWORDS: IEC 61850, IED, Microgrid, Substation and Distributed Electric Resources (DERs).**

#### **INTRODUCCIÓN**

Las microrredes tienen un comportamiento muy dinámico. En cualquier momento, una conexión y desconexión de carga o generador distribuido, puede tener lugar. Para un funcionamiento adecuado, los parámetros de la microrred deben seguir las condiciones cambiantes de la red. Esto requiere un sistema de gestión centralizado que implemente un algoritmo para determinar la estructura del sistema y producir la jerarquía de relés en todas las ramas de la red (C. Ozansoy et al., 2012:1).

En este trabajo, se propone la utilización de una computadora personal (PC) como unidad de protección central de la microrred y para intercomunicar los equipos de relés y Recursos Eléctricos Distribuidos (DERs), y el uso del programa "PCM 600 – Protection and Control IED Manager" para definir protecciones y jerarquías de control en el sistema.

La comunicación necesaria viene dada por la implementación de la norma IEC 61850. Con este criterio de diseño se obtiene además una alta transferencia de datos, y proporciona una gestión sólida en el sistema de automatización de estaciones (M. Abbas Ghorbani et al., 2008:1). Cabe mencionar, que se centra en el uso de la comunicación horizontal, la cual es altamente confiable y se basa en el envío de informes asíncronos de multidifusión del estado de las salidas digitales de un Dispositivo Electrónico Inteligente (IED), a otros dispositivos registrados (M. Ataei et al., 2011: 3).

El artículo actual presenta el modelado del sistema de protección de la microrred a escala descrita en la parte I de este trabajo. Tal modelado se logra mediante la utilización de los nodos lógicos (NL) proporcionados en los estándares de comunicación IEC61850 e IEC61850-7-420. También, se demuestra cómo es desarrollada la comunicación propuesta a través de los NL. En las secciones siguientes, se describe el procedimiento de configuración, citando los apartados y herramientas implementadas en el programa PCM600.

## COMUNICACIÓN Y PROCESADO DE DATOS

Para la realización de este trabajo, se efectúa la comunicación entre los IEDs con una red en estrella no redundante (no PRP), mediante un router y un ordenador. El router se encargará de vincular los distintos IEDs entre ellos y la PC, a través de una red Ethernet basada en TCP/IP. La computadora estará a cargo del procesamiento avanzado de datos, siendo capaz de verificar las distintas señales y permitir el configurado de los equipos, tal como puede verse en la Figura 1. Inicialmente se ha creado la subestación mediante la herramienta "Project Explorer" del software PCM600, provisto por el fabricante de los IEDs (ABB). En la Figura 2 puede observarse la utilización de esta herramienta para la inserción del nivel de voltaje y las respectivas bahías (o campos) que se vinculan con cada IED.

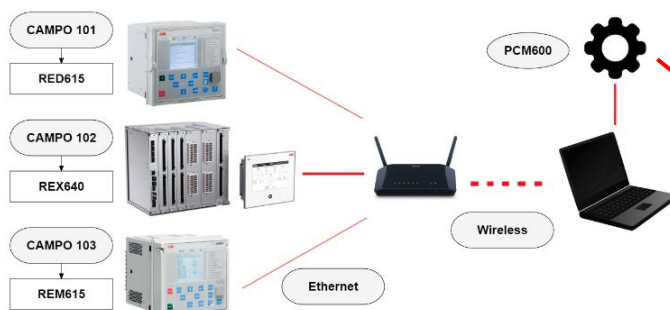


Figura 1. Estructura de la red de comunicaciones.

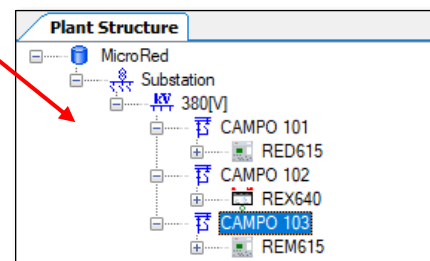


Figura 2. Estructura de la programación.

Posteriormente se procedió a la realización de la configuración offline de los equipos, por intermedio de la "Application Configuration Tool" disponible dentro del programa, la cual concentra todos los Nodos Lógicos (NL) o Bloques de Control ("Control Blocks") mencionados en la IEC61850-7-4. Mediante ellos es posible realizar lógicas de programación, para posteriormente enviar mensajes para control, protección, enclavamientos, alarmas y disparos. Se destaca que dichos mensajes emitidos son de tipo Generic Object Oriented Substation Event (GOOSE), Sampled Values (SV), entre otros.

### PROGRAMACIÓN Y CONFIGURACIÓN DEL IED DEL CAMPO 101

Primeramente, se vincularon las variables lógicas de entrada, a señales que informan el estado de interruptores y seccionadores abiertos y/o cerrados. Existen otras entradas vinculadas a señales lógicas, las cuales son plausibles de utilizar en trabajos futuros, ellas son: pulso de restablecimiento del bloqueo del interruptor, alarmas por presión de gas (SF6), pulsos constantes que informan que el resorte del interruptor se encuentra cargado, señal para transferencia binaria de fallas y una señal para bloqueo de la protección de sobrecorriente. En cuanto a las salidas, se realizaron las lógicas necesarias para obtener pulsos para cierre o apertura del interruptor, disparo de respaldo en caso de falla del interruptor, señal de protección diferencial en falla o activa y señal de disparo maestro. Lo anteriormente descrito puede verse en la Figura 3.

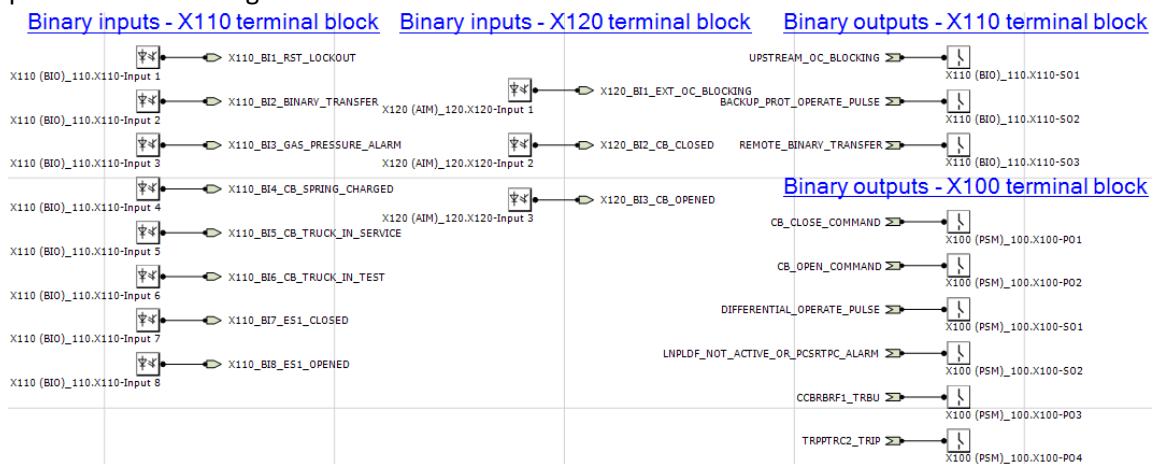


Figura 3. Salidas y entradas lógicas en la configuración del RED615.

Concluida la vinculación de señales externas con señales internas, se procedió a crear la lógica de control y protección. Puesto que el objetivo principal de esta programación es el control inteligente del interruptor, se comenzó configurando su NL denominado CBXCBR1, asociado al del campo 101, tal como puede verse en la Figura 4.

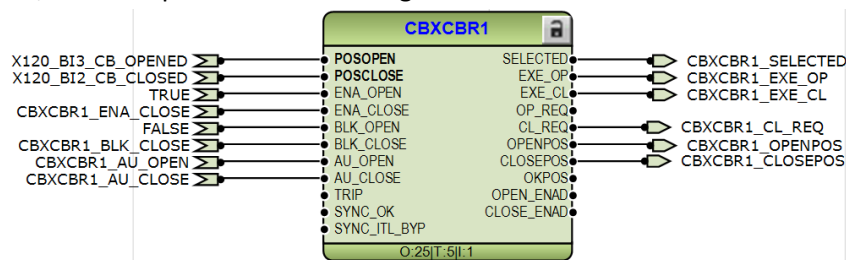


Figura 4. Vinculaciones lógicas del NL de control del interruptor del campo 101.

En “POSOPEN” y “POSCLOSE” se ingresan las variables lógicas anteriormente creadas, que brindan la señal de interruptor abierto o interruptor cerrado respectivamente. “ENA\_OPEN” y “ENA\_CLOSE”, habilitan la apertura o cierre del interruptor. En esta instancia se ha dejado habilitado el cierre solo cuando se tiene señal de seccionadores de tierra abierto y de línea cerrados, alarma por presión de gas desactivada, resorte cargado y no hay señales de fallas de disparos maestros. “BLK\_OPEN” y “BLK\_CLOSE” tienen la misma lógica que las entradas anteriores, pero bloqueando la capacidad de apertura o cierre del interruptor en lugar de habilitarla, y a tal efecto, se bloquea la posibilidad de cierre cuando el seccionador de línea se encuentra abierto o el de tierra cerrado. Las entradas “AU\_OPEN” y “AU\_CLOSE” aguardan la

señal para habilitar la apertura o cierre, respectivamente (siempre que se cumplan los demás requisitos dados, según la lógica del flujograma visto en la parte I). El RED 615 no se posee NL de autosincronización, por lo tanto, "SYNC\_OK" no es útil en la presente programación.

En cuanto a la salida "SELECTED", es utilizada para el permiso de reconexión (recierre) del interruptor (bloque "DARREC1") o también se emplea para dar señal de interruptor seleccionado para operaciones de control. "EXE\_OP" y "EXE\_CLOSE" ejecutan los comandos de apertura y cierre del interruptor respectivamente, motivo por el cual se conectan a salidas binarias (salidas de relés), que activan o desactivan la bobina de cierre/apertura. En cuanto a las salidas "OP\_REQ" y "CL\_REQ", brindan una señal sobre la necesidad de apertura o cierre del interruptor. Esto último es útil para dar la orden de cierre al seccionador, en caso de permanecer abierto. Las salidas OPENPOS, CLOSEPOS, OKPOS informan el estado del interruptor.

Complementariamente al NL del interruptor, el cual es el de mayor importancia para el funcionamiento del sistema, se encuentran vinculados los siguientes:

DCXSWI (Seccionador), ESXSWI (Seccionador de tierra), CCBRBRF (falla interruptor), CCSPVC (falla de medición en el transformador de intensidad), DEFxPDEF (direccional de tierra), EFHPTOC (no direccional de tierra), INRPHA1 (Detector de irrupción trifásico), INTRPTEF1 (falla a tierra transitoria / intermitente), LNPLDF (Diferencial de línea), NSPTOC (sobrecorriente de secuencia negativa), PCSITPC1 (Supervisión de comunicación de protección), PDNSPTOC1 (Discontinuidad de fase), PHxPTOC (Sobretensión trifásica), ROVPTOV (Sobretensión residual), TxPTTR (sobrecarga térmica), TRPPTRC (Disparo maestro), Bloques de medidas: CMMXU, CSMSQI, RESVMMXU, RESCMMXU, SSCBR (Supervisión de la condición del interruptor automático), TCSSCBR (Supervisión de circuito de disparo), bloques FLTRFRC, LDPRLRC, RDRE de registro, entre otros.

Ha de tenerse en cuenta que las señales binarias de elementos aun inexistentes (por ej.: seccionadores), serán simuladas por pulsos a las entradas y mediante la activación de luces leds a las salidas. Asimismo, cabe mencionar que la configuración del campo 103, resulta similar a la del campo 101, motivo por el cual no se expone su desarrollo.

## PROGRAMACIÓN Y CONFIGURACIÓN DEL IED DEL CAMPO 102

La programación del campo 102 que posee como IED al REX 640, también es muy similar a la del campo 101 y 103. Pero si es oportuno mencionar una función preponderante, que lo diferencia de los dos anteriores. Se trata del NL "ASGCSYN", el cual permite la realización del proceso de sincronización del DER a la barra. Este bloque de autosincronización se puede visualizar en la Figura 5.

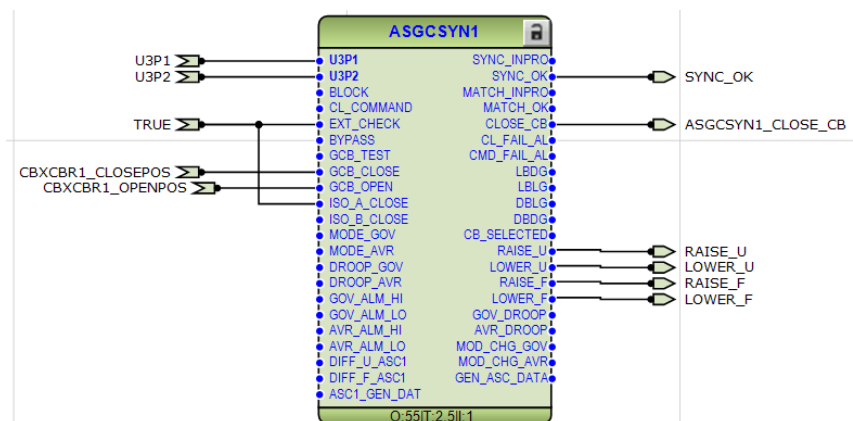


Figura 5. Vinculaciones lógicas del NL de sincronización del DER del campo 102.

Se deben ingresar las tensiones provenientes de los TVs conectados a ambos lados del interruptor, con lo cual el IED adquiere las señales analógicas de tensión (“U3P1” y “U3P2”). Se adiciona como entrada, la posición abierta o cerrada del interruptor y una señal de verdadero (true) para habilitar ciertas funciones de protección del bloque.

Al momento que las condiciones para sincronización son cumplimentadas, el presente NL envía un verdadero “True”, a través de su salida “SYNC\_OK”, el cual ingresa al NL “CBXCBR2” para habilitar el cierre del interruptor.

## COMUNICACIÓN HORIZONTAL

Como se muestra en la Parte I del presente proyecto, todos los IEDs deben conocer el estado de los interruptores entre sí, entre otras informaciones. Esto es posible lograrlo mediante una herramienta de gran beneficio que ofrece la Norma: los mensajes “GOOSE”. Con ello cada IED envía como señal lógica el estado de su interruptor al resto de los IEDs, con la ayuda del NL “GOOSESERCV\_INTL”, prescindiendo de un conductor físico, como puede ser un cable de cobre. La configuración de cual mensaje es enviado y recibido por cada IED, es realizado con la herramienta “Signal Matrix”, tal como puede observarse en la Figura 6.

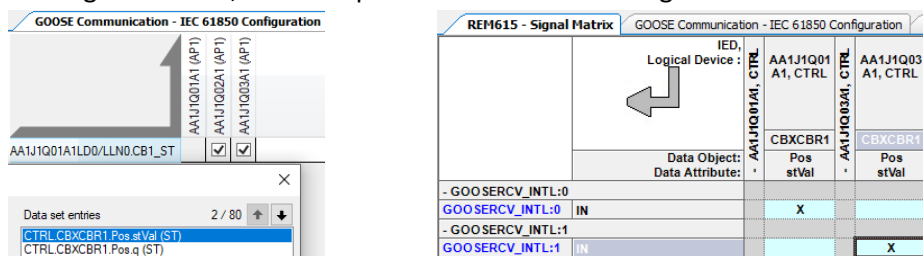


Figura 6. Matriz para vinculación e intercambio de mensajes GOOSE entre IEDs

## CONCLUSIONES

Mediante la realización del presente trabajo, se ha podido obtener el control, sincronización y monitoreo de los interruptores de potencia que forman parte de una microrred a escala de laboratorio, con las ventajas que ofrecen los IEDs en IEC 61850 (equipos intercambiables, interoperables y digitalización de la estación). En futuros trabajos, se pretende desarrollar en mayor profundidad el control y monitoreo de los seccionadores, como así también el estudio de los sistemas de protecciones vinculados al NL del interruptor.

## REFERENCIAS

- Ataei M., Hooshmand R. y Roostae S. (2011). "Substation automation system using IEC 61850.", 5th International Power Engineering and Optimization Conference, Shah Alam, Selangor, Malaysia, 6-7 de Junio de 2011 ,393-397.
- Ozansoy C., Ustun T. S. y A. Zayegh (2012). "Modeling of a Centralized Microgrid Protection System and Distributed Energy Resources According to IEC 61850-7-420,", IEEE Transactions on Power Systems, vol. 27, (no. 3), 1560-1567.
- Abbas Ghorbani M., Arshia M., Ebrahimi A. R. y Vadiati M. (2008). "Future Trends of Substation Automation System by Applying IEC 61850.", 43rd International Universities Power Engineering Conference, Padua, Italy, 1-4 September, S/N.

Este trabajo ha sido realizado bajo la dirección del Ing. Andrés Zottico ([azottico@frsf.utn.edu.ar](mailto:azottico@frsf.utn.edu.ar)) y la Ing. Irene Steinmann ([isteinmann@frsf.utn.edu.ar](mailto:isteinmann@frsf.utn.edu.ar)).

## Uso de herramientas SIG para análisis de índole urbana: aplicación en cobertura de la red de saneamiento de la ciudad de Venado Tuerto.

## Use of GIS tools for urban analysis: application to the coverage of the sanitation network in the city of Venado Tuerto.

**Estefanía Zoppi, Matías Majoral**

Grupo Geomática, Facultad Regional Venado Tuerto, UTN

[estefi.zoppi@gmail.com](mailto:estefi.zoppi@gmail.com) [matiasmajoral@gmail.com](mailto:matiasmajoral@gmail.com)

### Resumen

Actualmente en muchos municipios y comunas se presentan dificultades y demoras innecesarias a la hora de planificar obras urbanas, producto de que la información precisa para estos planes se encuentra desordenada, en diferentes formatos, fragmentada, etc. Mediante este trabajo se pretende desarrollar una metodología SIG para el análisis espacial de servicios urbanos, en este caso conexiones domiciliarias a la red de saneamiento, replicable tanto para otro tipo de infraestructuras como para distintas escalas de núcleos urbanos. Para el desarrollo del mismo fue utilizado el software QGIS, haciendo uso principalmente de las herramientas vectoriales de geoprocreso y gestión de datos. Como resultados parciales fueron logrados mapas del alcance de la red y porcentajes de hogares abastecidos por barrio. Los resultados obtenidos confirman la importancia del uso de estas herramientas en la planificación urbana.

**Palabras clave:** SIG, planificación, infraestructura urbana.

### Summary

Currently, in many municipalities and communes there are difficulties and unnecessary delays when planning urban works, due to the fact that the information required for these plans is disordered, in different formats, fragmented, etc. The aim of this work is to develop a GIS methodology for the spatial analysis of urban services, in this case household connections to the sanitation network, replicable for other types of infrastructure and for different scales of urban centers. The QGIS software was used for the development of the project, making use mainly of vectorial tools for geoprocessing and data management. Partial results included maps of the scope of the network and percentages of households supplied by neighborhood. The results obtained confirm the importance of using these tools in urban planning.

**Key words:** GIS, planning, urban infrastructure.

### Introducción

Actualmente, todavía en muchos municipios y comunas se presentan dificultades y demoras innecesarias a la hora de planificar obras urbanas, dado que la información precisa para estos planes se encuentra desordenada, en diferentes formatos, fragmentada, etc. Lo cual imposibilita un estudio completo de todos los factores que intervienen en dichos análisis.

A través de la evolución de técnicas informáticas y del desarrollo de nuevas tecnologías, producto de estas necesidades, surgen los procesos de gestión de información, los cuales resultaron menester para el desarrollo de planes y políticas que aspiran al progreso de las sociedades; siendo el mayor auge en tareas que implican una cantidad importante de datos, como es el caso de los SIG (Sistemas de Información Geográfica).



Según la definición de Olaya (Olaya Ferrero, 2014) los SIG son sistemas de información diseñados para trabajar con datos referenciados mediante coordenadas espaciales o geográficas, los cuales brindan la capacidad de analizar y gestionar dichos datos, en pos de generar modelos de información en forma de mapas, informes, o gráficos entre cuyas utilidades se contemplan las pautas para el crecimiento territorial y la gestión de mapas de riesgo de toda índole.

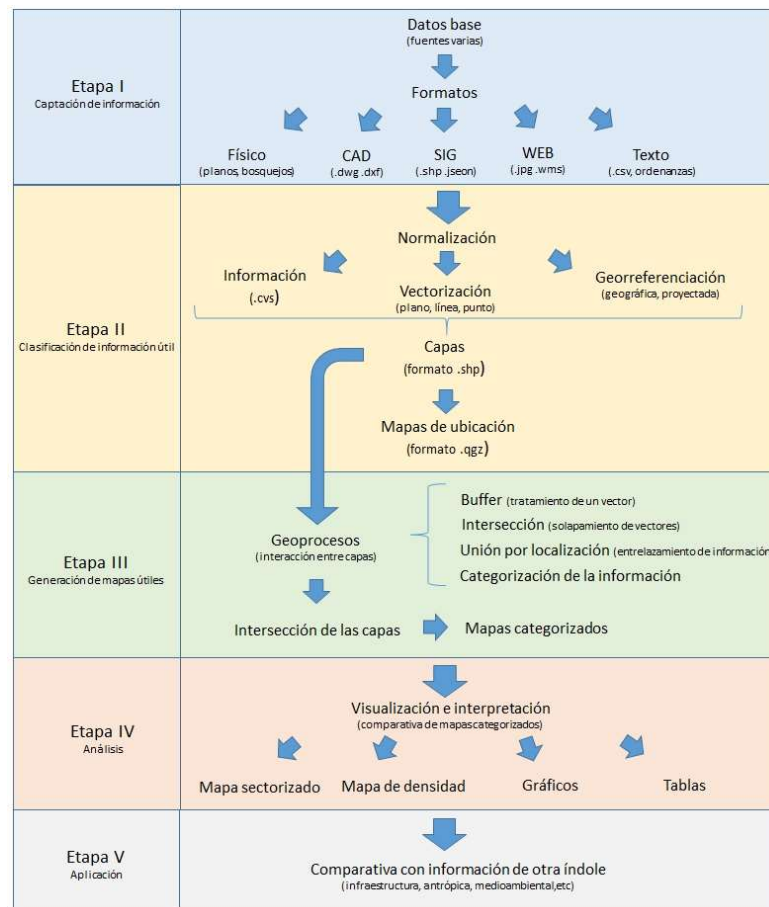
Motivado por la necesidad de mejorar la presentación de la información necesaria para el diagnóstico o planificación de interés, este trabajo busca desarrollar metodologías mediante SIG que integren y pongan a disposición de manera conjunta toda la información interviniente, resultando en este caso el análisis de la cobertura de la red de saneamiento de la ciudad de Venado Tuerto.

### Objetivos

Desarrollar una metodología SIG para el análisis espacial de las conexiones domiciliarias a la red de saneamiento, replicable tanto para otro tipo de infraestructuras como para distintas escalas de núcleos urbanos.

### Metodología

El procedimiento básico para obtener los mapas deseados a partir de información base puede subdividirse en una serie de etapas de ejecución, a través de las cuales la información se va entrelazando y organizando para devolver mapas y tablas que la condensan de manera útil.



Para el caso de aplicación, una herramienta informática efectiva para el desarrollo de los geoprocursos indicados es QGIS, un software libre de código abierto dedicado a la visualización y análisis de Información Geográfica (QGIS, 2021), dada la cantidad de utilidades que provee para el tratamiento de elementos tipo vectorial, presentes en el modelo.

A fin de poner a prueba el procedimiento indicado y las herramientas informáticas mencionadas, se desea aplicarlos a fin de analizar un aspecto de la infraestructura urbana en la Ciudad de Venado Tuerto, en este caso el desarrollo de la red de saneamiento cloacal y su capacidad de servicio en los sectores residenciales urbanos, con el objetivo de poner a prueba la agilidad del proceso y las virtudes de los mapas a generar.

#### **Etapas I – Captación de información útil.**

Dado que la intención de este análisis abarca tanto conocer el desarrollo de las obras existentes como el aspecto antrópico del alcance del servicio, ha sido necesario captar información referente a la consolidación urbana tanto a través de la ubicación catastral como de las residencias existentes en cada lote.

Captación de información urbana: Datos de zonificación en formato .jpg (sector urbano), datos catastrales base en formato .wms, datos residenciales en formato .shp (medidores de electricidad por lote), datos sobre delimitación de Barrios de la Ciudad en formato .jpg

Captación de datos de infraestructura: Red cloacal urbana en formato .dwg (cañerías domiciliarias y troncales)

#### **Etapas II – Clasificación de información útil**

La información presente en diversos formatos permitirá poner a prueba esta Etapa a través de la normalización desde esos formatos tan dispares a un formato estándar .shp.

Vectorización: Los lotes catastrales fueron trazados en base a la capa .wms por medio de un vector de tipo área, al igual que los barrios y la zonificación. A su vez las cañerías fueron reconvertidas desde el formato .dxf a una capa de tipo línea.

Georreferenciación: El sistema de referencia elegido para todas las capas fue POSGAR2007 – Argentina faja 4 (IGN, 2021) el cual tiene un mejor ajuste espacial para nuestra zona de estudio.

Información: La información propia de la red cloacal fue depurada dado que jerarquizaba las redes domiciliarias y las troncales, esta última fuera del objetivo de este estudio.

#### **Etapas III – Generación de mapas útiles**

Geoprocursos: Para el caso en estudio, se logró transmitir con éxito, a través de su ubicación georeferenciada, la información de la capa red cloacal generada anteriormente a los lotes linderos (se desprende de ello que están siendo servidos por la misma). Este proceso constó de efectuar un buffer que solape la posición de estos últimos para luego efectuar una unión por localización. Mismo procedimiento ejecutado para volcar la información de los medidores a los lotes para así alimentar esta capa con una nueva dimensión de información útil. Ya condensada la información en 2 capas, comienza a cobrar utilidad la clasificación a través de los campos a fin de visualizar los sectores de interés.

#### **Etapas IV – Análisis**

Visualización e interpretación: A partir de la categorización de la información a través de los campos de cada capa (en particular la de Lotes) es posible generar mapas que las interrelacionen y gráficos (o tablas) que complementen a los mismos.

### Etapa V - Aplicación

Los geoprocursos efectuados en la Etapa III muestran ser lo suficientemente simples y versátiles para ser replicados con otra clase de infraestructura tanto de tipo lineal como puntual, al mismo tiempo que los análisis particulares para cada subdivisión barrial implica la flexibilidad en la escala de la urbe a analizar.

### Resultados

En el Mapa N° 1 se visualiza el alcance territorial de la Red Cloacal domiciliar, donde la unidad mínima es cada lote urbano servido o no, lo que permite conocer la extensión de las redes y la viabilidad de futuras intervenciones en base a la distancia a la red troncal.

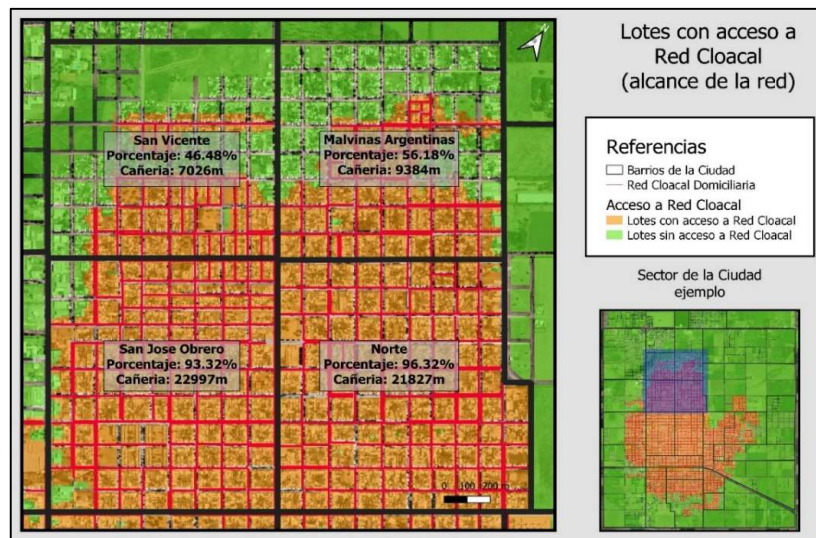


Imagen1. Alcance territorial de la red cloacal domiciliar.

En el Mapa N° 2 se presenta la clasificación lote a lote en base a su uso y capacidad de acceso a Red Cloacal, el conjunto de la información procesada para su visualización al detalle.

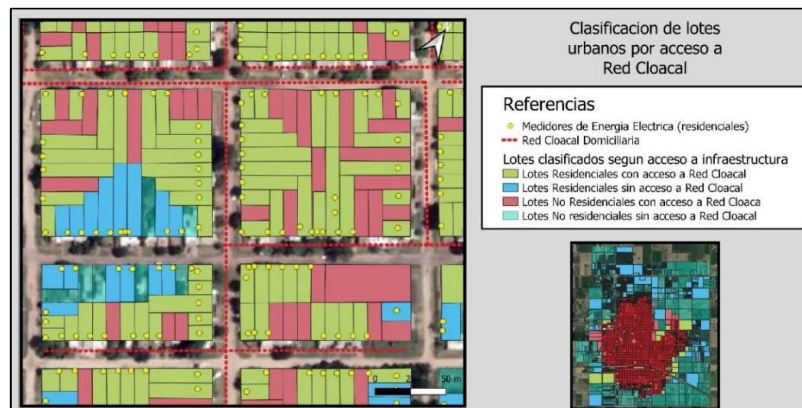


Imagen 2. Clasificación de lotes según acceso a infraestructura.

El Mapa N° 3 se presenta la densidad poblacional (basado en lotes de carácter residencial) y su acceso al servicio de Red Cloacal en la actualidad, a fin de conocer el alcance en numero de hogares habitados que tendrán las obras proyectadas a futuro.



Imagen 3. Lotes residenciales con servicio de red cloacal.

## Conclusiones

La idea de articular procedimientos que trasformen datos de las más diversas fuentes y formatos y nos devuelvan información útil y es esencial para cualquier organismo que esté a cargo de la toma de decisiones que aporte al desarrollo de una sociedad. El caso del desarrollo de la infraestructura sanitaria es un tema especialmente sensible dado el impacto negativo en los sectores no cubiertos, por lo que consideramos fundamental brindar una cualidad espacial a información que comúnmente se presenta como una colección de datos sueltos difíciles de interrelacionar y visualizar en términos de su distribución territorial.

El caso Venado Tuerto es bastante particular en cuanto al desarrollo de infraestructura dado que es una ciudad desarrollada de manera extensiva, aunque con baja consolidación, por lo que consideramos que la herramienta SIG generada puede ser un gran aporte para la asignación eficiente de los recursos, con la visión del desarrollo de esos asentamientos.

En cuanto al procedimiento, consideramos que, dada su flexibilidad de uso y la capacidad de absorber y normalizar datos de cualquier formato, brinda la posibilidad ser utilizado para procesar información sobre cualquier clase de infraestructura, y por personal no necesariamente capacitado en informática que estuviera a cargo de la toma de decisiones.

## Bibliografía

- IGN. (2021). Introducción POSGAR 07 – Posiciones Geodésicas Argentinas. Recuperado 15 de agosto de 2021 a partir de <https://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/Geodesia/Posgar07>
- Olaya Ferrero, V. (2014). Sistemas de Información Geográfica. Licencia Creative Common Atribución. <http://volaya.es/writing>.
- QGIS. (2021). QGIS – El SIG Líder de Código Abierto para Escritorio. Recuperado 20 de agosto de 2021 a partir de <https://www.qgis.org/es/site/>

## Comparación de metodología y herramientas utilizadas durante la pandemia Comparison of methodology and tools used during the pandemic

**Agustina Funes**

Universidad Tecnológica Nacional FRRa  
[agustina.funes@hotmail.com](mailto:agustina.funes@hotmail.com)

**Milagros Galoppo**

Universidad Tecnológica Nacional FRRa  
[migaloppo@hotmail.com](mailto:migaloppo@hotmail.com)

**Victoria Sosa**

Universidad Tecnológica Nacional FRRa  
[Vsosa132@gmail.com](mailto:Vsosa132@gmail.com)

### Resumen

La pandemia de COVID-19 se afrontó implementando políticas de salud que afectaron a los sistemas educativos. Las instituciones se vieron forzadas a adoptar rápidamente medidas para continuar la formación de los estudiantes a distancia.

La Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Rafaela permitió el desarrollo de contenidos y la toma de exámenes parciales y finales, conservando la posibilidad de promoción de asignaturas, rediseñando los materiales educativos para garantizar la adquisición de las competencias requeridas en los planes curriculares; se propusieron prácticas innovadoras y se consideraron distintos tipos de evaluaciones que aseguren la calidad requerida.

Se presenta una comparación de acciones y herramientas aplicadas por cátedras del ciclo básico de Ingeniería entre el año 2020 y el 2021, mostrando la evolución de las mismas. El estudio se realizó basándose en trabajos de campo estadísticos en donde los resultados confirman que, en los casos estudiados, la transición a la educación virtual fue exitosa.

**Palabras claves:** Educación en línea, enseñanza virtual, COVID-19, pandemia

### Abstract

The global COVID-19 pandemic has addressed through the implementation of aggressive public health measures that have disturbed educational systems, forcing institutions to quickly adopt online learning to continue the educational process during the isolation period.

The Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Rafaela (UTN FRRa) has responded to this new scenario by redesigning class material, proposing innovative teaching practices with digital tools, and rethinking the evaluation process.

This paper presents a comparison of actions and tools implemented by different subjects of the Basics Department of Engineering between 2020 and 2021. Also, it exposes a statistical analysis of students' perceptions of one of the courses. Results confirm that the transition to online education went successful.

**Keywords:** online education, virtual teaching, COVID-19, pandemic

## Introducción

La pandemia provocada por el COVID-19 ocasionó cambios en la educación, imposibilitando seguir con la modalidad tradicional de enseñanza y aprendizaje, provocando consecuentemente la implementación inmediata de medidas para que se pueda continuar con la educación en línea. Frente a esto, es fundamental destacar que el tipo de apoyo que se le brinde al estudiante durante el proceso educativo puede marcar la diferencia y determinar el éxito en su formación a distancia.

El objetivo de este trabajo es determinar a través de comparaciones, si hubo una evolución en el uso de las herramientas virtuales durante el cursado en línea al inicio de la pandemia (2020) y el actual, es decir, luego de un año de adaptación. También se busca identificar los inconvenientes con los que se encontraron los alumnos en lo que respecta al uso de estas herramientas y sus valoraciones sobre los materiales y propuestas ofrecidas por los docentes frente a esta nueva modalidad de cursado.

La metodología de investigación implementada consistió en encuestar a una muestra representativa de estudiantes de materias básicas dictadas en el primer cuatrimestre de las carreras de ingeniería. Las encuestas se confeccionaron utilizando Formularios de Google, para que resulten fáciles y rápidos de completar a través del móvil u otros dispositivos.

## Cursado virtual 2020

Para llevar a cabo esta nueva modalidad de enseñanza virtual, se necesita hacer uso de determinadas herramientas digitales (TICs), instrumentos para la educación en línea, que se utilizan con el fin de facilitar la realización de actividades relacionadas con una tarea.

Estos instrumentos brindan un apoyo durante el proceso de enseñanza y aprendizaje. A través de la interactividad, inmediatez y seguimiento del trabajo de los alumnos, se fomenta la participación y las relaciones entre grupos, además de posibilitar el asesoramiento asincrónico y la evaluación continua de los estudiantes, tanto individual como grupal, mejorando de esta manera la calidad de las tareas educativas.

El uso de las TICs conlleva según López-Gil y Sevillano García (2020: 56) a que en un entorno marcado por el desarrollo tecnológico sea necesario que los individuos construyan competencias que les permitan desenvolverse de forma eficiente, reflexiva y crítica.

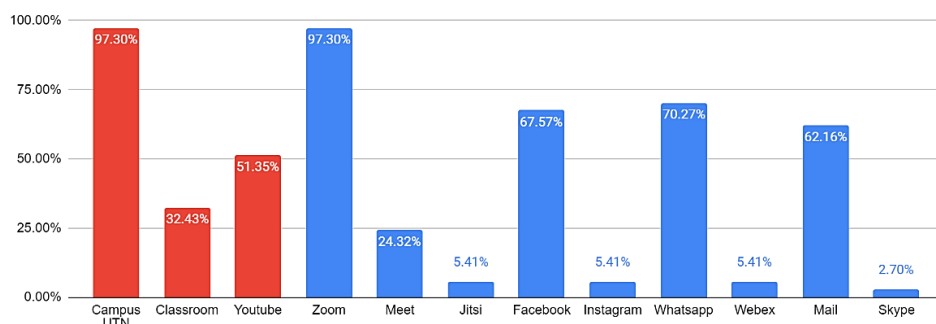
“El apoyo y la orientación que recibirá en cada situación, así como la diferente disponibilidad tecnológica, son elementos cruciales en la explotación de las TIC para actividades de formación en esta nueva situación”. (Salinas, 2004: 7)

## Relevamiento de tipos de herramientas utilizadas en materias básicas 2020

Se les pidió a alumnos de Ingeniería Civil, Electromecánica e Industrial de la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Rafaela, que cursan las materias básicas, dictadas durante el primer cuatrimestre de cursado, que a través de una encuesta realicen una valoración acerca del cursado virtual y cuenten su experiencia en relación a la misma.

Se realizó una encuesta a los 103 estudiantes que cursaron el primer semestre de 2020, donde el 89,2% de ellos cursaba por primera vez, mientras que el 10,8% eran recursantes.

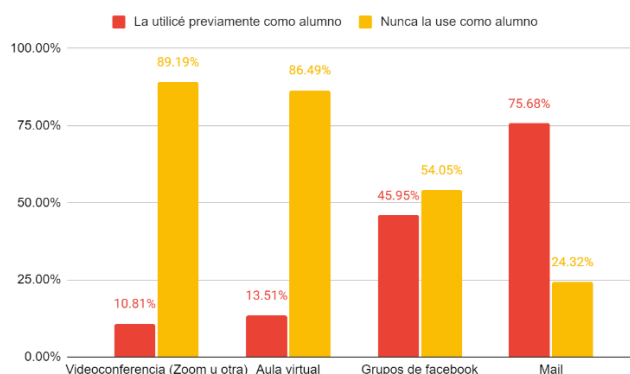
Primeramente se les preguntó: ¿Cuáles herramientas te propuso el profesor utilizar durante las clases a distancia?



**Figura 1. Herramientas utilizadas durante las clases a distancia 2020.**

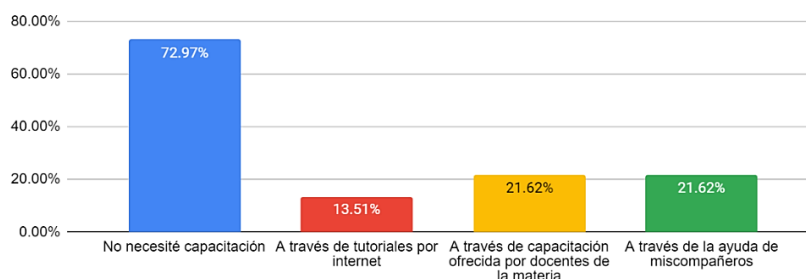
Estas herramientas se pueden dividir en dos tipos, de soporte de contenido y de comunicación. Las primeras se observan en el gráfico marcadas con color rojo y las segundas en azul.

Luego se les preguntó: ¿En cuáles herramientas para aprendizaje a distancia tenías experiencia previa como alumno?



**Figura 2. Experiencia previa en el uso de herramientas de aprendizaje 2020.**

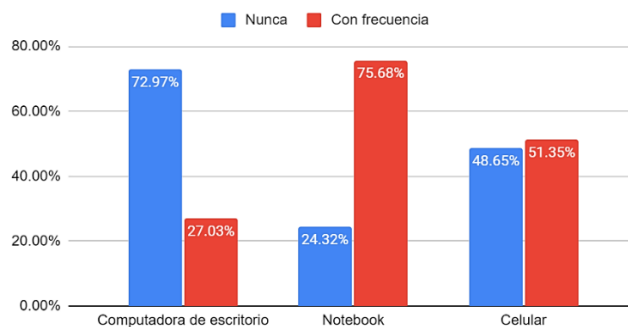
En relación a la pregunta anterior y habiendo previsto los resultados obtenidos, la pregunta que se les hizo fue: ¿Cómo te capacitaste para usar estas herramientas y equipos?



**Figura 3. Tipo de capacitación realizada para el uso de herramientas de aprendizaje 2020.**

Se observa que el 72,97% de los alumnos no necesitó capacitación, esto se debe a que los mismos ya estaban adaptados al mundo tecnológico y a su funcionamiento, si bien como se vio muchas herramientas no fueron utilizadas previamente, son de fácil aplicación.

Con respecto a los dispositivos utilizados por los alumnos para acceder a las clases dictadas virtualmente se obtuvo que:



**Figura 4. Dispositivos utilizados para acceder a las clases virtuales 2020.**

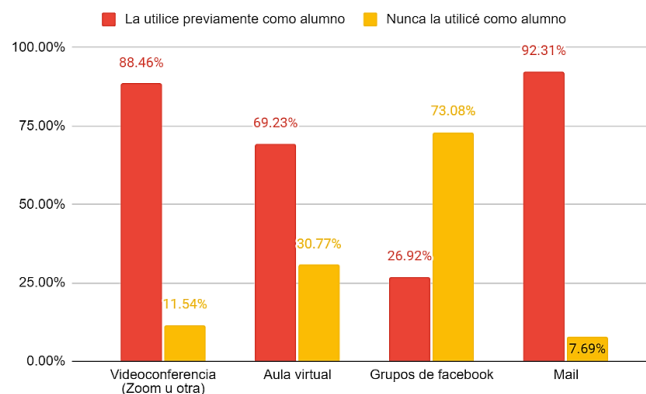
Si bien la computadora y el celular tienen numerosas ventajas, pueden surgir algunos problemas en cuanto a la interrupción en la recepción, dificultades para acceder a las herramientas, mala calidad tanto en sonido como imagen e inconvenientes técnicos durante la realización de ejercicios. Frente a esto, se les preguntó: ¿Con qué frecuencia has obtenido ayuda por parte del profesor? Obteniendo que el mismo pudo involucrarse para colaborar en la solución rápida de estos problemas. Sin embargo, en el caso del 27% de alumnos que no dispusieron de acceso a internet o a dispositivos tecnológicos, el profesor no tuvo posibilidad de brindar su ayuda para la resolución de los mismos.

### Relevamiento de tipos de herramientas utilizadas en materias básicas 2021

En este nuevo año, al cerrar el primer cuatrimestre, se volvió a encuestar a los alumnos de las mismas asignaturas analizadas en 2020, siendo en esta ocasión 71 cursantes. Tomando nuevamente una población representativa, se observa que el 88,46% de los estudiantes, cursaba por primera vez, mientras que el 11,54% eran recursantes.

Con respecto a las herramientas usadas en el dictado de la materia, se observa que la más utilizada continuó siendo el campus de UTN, complementándose con YouTube, plataforma que le permite al profesor subir sus clases y recomendar videos referidos a la cátedra. En cuanto a las herramientas de comunicación, Zoom y Mail siguieron siendo las más elegidas.

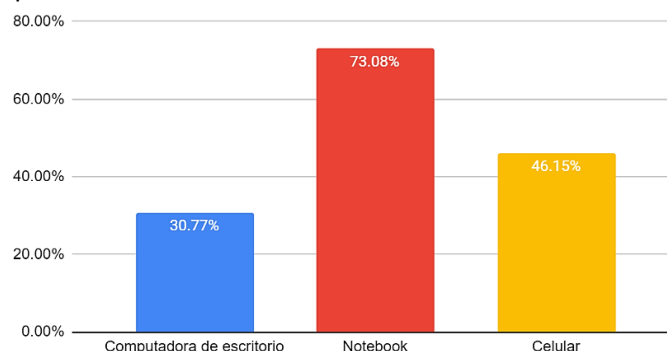
Al preguntarles nuevamente a los estudiantes su experiencia previa en la utilización de estas herramientas se observa que los mismos ya contaban con conocimientos previos respecto a Zoom, aulas virtuales y mail. Esto se debe a que en el año 2020 tuvieron que hacer uso de las mismas ya sea a nivel secundario o universitario; a su vez esto conlleva a que los alumnos no hayan necesitado capacitación y que tan solo un 20% hayan tenido que recurrir a videos y ayuda ya sea ofrecida por compañeros, docentes o capacitaciones de la UTN.



**Figura 5. Experiencia previa en el uso de herramientas de aprendizaje 2021.**



También se observa que en el año 2021 los dispositivos utilizados por preferencia no varían en gran proporción respecto a los del año anterior.



**Figura 6. Dispositivos utilizados para acceder a las clases virtuales 2021.**

Frente a los inconvenientes surgidos durante el cursado los estudiantes optaron por recurrir en busca de ayuda a sus compañeros o profesores.

## Conclusiones

En función a los datos analizados se observó una evolución en el año 2021 respecto del anterior; entre los aspectos positivos, se encuentra el conocimiento previo de alumnos y profesores en relación a las herramientas utilizadas, lo cual optimizó el desarrollo del cursado.

La evolución es resultado de la adaptación de alumnos y profesores a esta nueva modalidad de estudio. También es consecuencia de las diferentes iniciativas tomadas por los integrantes del equipo de investigación educativa que funciona en el departamento de ciencias básicas, las que incluyen la elaboración de material relacionado con la utilización de las distintas herramientas de videoconferencias disponibles y capacitaciones para docentes con respecto a estos aspectos.

Una de las maneras para poder realizar un análisis general del proceso educativo, fue monitorear la evolución del mismo favoreciendo así, acciones tendientes a mejorar la comunicación entre docentes y alumnos, implementando como consecuencia las clases asincrónica y mejorando las habilidades tecno educativas, incluyendo las evaluaciones que permitieron la promoción de materias y la evaluación mediante exámenes finales.

## Referencias

- López-Gil, K. S. y Sevillano García, M. L. (2020). "Desarrollo de competencias digitales de estudiantes universitarios en contextos informales de aprendizaje", *Educatio Siglo XXI*, 38, 53-78.
- Salinas, J. (2004). "Innovación docente y uso de las TIC en la enseñanza universitaria", *RUSC. Universities and Knowledge Society Journal*, 1(1), 1-16.

# Análisis del Impacto en Redes de Media Tensión del Arranque de Motores Eléctricos de Gran Potencia

## Impact Analysis in medium voltage networks of starting high power electrical motors



**Mariano Miguel Perdomo**

Centro de Investigación y Desarrollo en Ingeniería Eléctrica y Sistemas Energéticos (CIESE)  
(Lavaise 610, Santa Fe), Facultad Regional Santa Fe, UTN  
perdomomariano@hotmail.com

**Resumen:** El proceso de arranque de motores eléctricos de inducción de gran potencia puede deteriorar la calidad de la energía suministrada en un sistema eléctrico debido a posibles huecos de tensión. En el presente trabajo se analiza el impacto que genera la inserción de motores de inducción de potencias superiores a 150 kW pertenecientes a una demanda industrial metalúrgica en una red eléctrica de media tensión. Los resultados obtenidos demuestran que en términos generales, la inserción al sistema de una industria similar a la estudiada, no produce un decremento importante de la calidad de energía en las barras aledañas.

**Palabras clave:** Proceso de arranque, motores eléctricos de inducción, huecos de tensión.

**Abstract:** The starting process of high-power induction electric motors can deteriorate the quality of the energy supplied in an electrical system due to possible voltage sags. In this paper, the impact generated by the insertion of induction motors with powers greater than 150 kW belonging to a metallurgical industrial demand in a medium voltage electrical network is analyzed. The results show that in general terms, the insertion in the system of an industry similar to the one studied does not produce a significant decrease in the quality of energy in the neighboring bars.

**Keywords:** Starting process, induction electric motors, voltage sags.

### 1. Introducción

Las industrias pueden producir fenómenos eléctricos indeseados para el resto de los usuarios de la red según el comportamiento de su demanda (Lazaroiu et al., 2014). Por esto, en aquellas redes de distribución conformadas por circuitos de alta impedancia y demandas reducidas de tipo residencial y comercial, ante el ingreso en servicio de una importante demanda puntual de tipo industrial y con ciclos de variaciones de carga severos, resulta necesario verificar su impacto en variables de operación de la red. En el presente trabajo se efectúan estudios eléctricos en régimen estático y dinámico en una red de media tensión (MT), evaluando el impacto que genera una industria de extrusión de aluminio. La demanda industrial metalúrgica (DIM) posee tres motores trifásicos de inducción de gran potencia. Según las condiciones particulares del proceso de extrusión, los sucesivos arranques de los motores pueden generar graves problemas de perfiles bajos de tensión. Se plantea como objetivo principal estudiar posibles huecos de tensión en barras del subsistema en estudio y proponer diversos criterios de evaluación de performance técnica y económica de operación de la red y calidad de energía la red, orientados a obtener la configuración del proceso de arranque y operación de la DIM más apropiada.

### 2. Caso de estudio

#### 2.1. Descripción de la red en estudio

Se estudia una red de MT compuesta por una línea aérea con tensión nominal de 33 kV, alimentada desde una estación transformadora 132/33/13,2 kV y acomete a una estación de

rebaje (ER) 33/13,2 kV, la cual posee un transformador de distribución primaria (TDP) de 5 MVA (TDP1) y otro de 2,5 MVA (TDP2). A la ER se vinculan cuatro distribuidores de 13,2 kV que abastecen tres redes de distribución y a la DIM (ver figura 1). En la Figura 1, se destaca en línea de trazos la “ZONA DIM” identificando los elementos susceptibles de modificación en el estudio.

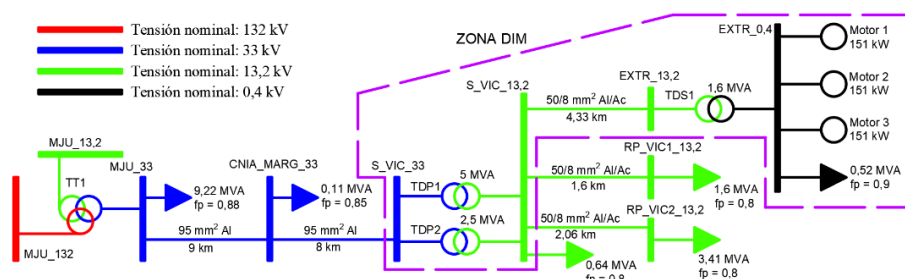


Figura 1. Diagrama unifilar de la red en estudio.

La red en estudio se modela mediante el software Etap versión estudiantil. Las hipótesis adoptadas en las simulaciones son: (i) Niveles de calidad del producto técnico exigidos en el Anexo 27 de Los Procedimientos de CAMMESA (CAMMESA, 2012); (ii) El límite de capacidad de transmisión de potencia de las líneas aéreas de MT es el límite térmico-mecánico impuesto por sus conductores; (iii) El límite admisible de condiciones normales de operación de motores y transformadores es su capacidad nominal. (iv) Demandas modeladas como potencia constante, según los registros históricos correspondiéndose con un escenario de demanda pico.

### 2.2. Especificaciones técnicas de los accionamientos

En el proceso inicial de extrusado se requieren grandes potencias para vencer elevadas fuerzas de rozamiento. Los motores en combinación con su método de arranque, deben vencer la cupla resistente en el instante del arranque. Los procesos restantes de la línea de extrusión son modelados como una demanda de potencia constante. Las características técnicas de los tres motores de 151 kW que componen el proceso se presentan en la Tabla I. Dos de los motores principales se utilizan para efectuar el movimiento de la prensa (Motor 1 y Motor 2), y el tercer motor principal (Motor 3) está destinado a cubrir los servicios de carga de acumuladores y sellado del contenedor y puede operar en cualquier momento según la presión requerida.

Tensión nominal (U)	380 [V]
Velocidad de rotación nominal (n)	1480 [rpm]
Momento de inercia (J)	2,13 [kg*m <sup>2</sup> ]
Corriente nominal (I <sub>n</sub> )	274,07 [A]
Rendimiento (η)	94,83 [%]
Corriente de arranque respecto a I <sub>n</sub> (I <sub>a</sub> /I <sub>n</sub> )	6,32
Factor de potencia (Fp)	0,8-0,87
Torque de arranque respecto al nominal (T <sub>a</sub> /T <sub>n</sub> )	2,26
Torque máximo respecto al nominal (T <sub>máx</sub> /T <sub>n</sub> )	2,56

Tabla I. Características técnicas de los motores

## 3. Metodología

Se modela la red eléctrica de estudio, se realizan simulaciones de flujos de carga en régimen estacionario y dinámico. Los supuestos aplicados para el modelado de los accionamientos son: (i) la inercia de la carga acoplada al eje de los dos motores 1 y 2 es de 6 veces la propia del motor (WEG, 2020). (ii) La inercia de la carga acoplada al eje del Motor 3 es de 2 veces la propia del motor. (iii) Se consideran distintos tipos de arranque para el análisis: arranques directos, estrella-triángulo y con variador de frecuencia (VDF) con dos rampas de aceleración distintas.

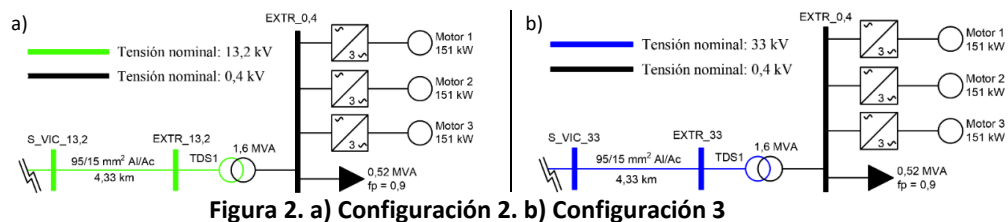
### 3.1. Estudio estático con motores de gran potencia

Se pretende determinar el impacto de la DIM en los parámetros de operación de la red. Se utiliza la configuración de la red presentada en la Figura 1. Se realiza un estudio de los niveles y fluctuaciones de tensión en las barras de MT para casos de desconexión intempestiva de la DIM.

Como condición inicial se considera el funcionamiento a carga nominal de la DIM, y como condición final, la desconexión de: a) un motor, b) dos motores, c) tres motores, d) DIM completa.

### 3.2. Estudio dinámico de arranque de motores de gran potencia

Se pretende identificar posibles complicaciones en el período transitorio de arranque de los motores eléctricos que componen la línea de extrusado. Se definen tres configuraciones de conexión de la DIM a la red de MT (vinculación con la ER) con el propósito de evaluar el impacto de diferentes impedancias de conexión: (i) *Config. 1*: conexión de la DIM a la red en 13,2 kV, a través de una línea aérea de 4,3 km de longitud y sección de conductor 50/8 mm<sup>2</sup> Al/Ac (“ZONA DIM” en la Figura 1). (ii) *Config. 2*: conexión de la DIM a la red en 13,2 kV, a través de una línea aérea de 4,3 km y conductor 95/15 mm<sup>2</sup> Al/Ac Figura 2). (iii) *Config. 3*: conexión de la DIM a la red en 33 kV, a través de una línea aérea de 4,3 km y conductor 95/15 mm<sup>2</sup> Al/Ac (Figura 2).



Se simula el arranque de los motores en conexión directa, estrella-triángulo y con VDFs, a los fines comparar los indicadores de operación de la red. Con el VDF se configuran dos rampas de aceleración de 10 y 18 segundos. Los estudios se realizan considerando el caso más exigente, el arranque simultáneo de los 3 motores (Secuencia 1). Se evalúa también el arranque del motor 3 en un instante donde el motor 1 y 2 se encuentran operando en régimen estable (Secuencia 2). Se tienen en total 3 configuraciones de red, 4 tipos de arranque, y 2 secuencias de arranque. Se descartan para el estudio posterior las configuraciones que produzcan valores no admisibles de operación o que no logren completar el proceso de arranque. En los casos de arranque exitosos, se registran los tiempos de duración del evento y los valores tensión promedio en barras de MT. Luego, se contrastan los eventos de tensión con la curva ITI (CBEMA) (ITI, 2000) que representa los niveles de tensión tolerados por la mayoría de los equipos electrónicos. La tolerancia en estado estacionario de la tensión considerada es de 10% por encima o por debajo del voltaje nominal. Además, se realiza una comparación entre los distintos casos de estudio mediante el cálculo del déficit energético (DE) para cada uno de ellos, de modo de obtener un indicador cuantitativo que permita comparar la severidad del hueco de tensión, registrada para cada caso de estudio. A partir de la Ecuación (1) se determina el DE, donde  $t$  es la duración del evento de tensión en segundos,  $U_i$  es la tensión inicial en kV y  $U_{prom}$  es la tensión promedio del evento de tensión en kV. Se destaca que el cálculo del DE es utilizado con el fin de efectuar una comparación entre los casos de estudios para así identificar aquellos más favorables.

$$DE = t \times [U_i^2 - U_{prom}^2] \quad (1)$$

## 4. Resultados

### 4.1. Simulaciones en régimen estático

En el corredor de 33 kV, el ingreso de la DIM no origina cambios apreciables en los indicadores de operación. Los perfiles de tensión en barras de MT se mantienen dentro de los límites admisibles y presentan variaciones marginales (ver Figura 3). Respecto a los niveles de carga de la infraestructura eléctrica, se advierten aumentos importantes, del orden al 20%, en TDP1 y TDP2 (ver Figura 3). Se observa que los eventos de desconexión intempestiva de carga de la DIM, no producen importantes fluctuaciones de tensión en las barras de MT (ver figura 4). En todos los casos analizados, las fluctuaciones de tensión se sitúan dentro de los niveles admisibles del

3% (Barros et al., 2015), excepto en el caso de desconexión total de la DIM, que origina variaciones de tensión cercanas al 4% en la barra local de MT de la DIM (denominada EXTR\_13,2), pero sin afectar el resto de los nodos del subsistema. Entonces, con la configuración 1 de la red, en los casos simulados no existen violaciones de los parámetros de operación.

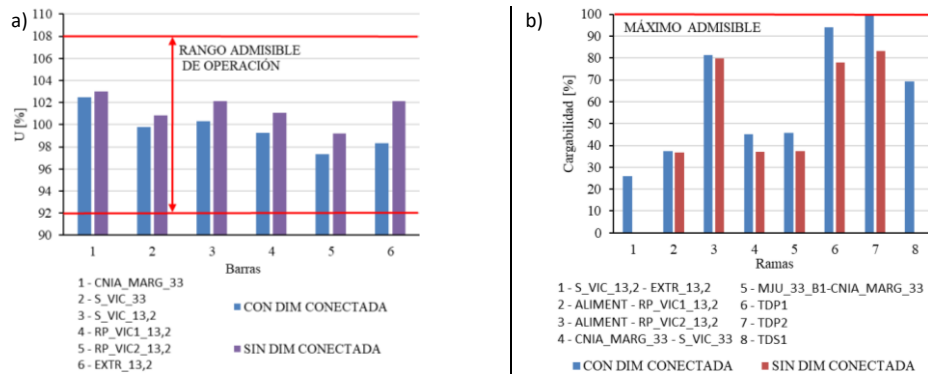


Figura 3. a) Perfiles de tensión en barras de la red. b) Cargabilidades en elementos de la red.

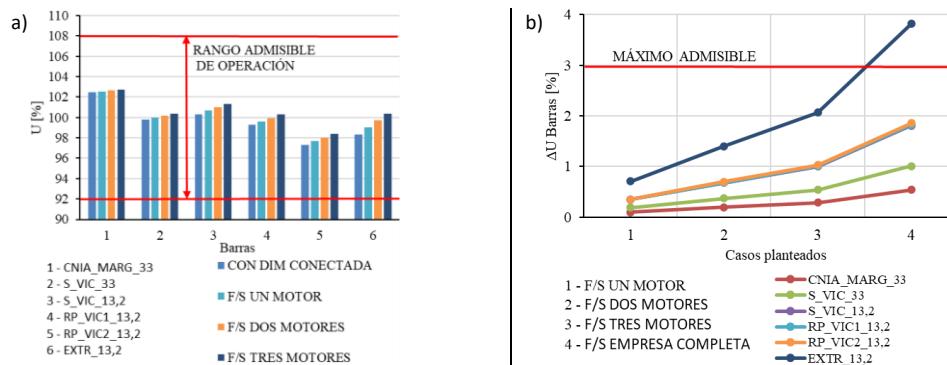


Figura 4. a) Perfiles de tensión en barras ante fluctuaciones de demanda. b) Fluctuación de tensión en barras ante fluctuaciones de demanda. Ambos casos debidos a desconexión de carga de la DIM.

## 4.2. Simulaciones en régimen dinámico de funcionamiento

### 4.2.1. Verificación del proceso de arranque

Los arranques en estrella-triángulo y con conexión directa, no logran un arranque exitoso. Esto conduce a que sea inevitable la utilización de un VDF en los motores para efectivizar los procesos de arranque en simultáneo. En todos los casos de estudio propuestos, considerando un arranque con VDF, se observa que es posible sobrellevar el proceso transitorio de arranque.

### 4.2.2. Características de los eventos de tensión:

En ninguno de los casos estudiados la tensión inicial en la barra de MT de conexión de la DIM a la red cae por debajo del 90%, este es el valor límite a partir del cual se considera un hueco de tensión. Las designaciones para los distintos casos analizados se definen en la Tabla II. La red no presenta complicaciones para sobrellevar el arranque de los motores en los 12 casos de estudio. Los menores valores de tensión promedio se presentan para la configuración 1, aun así su obra asociada es la más económica de efectuar y presenta diferencias inferiores al 1% en la tensión promedio de la barra con respecto a las configuraciones restantes. Por esto, la configuración 1 se considera como la mejor opción según la relación costo-beneficio.

En la Figura 6. a) se destaca en color naranja la zona no admisible de operación de equipamientos electrónicos según la curva ITI (CBEMA). Los puntos de la figura identifican los eventos de tensión correspondientes a los 12 casos de arranque analizados según su tensión promedio y tiempo de duración de los eventos de tensión en barra de MT de la DIM. Se observa que todos los casos en estudio se ubican en la zona admisible de funcionamiento de los equipamientos. La barra de la DIM es la más afectada con respecto a las caídas de tensión, si esta barra cumple con las condiciones exigibles, entonces las demás barras del sistema también lo hacen. Según el

criterio adoptado, los procesos de arranque en los distintos casos contemplados no presentan inconvenientes de huecos de tensión. En la Figura 6. b) se presentan los valores obtenidos de DE ocasionado por los eventos de tensión para cada caso de estudio. El valor menor se obtiene en el caso 9 de estudio, debido a la conexión de la DIM en el nivel de tensión de 33 kV (circuito de menor impedancia). Por contraparte, el mayor DE se presenta para el caso 4.

Config.	Rampa VFD	Secuencia	Caso
1	10 s	1	C1
		2	C2
	18 s	1	C3
		2	C4
2	10 s	1	C5
		2	C6
	18 s	1	C7
		2	C8
3	10 s	1	C9
		2	C10
	18 s	1	C11
		2	C12

Tabla II. Designaciones de los casos de estudio de huecos de tensión.

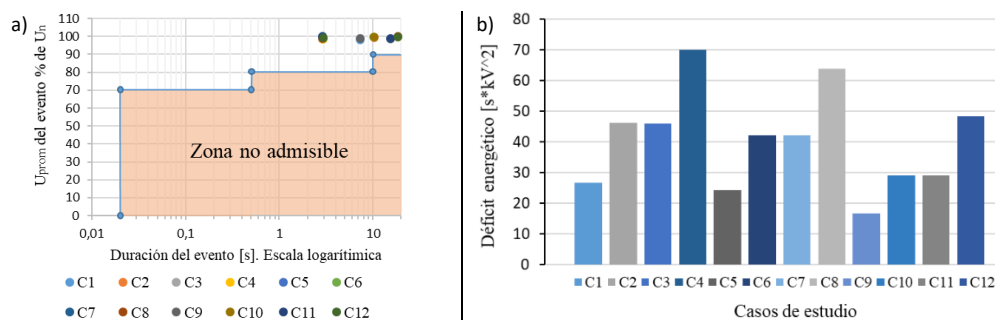


Figura 6. a) Identificación de los eventos de tensión para los casos estudiados y delimitación de la zona no admisible según ITI. b) Valores de déficit energético de casos estudiados.

## 5. Conclusiones

En términos generales, las condiciones de funcionamiento de una demanda industrial con un proceso similar a la DIM estudiada, tanto en régimen estático como transitorio, no ocasionan variaciones apreciables en la tensión de los nodos de MT aledaños de la región eléctrica de influencia. Se destaca la necesidad de la utilización de variadores de frecuencia para el funcionamiento en simultáneo de motores de gran potencia. La propagación de los eventos de tensión generados en la barra de la DIM es tal que en las demás barras del sistema se ven muy disminuidos los perjuicios de un proceso de estas características. Si se implementan circuitos de menor impedancia, las caídas de tensión durante el proceso de arranque resultan menores, pero no implican mejoras sustanciales que justifiquen sus mayores costos de inversión.

## 6. Referencias

- Barros, J., Gutiérrez, J. J., de Apráiz, M., Saiz, P., Diego, R. I., y Lazkano, A. (2015). "Rapid Voltage Changes in Power System Networks and Their Effect on Flicker", *IEEE Transactions on Power Delivery*, 31, 262–270.
- CAMMESA. (2012). *Anexo 27: Reglamentación aplicable a la prestación adicional de la función técnica de transporte de energía eléctrica firme en el MEM.*
- Information Technology Industry Council (ITI). (2000). *ITI (CBEMA) CURVE APPLICATION NOTE.*
- Lazaroiu, G. C., Costoiu, M., Carstea, C., Golovanov, N., Udrea, O. y Roscia, M. (2014). "Power quality management in a siderurgic factory", *2014 16th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP)*, 54-57.
- WEG. (2020). *Specification of Electric Motors.*

## **Aplicación de técnica de resumen extractiva para documentos legales**

### **Application of an extractive summarization technique for legal documents**

**Juan Ignacio Grosso, Facundo Montiel**

Lavaisse 610, Santa Fe, Facultad Regional Santa Fe, UTN  
jgrosso@frsf.utn.edu.ar, fmontiel@frsf.utn.edu.ar

#### **Resumen**

Potenciado por el crecimiento de Internet, la sociedad se ve inmersa en un contexto de grandes y valiosos volúmenes de información, la mayoría en formato texto, resultando fundamental disponer de herramientas que faciliten la extracción de conocimiento a partir de dicha información. El resumen de textos automático es un tópico de la inteligencia artificial muy explorado en los últimos años, debido a su capacidad de simplificar de manera eficiente el procesamiento de gran cantidad de información. Son diversas las áreas interesadas en desarrollar este tipo de soluciones, como la medicina o la computación. Sin embargo, el resumen de documentos legales implica una complejidad no analizada previamente, concretamente en cuanto a la generación de sumarios a partir de fallos judiciales. El objetivo de este trabajo es aplicar una técnica de resumen actualmente conocida para la obtención de sumarios de fallos judiciales.

#### **Palabras Clave**

Resumen automático de textos, inteligencia artificial, documentos legales, sumarios.

#### **Abstract**

Powered by the growth of the Internet, society is immersed in a context of large and valuable volumes of information, most of it in text format, making it essential to have tools that facilitate the extraction of knowledge from said information. Automatic text summarization is a topic of artificial intelligence that has been widely explored in recent years, due to its ability to efficiently simplify the processing of large amounts of information. There are several areas interested in developing this type of solution, such as medicine or computing. However, the summary of legal documents implies a complexity not previously analyzed, specifically in terms of the generation of summaries from court rulings. The objective of this work is to apply a currently known summary technique to obtain summaries of judicial decisions.

#### **Keywords**

Automatic text summarization, artificial intelligence, legal documents, summary

#### **Introducción**

Hoy en día uno de los recursos más importantes es la información. A lo largo del tiempo, especialmente en las últimas décadas, hemos aprendido a almacenarla y distribuirla. Gracias a Internet y al constante crecimiento de las tecnologías de la comunicación, una enorme cantidad

de información es digitalizada y almacenada a diario. Por lo tanto, se ha vuelto una tarea humanamente imposible analizar cada documento o texto.

En este contexto se evidencia la gran utilidad de herramientas que generan resúmenes automáticamente a partir de textos. Nos ayudan a discernir de manera más rápida si el documento en cuestión sirve a nuestras necesidades o intereses, o si no lo hace. Enfrentarse a esta temática, sin embargo, trae diversos problemas, partiendo desde la base de que no existe un único resumen correcto para un documento. Es por esto que surgen distintas metodologías y puntos de vista en las investigaciones.

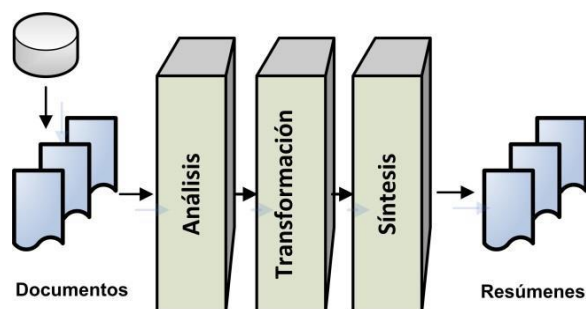
Las técnicas de resumen de textos varían ampliamente y se basan en la cantidad de documentos que se desean procesar, procesamiento individual o múltiple, o bien en la forma en que se realicen los resúmenes de los documentos, que pueden ser de naturaleza extractivas o abstractivas. Cuando hablamos de técnicas extractivas, nos referimos a la generación de un resumen a partir de la extracción de fragmentos de oraciones relevantes literales del texto original. En cambio, las técnicas abstractivas se basan en técnicas que explotan algún tipo de información lingüística del documento.

Un fallo judicial es el resultado oficial de una demanda en un tribunal. Un fallo completo es una sentencia íntegra, tal como fue emitida por el Tribunal y de la cual se extraen los sumarios de jurisprudencia, uno por cada unidad de información relevante tratada en ella. Asimismo, un sumario es una descripción resumida de las doctrinas contempladas en la sentencia judicial, dado que en ella pueden tratarse diversas cuestiones jurídicas.

En este trabajo se busca explorar y analizar una técnica extractiva de resumen automático de textos, con el objetivo de proponer una solución que sea acertada para textos de naturaleza judicial. Para esta tarea se cuenta con un conjunto de 200.000 fallos judiciales que son propiedad de una empresa y que están regulados bajo derechos de propiedad intelectual.

## Metodología

Para generar un resumen exitosamente, se deben reconocer y listar explícitamente las ideas o conceptos más importantes de todo el documento, buscando una longitud menor que el original.



**Figura 1. Arquitectura tradicional de un sistema de generación automática de resúmenes.**

La Figura 1 muestra en forma abreviada la arquitectura tradicional de un sistema de generación automática de resúmenes [1]. La entrada al proceso puede ser un solo documento, o una colección de ellos. Las tres fases del proceso implican analizar o interpretar el texto de entrada,



posiblemente limpiándolo y convirtiéndolo a una representación interna apropiada, transformarlo en una representación que lo resume, y generar la salida. Estas fases pueden emplear una o más de tres operaciones básicas de condensación del texto: la selección de la información más destacada o que no sea redundante, la agregación de información de diferentes partes de la fuente, y la generalización de información específica usando información más general.

En el caso de las técnicas extractivas, las cuales se han decidido analizar en este trabajo, se divide al texto original en fragmentos más pequeños, como párrafos, oraciones y tokens, seleccionándose los más importantes. Estos fragmentos elegidos no sufren ninguna modificación al ser trasladados al resumen generado.

En este trabajo la metodología consiste en dividir el proceso de generación automática de resúmenes en tres partes principales:

- Preprocesamiento: se prepara la entrada para su posterior procesamiento. Se limpian caracteres especiales, signos de puntuación, etc.
- Generación automática del resumen: en esta etapa se procede a ejecutar el algoritmo con el texto preprocesado como entrada, y se genera el resumen.
- Análisis y clasificación de los resultados: para establecer la efectividad del algoritmo utilizado y de los resultados obtenidos, se califican estos con diferentes métricas, cada una evaluando un aspecto distinto del resumen.

### **Preprocesamiento**

Para entender la importancia del preprocesamiento del texto, debemos comprender que la tarea de generar resúmenes automáticos de texto forma parte del procesamiento del lenguaje natural (Natural Language Processing, NLP). Esto implica considerar cuestiones propias no solo del lenguaje e idioma, sino también la naturaleza misma de los textos a procesar. En el caso de documentos legales identificamos el uso de puntuación y abreviaciones en una manera particular, lo cual hace más interesante el desafío de preprocesamiento, siendo que el idioma español por si solo implica dificultades.

Para lograr una limpieza de texto óptima utilizamos la librería de Python 're'<sup>1</sup>, que permite escribir expresiones regulares y reemplazarlas en el conjunto de datos. De esta forma fue posible considerar no solo la simbología utilizada que aporta ruido al texto, sino también las complejidades de documentos legales antes mencionadas.

### **Generación automática del resumen con PyTextRank**

El enfoque propuesto para generar resúmenes automáticos de textos consiste en el uso del algoritmo conocido como TextRank [2]. Dicho algoritmo es una adaptación del PageRank [3], pero para tareas de NLP. El mismo se clasifica como un algoritmo de ranking que, basado en un grafo y una matriz, busca obtener un resumen basado en las ideas más relevantes de un texto.

Consiste fundamentalmente en generar un grafo no dirigido, donde los vértices representan algún extracto de nuestro texto y las aristas determinan a través de alguna medida/peso la relación léxica o semántica entre los vértices. Contextualizando esto en este caso puntual, los

<sup>1</sup> <https://docs.python.org/3/library/re.html>

vértices serán oraciones pertenecientes al documento legal y las aristas determinarán a través de una variable 'peso' la relación léxica entre ellas.

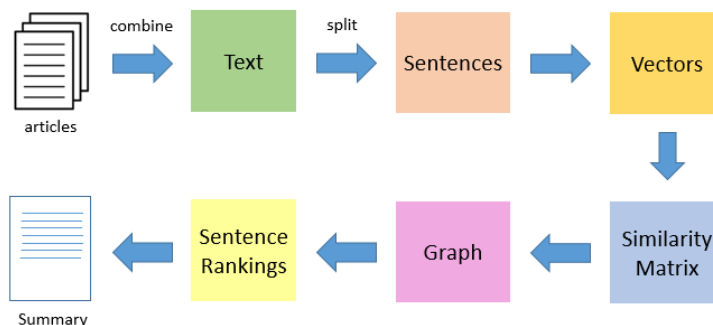


Figura 2. Flujo del algoritmo TextRank.

En la Figura 2 se muestra de forma simplificada la lógica que persigue TextRank. El primer paso para generar el resumen es identificar y dividir el texto en oraciones. Cabe resaltar que se divide en oraciones porque es lo que se considera óptimo para este caso de estudio, pero podría reducirse hasta a palabras. Luego convierte las oraciones y las palabras contenidas en ellas a vectores para así encontrar similitudes entre oraciones. Estos valores de similitud son colocados en una matriz de similitud.

Una vez que se tiene el texto vectorizado y la matriz de similitudes completa, se procede a generar el grafo mencionado al comienzo. La generación del grafo aporta cierto grado de semántica debido a que se busca respetar la estructura original del texto para establecer relaciones entre oraciones.

El último paso consiste en evaluar el grafo generado y extraer de él las oraciones más relevantes, para así generar el output, que es el resumen. Esta extracción se realiza a través de un ranking, donde se ordenan las oraciones en base al valor de similitud, siendo los valores más cercanos a 1 los más similares, identificándose así como las oraciones principales y más relevantes del texto.

Los resúmenes obtenidos en este trabajo se realizaron a través de pyTextRank<sup>2</sup>, que consiste en una implementación de TextRank en Python utilizable en los pipelines que ofrece la librería de Spacy<sup>3</sup>. El hecho de encontrar este algoritmo contenido en un pipeline de Spacy ofrece grandes ventajas, entre ellas el poder utilizar dicha librería para preprocesar y tokenizar el texto de una manera muy simple.

## Resultados

A continuación se muestran algunos ejemplos de los sumarios obtenidos con PyTextRank, utilizando como parámetros en esta generación un límite de 15 frases y 5 oraciones.

<sup>2</sup> <https://spacy.io/universe/project/spacy-pytextrank>

<sup>3</sup> <https://spacy.io/>

FALLO: 89

**Sumario Target:**

Dentro de lo prescrito en los art. 70 y 114, Ley 17418, constituye culpa grave del asegurado a los fines de la exclusión de la cobertura la circunstancia de que condujera su automotor en estado de ebriedad.

**Sumario Generado:**

Gladys S. Álvarez, Hernán Daray y Miguel A. Vilar, a fin de pronunciarse en los autos BABIEZ, Rodolfo Alberto y otros c PEREZ, Hugo Esteban s daños y perjuicios, el Dr. Daray dijo: La parte actora recurre el pronunciamiento de la anterior instancia por cuanto en él se admite la excepción de falta de legitimación interpuesta por la citada en garantía, por culpa grave del asegurado y falta de pago de la prima.

Fdo.:Hernán Daray, Miguel A. Vilar y Mario J. Isola (Secretario).

70 y 114 de la ley 17.418, Constituye culpa grave del asegurado a los fines de la exclusión de la cobertura la circunstancia de que condujera su automotor en estado de ebriedad.

El Dr. Vilar adhiera por análogas consideraciones al voto del Dr. Daray.

Fdo.:Hernán Daray y Miguel A. Vilar.

Fallo: 89

**Sumario Target:**

Los supuestos regulados en los párrs. 2 y 3, art. 212, LCT, no excluyen la obligación de preavisar, esto así debido a que la persona conserva un grado de capacidad de trabajo que le permite aspirar a un nuevo empleo. Sólo en la hipótesis del párr. 4, art. 212, LCT, no rige tal obligación.

**Sumario Generado:**

En la ciudad de Buenos Aires, a los 8 días del mes de febrero de 2001, se reúnen en acuerdo los jueces de la Sala VIII de la Cámara Nacional de Apelaciones del Trabajo para dictar sentencia en la causa del epígrafe, y de acuerdo con el resultado del sorteo realizado, proceden a votar en el siguiente orden: EL DOCTOR JUAN CARLOS E. MORANDO DIJO: I. La sentencia de primera instancia hizo lugar en lo principal a la demanda por cobro de las indemnizaciones por despido y viene apelada por la parte demandada.

En la especie, no probada la imposibilidad del empleador de ocuparlo, el despido carece de justa causa y dicha obligación rige como en los casos de despido ad nutum.

Los de los párrafos segundo y tercero no excluyen la obligación de preavisar, conceptual y prácticamente adecuada a situaciones en las que el trabajador conserva un grado de capacidad de trabajo que le permite aspirar a un nuevo empleo.

212, segundo párrafo, L. C. T. y la obligaría a pagar la indemnización por despido prevista por el art.

Más aún, la prueba pericial indica que el puesto que el actor desempeñó durante varios años, dentro de las oficinas ubicadas en la cabecera, no fue cubierto, lo que sugiere que, al tiempo del despido, permanecería vacante.

Figura 3. Resultados obtenidos con pyTextRank.

Como se puede observar en los ejemplos, los resultados obtenidos muestran el gran potencial de la técnica de resumen propuesta. En la mayoría de los casos se puede identificar que gran parte del resumen deseado está contenido en la salida del algoritmo, ya sea en el orden escrito (Texto de la izquierda de la figura X) en el deseado, o no (texto de la derecha de la citada imagen). Sin embargo, también es posible observar que una parte del resumen obtenido por el algoritmo no está presente en el resumen buscado.

## Conclusiones

Los resultados obtenidos en este trabajo permiten identificar que los métodos extractivos, en especial el seleccionado, tienen alto grado de efectividad para este tipo de documento legales. El contenido del resumen esperado para el documento legal está presente en la mayoría de los resúmenes obtenidos. Sin embargo, se obtiene información que no es considerada por los expertos del dominio para resumir.

Independientemente de no contar por el momento con una métrica formal para definir la precisión del resumen obtenido, un primer análisis de los resultados evidencia que es una técnica prometedora y que deja caminos abiertos para continuar con la investigación.

Como trabajo futuro se plantea estudiar métricas utilizadas en la literatura para evaluar un parecido al resumen deseado es el resumen generado. Esto aportará a determinar la precisión de la técnica explorada. En caso de no encontrar métrica acorde al tipo de documentos analizados, se espera desarrollar una que considere las observaciones realizadas.

## Referencias

- [1] Alejandra Carolina Cardoso y M. Alicia Pérez Abelleira (2014) - Generación automática de resúmenes. <http://conaiisi.unsl.edu.ar/2013/11-495-1-DR.pdf>
- [2] Rada Mihalcea y Paul Tarau (2004) - TextRank: Bringing Order into Texts. <https://aclanthology.org/W04-3252.pdf>
- [3] Larry Page, Sergey Brin, R. Motwani, T. Winograd (1999) - The PageRank Citation Ranking: Bringing Order to the Web. <http://ilpubs.stanford.edu:8090/422/1/1999-66.pdf>

## Implementación Didáctica de una Simulación, bajo un Motor de Juegos, para el Laboratorio en Química de la FRSF, UTN

### A Didactic Implementation of a Simulation, Through a Game Engine for the General Chemistry Laboratory of the FRSF, UTN



Tomás Assenza\*, José Maximiliano Schiappa Pietra, Carlos Córdoba y Domingo Liprandi

Dpto. de Química General, Facultad Regional Santa Fe,

Universidad Tecnológica Nacional

tassenza@frsf.utn.edu.ar, maxipietra@hotmail.com, ing.cba.carlos@gmail.com,  
dalr2008@gmail.com

#### Resumen

Las tecnologías hoy son transversales a todas las áreas del trabajo y la educación existente en nuestra sociedad, por esto las ciencias de computación buscan innovar, mejorar y automatizar procesos que se realizaban de forma manual. Es habitual en la enseñanza hacer uso de las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) para la representación de escenarios físicos, formando entornos prácticos que permitan no sólo desenvolverse en una actividad programada, sino también interpretar problemáticas en los procedimientos de las mismas. En marco de la actual situación de pandemia, y con la restricción al uso del espacio físico de dichos laboratorios a los estudiantes, el trabajo presentado proyecta la automatización de una enseñanza práctica en un laboratorio de química. Para esto fue diseñado un simulador bajo el motor de juegos "Construct 2", implementando la guía de laboratorio usada por los docentes de la cátedra durante la presencialidad.

#### Palabras clave

Construct 2, Motor de Juegos, Química, Simulador.

#### Abstract

Technologies are transversal to all the work and education areas existing in society; therefore, the computer sciences search to innovate, improve and automatize processes that were done manually. It is usual in teaching to use the Information and Communication Technologies (ICT) to represent physical scenarios forming spaces that allow not only to get along in a programmed activity but to interpret problematics in their procedures. In the context of the actual pandemic situation, and with the restrictions of the use of the physical space for the students, this presented work projects the automatization of the practical teaching in a chemistry laboratory. To achieve this, a simulator was designed using the game engine "Construct 2" implementing the laboratory guidebooks used by the teachers of the subject during the face-to-face teaching.

#### Keywords

Construct 2, Game Engines, Chemistry, Simulator.

#### Introducción

Parte de la acreditación de la materia Química General, para las distintas carreras de ingeniería en la Facultad Regional Santa Fe (FRSF) de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN), consiste en desarrollar habilidades propias dentro de un laboratorio en química. Estas actividades, les permiten a los estudiantes realizar diversas experiencias formuladas en una guía de Trabajos Prácticos (TP). El objetivo general que se plantea en todos los TP es que los alumnos puedan comprender

contenidos básicos de la materia, aplicarlos a su vida cotidiana, e integrar lo aprendido a su futura área laboral en el campo de la ingeniería.

Durante la pandemia del COVID-19 la aplicación de este recurso de manera presencial fue imposible debido a las conocidas restricciones. Es por ello que algunos docentes y becarios del actual proyecto de investigación (PID), adaptaron estas actividades prácticas al Campus Virtual (Moodle) de la universidad, pudiendo llevar sus clases (teórico-prácticas) a los alumnos a través de videoconferencias en línea (Microsoft Teams).

El uso de las tecnologías de la información y comunicación (TIC) tuvo un claro incremento durante el 2020 y 2021, pero no es la primera vez que se utiliza para la enseñanza de las ciencias básicas; un ejemplo de ello es el PhET (Physics Education Technology), un conjunto de software de simulación en línea que permite realizar distintas experiencias de ciencias exactas desde 2002 desarrollada en la Universidad de Colorado. Un motor de juegos es un software de creación de videojuegos que permite utilizar funciones previamente establecidas de renderizado en 2D o 3D, motores físicos y de colisiones, sonido o automatización de procesos. La creación de juegos con este tipo de herramientas se facilita ya que el motor realiza la mayoría de las tareas avanzadas y las tareas del encargado de desarrollo del videojuego pasa a relacionarse con los elementos con los que el usuario tiene interacción, permitiendo al desarrollador trabajar en alto nivel, y dejando al motor realizar el trabajo más pesado [2]. Por esto es normal que las industrias que se dedican a esta área los generen y usen de forma profesional, siendo algunos ejemplos Unreal Engine (Epic Games), Unity (Unity Technologies) o CryEngine (Crytek) [3].

Las distintas experiencias con estos simuladores demostraron que una combinación en un contexto determinado con interacción y animaciones proveen un buen entorno de aprendizaje [1], permitiendo una experiencia asincrónica al alumno, quién puede experimentar inclusive más de lo que se enseña de manera sincrónica.

Entendiendo que el software debe adaptarse a la situación, y no de manera contraria, se presenta esta opción que recurre a las TIC para generar simuladores de trabajos prácticos mediante un motor de juegos que proporciona todas las herramientas gráficas y de modelado necesarias para simular una experiencia realizada anteriormente en presencialidad.

## **Desarrollo**

Con la idea de generar un simulador para cada trabajo práctico, y que estos estuvieran disponibles en un contexto de virtualidad, se requirió crear un software que permita a 219 estudiantes participantes e ingresantes del 2021 de las distintas ingenierías de la FRSF, experimentar el trabajo propio de un laboratorio en química. Teniendo en cuenta esto, se desarrolló la simulación de la primera actividad de la guía de trabajos prácticos, "Densidad de Sólidos", utilizando el Construct 2 como motor de simulación, para generar una herramienta web con HTML5 y Javascript como lenguajes predominantes.

En dicha labor, el simulador otorga una serie de materiales y herramientas de trabajo (Tabla 1), así como un procedimiento paso a paso que el alumno puede efectuar en todo momento, concretando lo estudiado anteriormente.

Elementos proporcionados	
Herramientas	Sustancias
Balanza	Bloque de aluminio
Calibre	Bloque de cobre
Probeta	Plomada
Propipeta	Tornillo
Pipeta	Vaso de agua

Tabla 1. Elementos proporcionados al estudiante en el simulador.

El trabajo requirió de un contar con un conjunto de imágenes y animaciones, tomadas por el equipo de alumnos becarios que, mediante el software de Adobe After Effects, diseñaron un conjunto de diferentes videos realizados con bajo la colección de herramientas libre “FFmpeg” (Tabla2).

Herramientas utilizadas	
Proceso de producción	Construct 2, Adobe After Effects, FFmpeg, Gitlab
Proceso de despliegue y post despliegue	Moodle, Microsoft Teams

Tabla 2. Herramientas utilizadas en el desarrollo del simulador.

Mediante el sistema de animaciones proporcionado por Construct 2, se generó una serie de respuestas a acciones que el usuario puede realizar y representan gráficamente los pasos procedimentales planteados para este TP, pudiendo ver así el trabajo a efectuarse mediante animaciones y simulaciones de distintos eventos (Figura 1).

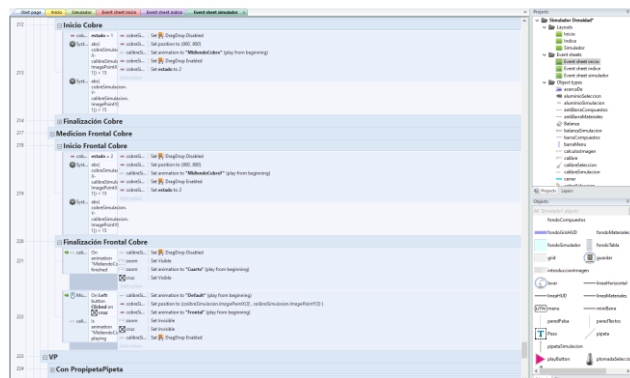


Figura 1 – Esquema de labor en la programación.

De forma general, el simulador tiene un HUD (Head-Up Display, representa al contorno que forma parte constantemente de la simulación) formado por una barra de selección de “Materiales” y “Sustancias”, un botón de menú “UTN” que permite ver los apartados de “Introducción”, “Procedimiento”, “Cálculos y Tablas” y “Acerca de”, los cuales antes eran proporcionados físicamente en la guía de laboratorio. También forman parte del HUD, las funciones “Lavar” y “Guardar” de la parte superior derecha, y la tabla en la parte central derecha que permite la libre edición del usuario (para que el alumno detalle los resultados obtenidos).

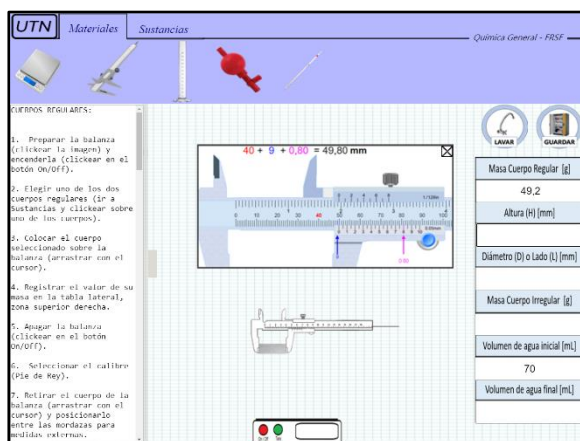


Figura 2 - Medición con calibre



Figura 3 - Medición de volumen

En la Figura 2 se muestra el proceso de medición de un elemento con el calibre representando, a través de una animación, como las mordazas encierran al bloque de aluminio elegido y lo miden, para que luego en un cuadro de diálogo, el alumno registre el valor obtenido. En la Figura 3, al elegir una de las herramientas ofrecidas, se visualiza un video preparado por el docente de la cátedra para que el alumno evidencie como se realiza el procedimiento de manejo de una propipeta en el laboratorio.

El software de simulación requiere de un entorno donde pueda ser ejecutado por el alumno, en el período que el profesor considere correspondiente. Aprovechando el servidor de la FRSF, junto a la programación Moodle, y utilizando la creación de un espacio áulico virtual de química para la ejecución del simulador dentro del Campus Virtual, los alumnos de cada una de las ingenierías, en su horario de laboratorio estipulado, pudieron acceder a la realización de dicho práctico de forma virtual, siendo guiados por cada docente a través de una videoconferencia en vivo con uso del programa Microsoft Teams.

Finalmente, se planteó un procedimiento post despliegue destinado a contar con una retroalimentación (feedback) y sugerencias de parte del alumno, mediante encuestas anónimas que permitieron saber el grado de satisfacción del usuario con respecto a la simulación, y responder preguntas sobre fallas y aciertos de la misma. Se definió entonces, un cálculo de grado de satisfacción según encuestas, y las herramientas a utilizar durante el proceso de creación del simulador:

$$\text{Satisfacción en Carrera} = \frac{(25 * D + 50 * B + 75 * Mb + 100 * E)}{\text{Cantidad total de alumnos}}$$

siendo:

- Satisfacción en Carrera: el porcentaje de satisfacción de los alumnos con respecto a la pregunta realizada.
- D: cantidad de alumnos que respondieron "Deficiente".
- B: cantidad de alumnos que respondieron "Bueno".

- Mb: cantidad de alumnos que respondieron "Muy Bueno".
- E: cantidad de alumnos que respondieron "Excelente".
- Cant. Alumnos: cantidad total de alumnos en la carrera.

De dicha encuesta, realizada con valores cualitativos ordinales referidos al grado de satisfacción con respecto a la comodidad (Figura 4) y el logro de objetivos (Figura 5), para los 219 estudiantes, se obtuvieron los siguientes resultados:

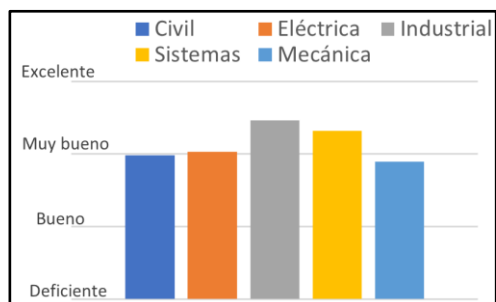


Figura 4. Grado de satisfacción con respecto a comodidad.

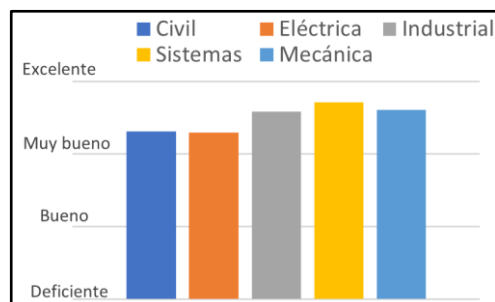


Figura 5. Grado de satisfacción con respecto a logro de objetivos.

## Conclusiones

Las estadísticas tomadas de las encuestas demuestran que la creación de un simulador para un trabajo práctico en un laboratorio químico, benefició la concreción de los objetivos del mismo, con un grado de respuesta cercano entre las distintas carreras.

La retroalimentación de las respuestas fue de mucha utilidad para entender que la mayoría de los problemas de los alumnos no son con respecto a las funciones del simulador o su dificultad de interacción, sino con el rendimiento del servidor que lo aloja, o con el rendimiento de la herramienta (PC, notebook, tablet, etc.) con la que lo ejecuta.

Finalmente, se concluye que la simulación generada se adaptó sin problemas a la labor del trabajo práctico, planteándose a futuro la realización de otras simulaciones (para los restantes trabajos prácticos que dicta la cátedra), como una alternativa digital para la asignatura, rescatando las mejoras en cuanto al rendimiento y amigabilidad que ofrece dicha herramienta, y buscando realizar mejoras puntuales que puedan ayudar a la cátedra a mejorar la calidad educativa de manera virtual en las clases.

## Referencias

- [1] Adams, W. K, Reid S., LeMaster R., McKagan S. B., Perkins K. K., Dubson M. y Wieman C. E. (2008). "A Study of Educational Simulations – Part I – Engagement and Learning", *Journal of Interactive Learning Research*.
- [2] Henrik, E. (2020). "Game Development Research". Skövde: Universidad de Skövde.
- [3] Vasudevamurt V.B. y Uskov A. (2015). "Serious Game Engines: Analysis and Applications"., Actas del IEEE International Conference on Electro/Information Technology Dekalb, IL, Estados Unidos, 21 al 23 de mayo.



## Metodología para el dimensionamiento de módulos de generación distribuida renovable a ingresar en redes de distribución en 33 kV

### Methodology for sizing renewable distributed generation modules to enter distribution networks in 33 kV

**Agustín Solari**

Centro de Investigación y Desarrollo en Ingeniería Eléctrica y Sistemas Energéticos (CIESE)  
(Lavaise 610, Santa Fe), Facultad Regional Santa Fe, UTN  
[agustinsolari17@gmail.com](mailto:agustinsolari17@gmail.com)

Este trabajo ha sido realizado bajo la dirección del Ing. Marcos Matías Cea, en el marco del proyecto “Desarrollo de técnicas de gestión de la demanda y programación estacional del parque generador para su aplicación en el concepto de una nueva matriz energética nacional basada en el desplazamiento del consumo de gas residencial por energía eléctrica” (2020 – 2022), código ENUTNFE0007851, dirigido por el Ing. Ulises Manassero

**Resumen:** En la actualidad, aproximadamente un 10% de la potencia total instalada en Argentina es de carácter renovable y la demanda que se satisface, de acuerdo con la Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico S.A., se ha ido incrementado a lo largo de los años, alcanzando promedios anuales del 10,1% en el año 2020.

Ante la problemática de cuantificar el impacto que genera sobre la red el ingreso de este tipo de generación, en el presente trabajo se busca plantear una metodología que ayude a determinar cuán beneficioso es para el sistema eléctrico su puesta en servicio. Mediante la implementación de indicadores técnicos se busca obtener un conjunto óptimo de proyectos de generación renovable gestionables y no gestionables, factibles de ingresar en alimentadores de 33 kV, tal que verifiquen condiciones de operación normales en los corredores de 132 kV “Salto Grande-Los Conquistadores” y “Gran Paraná-El Pingo” de la provincia de Entre Ríos.

**Palabras claves:** Generación Distribuida, Fuentes Renovables, Indicadores Técnicos.

**Abstract:** At present, approximately 10% of the total installed power in Argentina is renewable and the demand that is satisfied, according to the Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico SA, has been increasing over the years, reaching annual averages of 10.1% in 2020.

Faced with the problem of quantifying the impact that the income of this type of generation generates on the network, this work seeks to propose a methodology that helps to determine how beneficial its commissioning is for the electrical system. Through the implementation of technical indicators, it is sought to obtain an optimal set of manageable and non-manageable renewable generation projects, feasible to enter 33 kV feeders, such that they verify normal operating conditions in the 132 kV corridors “Salto Grande- Los Conquistadores” and “Gran Paraná-El Pingo” of the province of Entre Ríos.

**Key words:** Distributed Generation, Renewable Sources, Technical Indicators.

### Introducción

La generación de energía eléctrica mediante Energías Renovables (ER) registra un gran incremento en los últimos años, sin embargo, no lo suficiente para acaparar el aumento de la demanda, generando a su vez un crecimiento en la generación convencional (GC). Como

consecuencia, se observa un incremento en las emisiones de CO<sub>2</sub> que afectan al medio ambiente, las cuales representan un 38% del total de las emisiones de CO<sub>2</sub> de los últimos años (IEA, 2019).

En la actualidad, aproximadamente un 10% de la potencia total instalada en Argentina es de carácter renovable (eólica, fotovoltaica, aprovechamientos hidráulicos <50 [MW] y biogás) y la demanda que se satisface con este tipo de tecnología, de acuerdo con CAMMESA, se ha ido incrementado a lo largo de los años, alcanzando promedios anuales del 10,1% en el 2020 llegando a valores aproximados del 12,2% a julio del año 2021 (CAMMESA; 2020).

Dentro de este contexto, se presenta un escenario en el cual hay una escasa participación de GR en la región del Litoral, en comparación con las demás regiones del SADI; si bien se han adjudicado 58 proyectos de bioenergía con una potencia de 236 [MW], en la provincia de Entre Ríos no existe ningún tipo de proyecto. Por lo tanto, es menester investigar la posibilidad de inserción de GR, ya que esta provincia cuenta con un gran potencial.

En este trabajo, se plantean por objetivos, estudiar el impacto técnico de la inserción de potenciales proyectos de Generación Distribuida Renovable (GDR) en la red de subtransmisión de 33 [kV] de la zona noroeste de la Provincia de Entre Ríos, estableciendo a su vez una metodología para el análisis de acceso de GDR en cualquier punto del sistema eléctrico, con el fin de obtener el conjunto óptimo de proyectos de GDR factibles de integrar a la red, tal que verifiquen condiciones de operación normales en las redes de 33 [kV] y 132 [kV] de la zona eléctrica de influencia del proyecto, indicando la proporción de cada tipo de tecnología y el módulo de potencia admisible.

### Descripción de la red de estudio

Los estudios de inserción de GDR se desarrollan sobre la región noroeste de la provincia de Entre Ríos, precisamente sobre las redes de subtransmisión de 33 [kV], abastecidas por los corredores de 132 [kV] “Salto Grande-Los Conquistadores” y “Gran Paraná-El Pingo” pertenecientes a la Empresa de Energía de Entre Ríos S.A. (ENERSA). Para dichos estudios, se consideran dos tipos de centrales: Centrales Térmicas de Biogás (CTB) y Parques Fotovoltaicos (PFV).

Para modelar el subsistema bajo análisis se utiliza el software de simulación de sistemas eléctricos de potencia PSS/E en su versión universitaria 34.0. En el modelado y posteriores simulaciones de flujos de potencia, se consideran los niveles de calidad del producto técnico exigidos por el Ente Provincial Regulador de la Energía de Entre Ríos en el Anexo VI del Contrato de Concesión y los criterios establecidos en Los Procedimientos (CAMMESA, 2014 & 2017).

El Sistema Interconectado Provincial (SIP) de la región de estudio (ver Figura 1) consta de una red de transmisión en 132 [kV] conformado por cuatro Estaciones Transformadoras (ETs) de 132/33/13,2 [kV]. Cada una de ellas posee dos transformadores con potencias instaladas que oscilan en el rango de 30 a 60 [MVA].

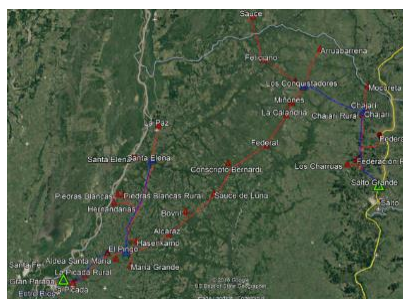


Figura 1. Imagen Satelital de Zona de Estudio – (Azul 132 kV – Rojo 33 kV)

### Determinación de módulos de potencia de CTB

El potencial teórico de las CTB se estima en relación con la producción de biogás posible de generar mediante los desechos de las actividades agrícolas-ganaderas de la región,

destacándose en el sector ganadero la producción bovina, porcina, ovina y la avicultura; mientras que, en el sector agrícola, sobresale la producción de oleaginosas. A la hora de estimar la producción de biogás, se consideran solamente los sustratos relacionados a la ganadería y avicultura y los Residuos Sólidos Urbanos (RSU). En el sector ganadero únicamente se tienen en cuenta los sectores bovino y porcino, ya que los desechos pueden ser encontrados en un mismo recinto, facilitando así su recolección. En la Figura 2 se indica la metodología para la obtención de potencia de las CTB, independientemente del tipo de sustrato.

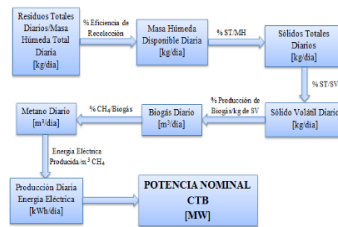


Figura 2. Metodología para la Obtención de Potenciales CTB

### Determinación de módulos de potencia admisibles para PFV

Las potencias máximas de los distintos módulos de PFV admisibles por los nodos del subsistema se determinan a través de simulaciones en régimen estático, para lo cual se verifica que no ocasionen condiciones inadmisibles de operación, tanto en régimen estacionario como transitorio. Las condiciones que delimitan la potencia de los PFV se determinan en función de lo establecido en el Anexo J de los Procedimientos de CAMMESA (CAMMESA; 2017).

### Determinación de la potencia máxima admisible de GDR factible de instalar en el SIP

Una vez estimado el potencial teórico de las CTB y los PFV, se plantean dos escenarios de demanda, uno para el período estival y otro para el período de invierno. Mediante simulaciones de flujos de potencia en condiciones normales y ante emergencias de la red, se evalúa el impacto de la GDR sobre diferentes nodos del SIP con el objeto de determinar la potencia máxima admisible por cada uno de ellos, cumpliendo con criterios técnicos y de operación. En la Figura 3 se presenta el flujograma de actividades para la obtención de los módulos de potencia de GDR admisibles por nodo de 33 [kV].

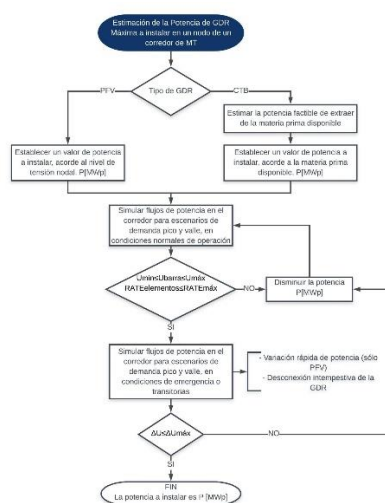


Figura 3. Diagrama de Flujo para el Cálculo de la Potencia Máxima de GDR a Instalar en 33 [kV].

## Resultados de potencias nominales de CTB determinados por tipo de sustrato

Los valores de potencia que es factible que generen las potenciales CTB en base a los distintos sustratos factibles de producir biogás -RSU, desperdicios ganaderos y avícolas-, se resumen en la Tabla 1, discriminados por tipo de fuente de biogás y por departamento de la provincia.

Tabla 1. Potencia nominal de CTB por departamento y por tipo de sustrato

Departamento	Potencia Nominal CTB por Departamento				
	Aporte de potencia de cada sustrato [MW]				
	RSU	Bovino	Avícola	Porcino	Total
Federación	0,27	0,92	0,32	-	1,51
Federal	-	1,50	0,02	0,09	1,62
Feliciano	-	0,84	-	0,03	0,87
La Paz	0,13	1,38	0,17	0,58	2,25
Paraná	0,16	0,95	2,35	2,30	5,77

Se desestima el aporte de RSU a la potencia estimada para cada CTB, debido a que la potencia extraída por nodo es insignificante en comparación a la disponible de los sustratos animales.

## Resultados de módulo de potencia máxima admisible de CTB por nodo de 33 kV

En la Figura 4 se agrupan los módulos de CTB que son factibles de ingresar al SIP, discriminados por barra de 33 [kV] donde se conectan. Se destaca que, a la hora de realizar las simulaciones para determinar las CTB factibles de ingresar, se evalúan aquellos nodos con mayor déficit de reactivo, de acuerdo con la potencia disponible por ET y por departamento, verificándose las exigencias de calidad del producto técnico.

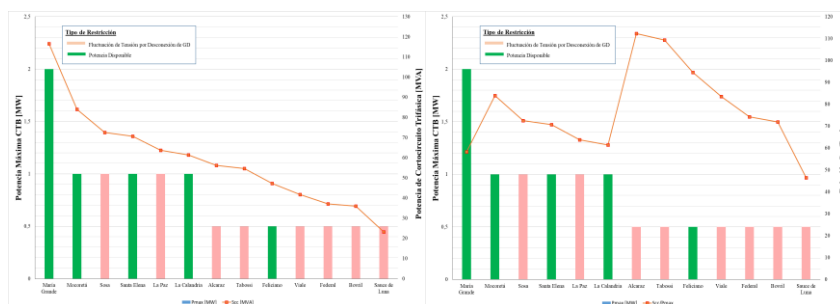


Figura 4. Comparación de Módulos de Potencias Máximas de CTB.

Del análisis de los distintos alimentadores, se determina que es posible incorporar 13 CTB a la red. Se observa en la Figura 4 que las restricciones que limitan los módulos de potencia de las CTB se deben, por un lado, a fluctuaciones de tensión ocasionadas en la red por la desconexión intempestiva de la CTB (columnas rosadas), y, por otro lado, a la materia prima disponible. Los primeros módulos de potencia admitidos son de 0,5 [MW], siendo la relación  $S_{cc}/P_{m\acute{a}x}$  aproximadamente igual a 80, dado que los nodos analizados son aquellos cuya potencia de cortocircuito ( $S_{cc}$ ) promedio es de 50 [MVA], considerados como nodos débiles. Puede inferirse que, a medida que la CTB se aproxima a la fuente de alimentación, los módulos de potencia admitidos son mayores, pudiendo determinarse que para  $S_{cc}$  en el rango de 50 a 100 [MVA] se permiten potencias de 1 a 2 [MW] (columnas verdes de Figura 4).

## Módulos de potencia máxima admisible de PFV por Nodo de 33 kV

En la Figura 5, se resumen los resultados de las simulaciones de flujos de carga, donde se demuestra que el rango de módulos de potencia admisible de PFV en los 34 nodos de 33 [kV] estudiados, se encuentran entre 0,5 y 23 [MW]. Los factores técnicos principales que restringen la potencia máxima de acceso individual se deben a la topología de la red y la  $S_{cc}$  en el punto de interconexión.

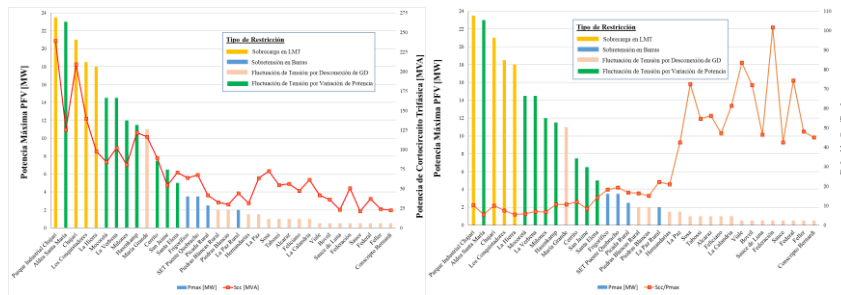


Figura 5. Comparación de Módulos de Potencias de PFV Admisibles

En la Figura 6, se observa que, de los 34 nodos estudiados, el 53% presenta restricciones en sus módulos de potencia por variación de tensión por desconexión intempestiva de la GDR (sector rosado), el 25% por variación de tensión originada por la variación rápida de potencia generada (sector verde), y el 24% restante tienen restringida su potencia por sobrecarga de componentes de la red (sector amarillo - 12%) y por sobretensión de los nodos (sector azul - 12%).

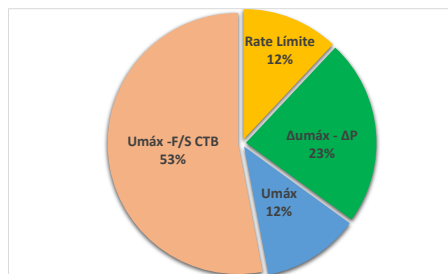


Figura 6. Distribución de los Factores Técnicos Limitantes de los Módulos de Potencia de PFV

## Conclusión

La metodología propuesta para analizar la inserción en redes de 33 [kV] de un conjunto de proyectos de GDR de tipo gestionable (CTB), y no gestionables (PFV), permite en primera instancia evaluar la capacidad de generación en provincias cuya principal actividad económica es del tipo agroindustrial como la provincia de Entre Ríos, en donde no se presentan actualmente proyectos de GR.

Por otro lado, se destaca que al presentarse una red débil y con problemas para el control de tensión, la inserción de GDR con módulos de potencia en el rango de 0,5 a 3 [MW] resultan prioritarios, principalmente por su gran impacto en el aumento de los niveles de tensión de la red de 33 [kV] al que se vinculan, además de que permiten retrasar obras de infraestructura - tendido de LMT y/o ampliación de subestaciones- lo que acarrea mayores costos y plazos de ejecución.

## Referencias

- International Energy Agency [IEA]. (2019). Global Energy & CO2 Status Report. The Latest Trends in Energy and Emissions in 2018.
- Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico S.A. [CAMMESA]. (2017). Anexo J del Procedimientos Técnico N°4: Generación Fotovoltaica – Requisitos de Conexión.
- Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico S.A. [CAMMESA]. (2020). Informe Mensual Principales Variables. Noviembre de 2020. Disponible en <<https://portalweb.cammesa.com/MEMNet1/Informe%20Mensual/Informe%20Mensual.pdf>>
- Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico S.A. [CAMMESA]. (2014). Procedimiento técnico N° 4: Ingreso de nuevos grandes usuarios mayores, distribuidores, generadores, autogeneradores y cogeneradores al MEM. Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

## Implementación de Procesos de Negocio Colaborativos usando el Framework de Blockchain Hyperledger Fabric



### Implementation of Collaborative Business Processes by using Hyperledger Fabric Blockchain Framework

Juan Wiggenhauser

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Santa Fe

[jgwiggenhauser@gmail.com](mailto:jgwiggenhauser@gmail.com)

**Resumen:** con el desarrollo de nuevas tecnologías que garantizan integridad y privacidad de la información y una gestión descentralizada, tales como Blockchain, resulta útil su utilización para ejecutar Procesos de Negocio Colaborativos (CBPs). Para lograr el diseño de una red Blockchain que ejecute CBPs, en este trabajo se propone el uso del framework y plataforma HyperLedger Fabric. La propuesta describe cómo usar los elementos de HyperLedger Fabric para definir la red colaborativa como así también la estructura de la información, para ejecutar y monitorear los procesos y gestionar la información compartida entre las partes. Con esta propuesta se satisfacen requerimientos a cumplir en la ejecución de procesos colaborativos: privacidad, autonomía, mecanismos de confianzas, participantes conocidos entre sí, y descentralización.

**Palabras Clave:** blockchain, procesos de negocio colaborativos, smart contract

#### Abstract:

With the development of new technologies that guarantee integrity and privacy of information and decentralized management, such as Blockchain, its use is useful to execute Collaborative Business Processes (CBPs). To achieve the design of a Blockchain network that executes CBPs, in this work it is proposed to make use of the HyperLedger Fabric framework and platform. The proposal describes how to use the elements of HyperLedger Fabric to define the collaborative network as well as the structure of the information, to execute and monitor the processes and manage the information shared between the parties. With this proposal, requirements to be met in the execution of collaborative processes are fulfilled: privacy, autonomy, trust mechanisms, known participants, and decentralization.

**Keywords:** blockchain, collaborative business processes, smart contract

#### Introducción

En la actualidad, las organizaciones se ven en la necesidad de establecer relaciones de cooperación, integridad y colaboración resultando en nuevas redes colaborativas, donde dichas redes deben ser capaces de mantener la integridad y privacidad de la información, a su vez funcionando de manera descentralizada (Grefen et al., 2018). Esto representa un desafío para que estas organizaciones

puedan lograr sus metas de negocio en común. Por lo tanto, es necesario adoptar el uso de tecnologías que permitan una comunicación fluida, confiable y privada para conseguir estos fines interorganizacionales. Una tecnología que cumple con dichos requerimientos es Blockchain (Cadena de Bloques) (Swan, 2015). Aunque dicha tecnología está más explotada en el dominio de criptomonedas en donde las partes que intervienen son desconocidas entre sí, las plataformas que han sido utilizadas para ese dominio no son apropiadas para ejecutar procesos colaborativos en donde los datos sólo son intercambiados y compartidos entre entidades conocidas entre sí y las transacciones requieren tiempo de ejecución rápidos.

Este trabajo propone el diseño de una de red blockchain basada en Hyperledger Fabric para representar una red colaborativa de organizaciones, sobre la cual se ejecutarán procesos colaborativos a través de transacciones en la red blockchain.

### Definición de una Red Colaborativa basada en Hyperledger Fabric

Para poder definir una red colaborativa blockchain basada en Hyperledger Fabric, se deben definir diferentes elementos. A continuación, se describen los mismos junto con un ejemplo. Primero se definen las organizaciones participantes. En el ejemplo (Figura 1), se definen tres organizaciones a las que se las denomina **R0**, **R1**, y **R2**. Luego se requiere definir una Autoridad de Certificación (CA - Certification Authority) para cada una de las organizaciones. Por ejemplo se definen **CA0**, **CA1**, y **CA2** para cada organización respectivamente. Para la correcta utilización de la red, se requiere que una de estas organizaciones sea la encargada de administrar el Ordering Service. Éste es un servicio propio de Hyperledger formado por uno o más nodos Orderer (nodos específicos de este servicio), y es el encargado de ordenar las transacciones dentro de los bloques de la blockchain y de replicar esta información a los demás nodos de la red. Para este ejemplo, el encargado de administrar el nodo Orderer **O** es la organización **R0**. Para lograr la participación de las demás organizaciones en la red, es necesario la definición de nodos pares (Peer nodes) para cada una de ellas. Un nodo peer es un nodo encargado de guardar una copia local del **Ledger** y es el encargado de invocar **Smart Contracts** de parte de la organización que lo administra. Se definen entonces dos nodos peer, para las organizaciones **R1** y **R2**, los cuales se denominan como **P1** para la organización **R1** y **P2** para la organización **R2**.

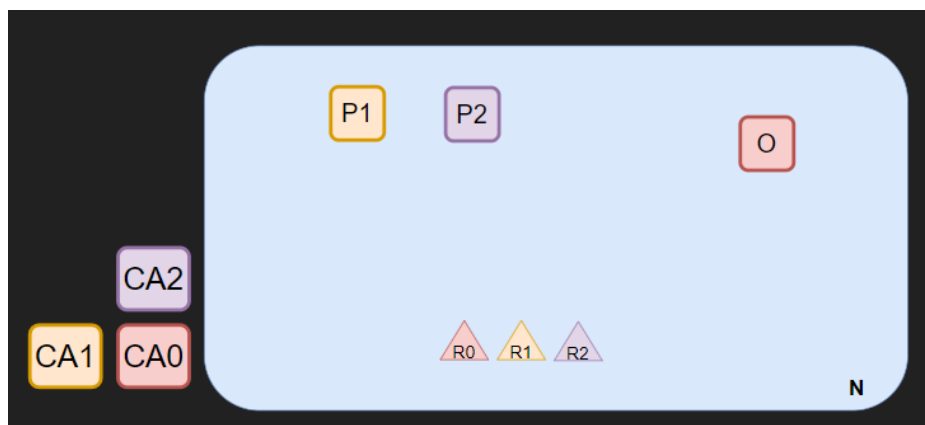


Figura 1 – Nodos y Organizaciones con sus CA's

Finalmente, para lograr la comunicación entre las organizaciones y la posibilidad de compartir información a través de la ejecución de transacciones, se requiere la creación de un canal. En Hyperledger, un canal permite la privacidad y el uso de datos compartidos entre las organizaciones miembro del canal. Este canal, a su vez, implica la creación de una estructura lógica de datos accesible por las organizaciones que conforman el canal, denominada **Ledger**. En el ejemplo (Figura 2) se define el ledger **L1** para el canal creado. Un **Ledger** está compuesto por dos componentes principales (Figura 3), la cadena de bloques y una base de datos denominada **World State**. Esta base de datos esta determinada por la cadena bloques almacenada en el **Ledger**, en otras palabras, el **World State** refleja el estado actual del **Ledger** teniendo en cuenta todas las transacciones y bloques agregados a la cadena hasta el momento.

Un canal requiere una configuración la cual es administrada en conjunto por las organizaciones miembro del canal. Esta configuración determina algunos aspectos tales como la unión de nuevas organizaciones al canal y políticas de aprobación de Smart Contracts. Cabe destacar que el Ordering Service también es miembro del canal, ya que debe poder recibir las transacciones generadas por la ejecución de los Smart Contracts y determinar su orden dentro de un bloque a agregar a la cadena.

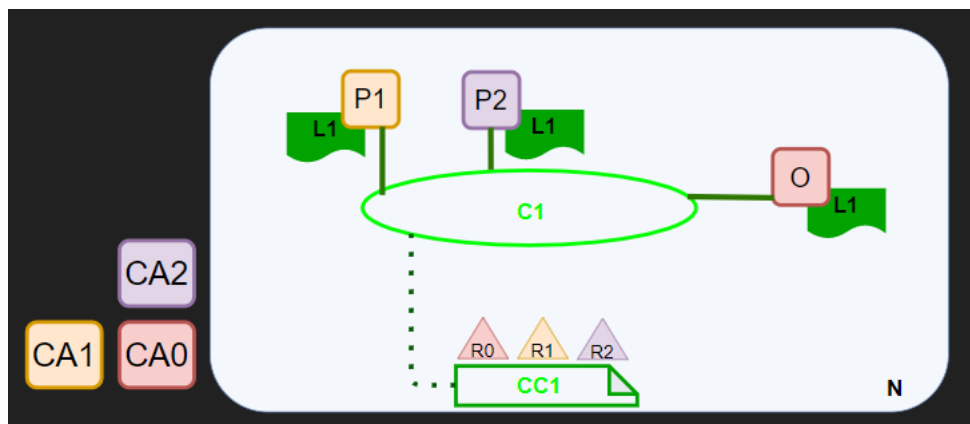


Figura 2 – Creación del canal con su configuración. Creación del Ledger L1

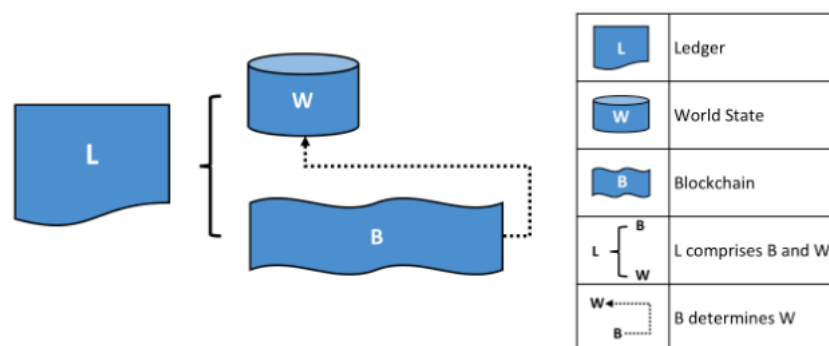


Figura 3 – Estructura de un Ledger en Hyperledger

### Implementación de Procesos Colaborativos con Hyperledger Fabric



Para llevar a cabo la implementación de procesos colaborativos con a la red blockchain definida anteriormente, se requiere considerar y definir varios aspectos: (1) cómo estructurar y gestionar la información a compartir de los procesos, (2) cómo controlar la ejecución de las instancias (casos) de un proceso, y (3) cómo monitorear/consultar el estado de ejecución de los procesos.

Respecto a la gestión de la información compartida, se requiere definir la estructura a utilizar para los procesos de negocio colaborativos. Las instancias de los procesos serán identificadas en la base de datos por una Key compuesta por el **número de instancia del proceso** y por un **timestamp** con la fecha de creación de dicha instancia. A su vez se requiere definir la estructura de la información a almacenar sobre el estado de ejecución del proceso y sobre los objetos del dominio relacionados con el mismo. La estructura para el estado del proceso se define en formato JSON (ver Figura 4) con los siguientes atributos:

- **instancia:** número de instancia del proceso.
- **timestampCreacion:** timestamp del momento en que se creó la instancia del proceso
- **creadoPor:** el nombre de la organización que creó el proceso
- **ultimoEnvio:** el nombre de la última organización en enviar un mensaje a otra.
- **ultimoRecibo:** el nombre de la última organización en acusar el recibo de un mensaje.

Respecto a los datos u objetos de dominio del proceso, se agrega un atributo **data** para así generalizar el contenido, ya que el mismo depende y es diferente de cada proceso en cuestión.

```
{
  "proceso_x" : [
    {
      "Key": "instancia+timestampCreacion",
      "Records": {
        "instancia": "instancia",
        "timestampCreacion": "timestampCreacion",
        "creadoPor": "OrgX",
        "ultimoEnvio": "OrgX",
        "ultimoRecibo": "OrgY",
        "data": {

```

Figura 4 – Estructura del estado de instancia de un Proceso de Negocio Colaborativo en formato JSON

Respecto a cómo controlar la ejecución, se propone el uso de Smart Contracts para la creación y manejo de las instancias de proceso. Esto involucra dos conceptos de Hyperledger Fabric, el concepto de Chaincode y el de Smart Contract. Un Smart Contract define la lógica ejecutable que generará nuevos hechos que serán agregados al Ledger. Y en cuanto a Chaincode, es un concepto usado por los administradores de la red blockchain para agrupar distintos Smart Contracts que están relacionados. Al desplegar un Chaincode dentro de una red de Blockchain en Hyperledger, se crea un espacio en el World State, el cual solo podrá ser accedido por los Smart Contracts dentro de este Chaincode tanto para la creación, modificación o consulta de los datos.

Por la tanto, se propone que todo Smart Contract relacionado a un proceso de negocio sea desplegado en un mismo Chaincode para así lograr mantener mediante el uso de distintos Smart Contracts el flujo del proceso, modificando los datos en el estado de la instancia correspondiente.

Respecto al monitoreo y consulta del estado de las instancias de un proceso, esto es manejado también mediante Smart Contracts, utilizando funciones de consultas al World State mediante la API propia de Hyperledger. Desde el punto de vista tecnológico, el World State utiliza CouchDB o LevelDB como base de datos. Se propone el uso de CouchDB, el cual es un gestor de base de datos NoSQL Open Source. Los datos en CouchDB son almacenados en formato JSON lo que supone una fácil accesibilidad, además de que este utiliza Javascript como lenguaje de consultas por medio de HTTP y funciones como MapReduce.

## Conclusiones

Se presentó una propuesta de diseño de una red blockchain basada en Hyperledger Fabric, para construir una red colaborativa de organizaciones que ejecuten procesos de negocio colaborativos. Esta propuesta tiene como ventajas la naturalidad de representar una red de organizaciones de manera descentralizada, a lo que también se suma la integridad de la información dentro de la red debido al mecanismo de consenso y la inmutabilidad de la cadena de bloques. El uso de Hyperledger Fabric posibilita una red blockchain en donde las partes se conocen entre sí y no hay problemas de rendimientos en el tiempo en realizar las transacciones.

El diseño propuesto propone guardar en el Ledger o base de datos distribuida de la cadena de bloques el estado de los procesos, tanto su ejecución como así también los objetos de datos intercambiados. A través del uso de Smart Contracts es posible implementar los requerimientos de flujo de control de un proceso, esto es respetar el orden o secuencia en que deben ser enviados los mensajes entre las partes. La ejecución de cada Smart Contract valida esto y genera una transacción en la cadena de bloques con la información del estado del proceso, la cual es replicada y mantenida en las copias de los "Ledgers" de las organizaciones. También se demuestra que es posible monitorear las instancias de procesos mediante las APIs propias de Hyperledger Fabric y así también controlar el flujo del proceso para garantizar su correcta ejecución.

Como trabajo futuro se espera completar el desarrollo e implementación de una red colaborativa utilizando Hyperledger Fabric, además del desarrollo (programación) de Smart Contracts para la creación y manipulación de instancias de procesos de negocio.

## Referencias

Grefen, P., Rinderle-Ma, S., Dustdar, S., Fdhila, W., Mendling, J.(2018). "Charting Process-Based Collaboration Support in Agile Business Networks: Aligning the Need for a Dynamic Internet of Processes from Industry and Research Perspectives", *IEEE Internet Computing* 22(3): 48-57

Swan, M. (2015). *Blockchain: Blueprint for a New Economy*. O'Reilly, US.

Androulaki et al. (2018) "Hyperledger fabric: a distributed operating system for permissioned blockchains", *Proceedings of the Thirteenth EuroSys Conference*, pp. 30:1-30:15

## Experiencia de investigación y evaluación taxonómica de la enseñanza de Química en Ingeniería Civil.

### Research experience and taxonomic evaluation of the teaching of Chemistry in Civil Engineering

Lucía Giuliani <sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Departamento Materias Básicas – Facultad Regional Santa Fe - Universidad Tecnológica Nacional, Lavaisse 610, S3004EWB Santa Fe.  
[lulavgl@gmail.com](mailto:lulavgl@gmail.com)

#### Resumen

Este trabajo se orienta a la formación de competencias en investigación de una estudiante avanzada de la carrera Ingeniería Civil, en un Proyecto de Investigación (TEUIFEOOO7707TC) que se ejecuta en la UDB de Química, que tiene como objetivo mejorar la enseñanza de la Química General en las carreras de Ingeniería de la Facultad Regional Santa Fe, Universidad Tecnológica Nacional (FRSF-UTN).

Como caso de estudio se trata de la evaluación taxonómica de una actividad complementaria realizada en forma grupal, vía Campus Virtual, que integra conocimientos de la asignatura y fomenta la formación de competencias genéricas de egreso en estudiantes de primer año de Ingeniería Civil.

Además de conocer y aplicar metodologías de evaluación taxonómica, la estudiante logra adquirir habilidades relacionadas con el trabajo en equipo, la obtención de datos y análisis de resultados, usos de herramientas tecnológicas, programas de cálculo y diseño gráfico, y habilidades en la expresión oral y escrita.

**palabras claves:** integración de conocimientos, taxonomía, actividades complementarias, formación de competencias.

#### Abstract

The present work is targeted towards the research competencies development of an advanced student of Civil Engineering, under a Research Project (TEUIFEOOO7707TC) being executed in the Chemical Department (UDB), which has the aim of improve the chemistry teaching among the different engineering careers of the Facultad Regional Santa Fe, Universidad Tecnológica Nacional (FRSF-UTN).

As a case study, a taxonomic evaluation of a group complementary task is evaluated, through virtual classroom interfase. The task includes contents of the course and encourages the training on usual competencies of first year students of Civil Engineering.

Besides the acquired knowledge and the taxonomic methodology application, the student has acquired team-work skills, technologic tools management ie. calculus software and graphic design software, oral communication and writing skills.

**keywords:** knowledge integration, taxonomy, complementary tasks, competencies development.

#### Introducción

El concepto de competencia es diverso, el más generalizado y aceptado es el de saber hacer en un contexto. Por competencias se entiende el conjunto de conocimientos, habilidades,

destrezas y actitudes que se integran a las características personales como capacidades, rasgos, motivos, valores y experiencias personales. Según la definición de Perrenoud (2004: 153-159)), *competencia* es la capacidad de movilizar varios recursos cognitivos para hacer frente a un tipo de situaciones. Las competencias no son en sí mismas conocimientos, habilidades o actitudes, aunque movilizan, integran, orquestan tales recursos. Las competencias en la educación pueden definirse como “*competencias genéricas y específicas, entendidas como el conjunto de conocimientos, capacidades, destrezas, aptitudes y actitudes más adecuados para alcanzar unos objetivos sociales de largo recorrido.*” (Suarez Arroyo, 2005: 1-7)

En 2018, la Asociación Iberoamericana de Instituciones de Enseñanza de la Ingeniería (ASIBEI) adoptó como propia la síntesis de competencias genéricas de egreso acordadas por el Consejo Federal de Decanos de Ingeniería (CONFEDI, Declaración de Valparaíso) (Libro Rojo de CONFEDI, 2018:1-31).

La distinción se realiza entre competencias tecnológicas, en este trabajo se ponen de manifiesto las siguientes:

- Identificar, formular y resolver problemas de ingeniería.
- Utilizar de manera efectiva las técnicas y herramientas de aplicación en la ingeniería.
- Desempeñarse de manera efectiva en equipos de trabajo.
- Comunicarse con efectividad.
- Actuar con ética, responsabilidad profesional y compromiso social.
- Aprender en forma continua y autónoma.
- Actuar con espíritu emprendedor.

Este trabajo pretende ser un aporte para la formación de competencias en investigación de una estudiante avanzada de la carrera Ingeniería Civil, en el marco de un Proyecto de Investigación (cod TEUIFEOOO7707TC) que se desarrolla en la UDB de Química orientado a mejorar la enseñanza de la Química General en las carreras de Ingeniería de la FRSF- UTN, de manera de integrar conocimientos de la asignatura Química General y fomentar la formación de competencias de egreso en estudiantes universitarios desde el nivel básico. Las competencias en investigación que se pretenden desarrollar en la becaria son: obtención de datos y análisis de resultados, búsqueda bibliográfica, uso de herramientas tecnológicas, programas de cálculo y de diseño gráfico, y habilidades en la expresión oral y escrita.

La programación de las actividades didácticas resulta de suma importancia para que los estudiantes logren asimilar e internalizar las competencias tendientes a fortalecer en forma integral su futuro desempeño laboral y profesional, tanto en lo técnico como en valores y ética profesional. El trabajo en la Ingeniería es muy diverso en cuanto a áreas de desempeño, y poco predecible. Los ingenieros pueden trabajar en forma individual o grupal en proyectos y diseños muy variados, construcciones de distintos tipos y envergaduras, gestión y operaciones. El aprendizaje y habilidades desarrolladas en forma temprana son básicos para enfrentar un contexto laboral amplio y cambiante.

Por otro lado, en la formación de estudiantes universitarios, la integración tiene el propósito de sentar las bases para la resolución de problemas multiobjetivos o multidisciplinares como los que pueden llegar a presentarse en la actividad profesional. En estas instancias se requiere poner en práctica un conocimiento articulado y pluralista. Para poder integrar conocimientos, primero estos deben ser adquiridos en las prácticas habituales y la pedagogía de la integración aparece como un complemento de dichas prácticas. En este contexto, la formación de competencias contribuye a definir cuáles contenidos, con qué objetivos y en qué formas o tipos de actividades se desarrollarán las prácticas integradas (Roegiers, 2007:1-39).

A continuación, se describe la metodología y el caso de estudio de la actividad complementaria (AC) realizada vía Campus, en cuya evaluación y análisis tuvo participación la estudiante en formación en investigación.

## **Metodología**

Se diseñó una actividad complementaria de la asignatura Química General con el objetivo de poner en práctica lo aprendido a través de un trabajo autónomo e integrador, en forma grupal y en un entorno virtual, para luego evaluar su progresión usando taxonomía.

La AC se basa en la resolución de problemas que integran, en una primera instancia, temas como: formulación, estequiometría, cálculo de relaciones de masa y conceptos termodinámicos; y en una segunda instancia, en forma alternativa, temas como: comportamiento de los gases, propiedades coligativas y calorimetría. Esta última propuesta implica un grado de dificultad mayor.

Se trabajó con estudiantes regulares de Química General de la carrera de Ingeniería Civil. Se trata de un trabajo cooperativo, organizado en grupos de tres o cuatro estudiantes en forma aleatoria. En total se formaron 20 grupos, a los cuales les correspondió resolver uno de los cinco problemas sugeridos. Todos los problemas tienen un nivel de complejidad similar y difieren en las consignas de la segunda instancia; es decir, hay una o dos preguntas de mayor rigor relacionadas con los temas anteriormente mencionados, estas preguntas son alternas para los distintos grupos. Las consignas denominadas P(a), P(b) y P(c) formarían lo que se denomina “primera instancia” y las consignas P(d), P(e) y P(f) las de “segunda instancia”.

Para la evaluación se utiliza la Taxonomía SOLO (Structured of the Observed Learning Outcomes, en Inglés); que permite clasificar en cinco categorías el resultado de una tarea de aprendizaje en función de su organización estructural (Biggs, 2005:1-226):

#### *Aprendizajes superficiales*

- I. Preestructural: respuestas erróneas que no dan pruebas de un aprendizaje relevante.
- II. Uniestructural: respuestas que sólo cumplen con una parte de la tarea, pasan por alto atributos importantes.
- III. Multiestructural: respuestas donde no se aborda la cuestión clave, se cuentan conocimientos sin estructurarlos debidamente.

#### *Entendimiento profundo*

IV. Relacional: cambio cualitativo en el aprendizaje y la comprensión, se aborda un punto dándole sentido a la contribución.

V. Abstracto ampliado: respuesta abstracta ampliada que trasciende lo dado.

A través de la taxonomía SOLO se realiza la evaluación del conocimiento en términos de complejidad y calidad, no de cantidad de respuestas correctas. Las preguntas y respuestas pueden estar en distintos niveles. La evaluación se basa en el proceso de comprensión usado por los estudiantes para responder las preguntas.

La actividad vinculada a la estudiante estuvo relacionada con la adquisición y análisis de datos a partir de la colaboración en la evaluación de los trabajos grupales. Se organizó la información en forma gráfica para representar los diferentes niveles taxonómicos alcanzados en ambas instancias.

### **Resultados y Análisis**

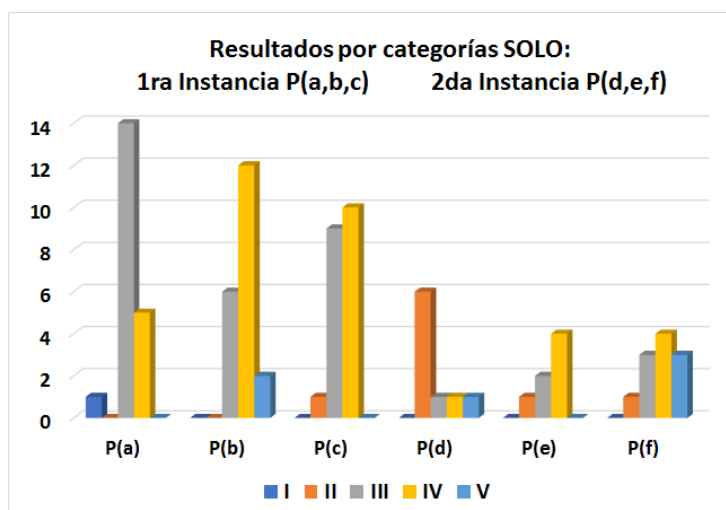
La Figura 1 muestra los resultados de la evaluación taxonómica por pregunta. Respecto a la consigna P(a), relacionada con la formulación de compuestos y el balance de la ecuación química, la calidad de respuestas se situó entre los niveles III y IV; es decir, entre un aprendizaje superficial multiestructural y un aprendizaje profundo relacional. Los estudiantes logran formular los compuestos adecuadamente, realizan correctamente el balance, pero no suman a la resolución un argumento ampliado sobre los tipos de nomenclatura, relación de coeficientes estequiométricos, estados de agregación, o algunos otros aspectos teóricos sobre el tema.

En relación a la consigna P(b), donde se requiere reconocer el criterio de tipo de reacción endo/exotérmica de la reacción química, no hubo respuestas incorrectas, sólo un reducido

número de respuestas resultaron incompletas. Un poco más de la mitad de los grupos logran alcanzar un aprendizaje profundo relacional (IV), responden acerca del signo de la entalpía y lo asocian al criterio de tipo de reacción endo/exotérmica; además, ofrecen argumentos sobre el consumo o liberación de calor desde/hacia el ambiente.

En la consigna P(c) se deben realizar cálculos estequiométricos, cuando se trata de establecer las relaciones de masas/moles entre reactivos y productos y determinar el reactivo limitante, el principal error que se comete está en justamente determinar el reactivo limitante, arrastrando consigo el error en los cálculos sucesivos de relaciones de masa y moles entre este y los productos obtenidos, la mayoría de las respuestas se situaron entre las categorías III y IV. Las respuestas P(d) y P(f), que implican un mayor grado de dificultad al tratarse de cálculos de concentración de una disolución, propiedades coligativas y calorimetría, muestran resultados heterogéneos en cuanto a calidad de respuesta (categorías II, III, IV y V). Las mayores dificultades se centran en diferenciar el cálculo de las propiedades coligativas en electrolitos y no electrolitos, y en identificar los tipos de calor (sensible y latente) involucrados en los procesos.

A diferencia de las anteriores, P(e) referida al comportamiento de los gases ideales, resulta ser de más amplio conocimiento entre los estudiantes. Un poco más de la mitad de las respuestas incorporan argumentos sobre la Teoría de gases ideales en condiciones normales de presión y temperatura (CNPT), alcanzando la mayoría de las respuestas la categoría IV.



**Figura 1: Resultados de la evaluación taxonómica por consignas. P(a)-P(c) primera instancia. P(d)-P(f) segunda instancia**

Desde el análisis taxonómico, en la Figura 2 se puede observar cómo los contenidos de la primera instancia, correspondiente a temas básicos de la materia como formulación y estequiometría, logran alcanzar un 48,33% de aprendizaje profundo (IV+V), dejando el mismo porcentaje, 48,33%, al aprendizaje superficial multiestructural (III) y en menor medida, alrededor de un 3,34% a las categorías que marcan un aprendizaje insuficiente (I y II). Como resultado general, en la segunda instancia se evidencia una distribución mayor de la calidad de respuesta, tanto en las categorías de aprendizaje profundo como superficial, quedando una suma de 48,15% (IV+V) para el primero y 51,85% (II+III) para el segundo, observándose que no hay respuestas incorrectas (I). A pesar de que se alcanza nivel V en algunas respuestas, pocos estudiantes logran establecer argumentos amplios como por ejemplo: mencionar los tipos de nomenclatura, describir la relación de coeficientes estequiométricos, caracterizar los diferentes estados de agregación, poner ejemplos de procesos térmicos con similares características, explicar las propiedades coligativas, enunciar la ley o propiedades de los gases ideales, explicar lo que sucede en los cambios de fase o definir conceptos como calor específico de una sustancia.

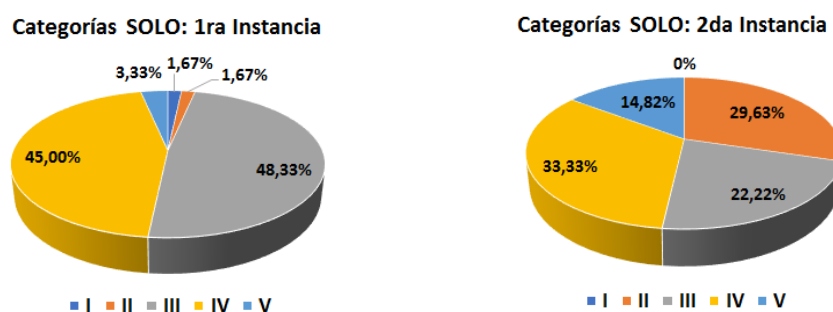


Figura 2: Porcentaje de respuestas por categorías SOLO (I-V) en cada instancia.

## Conclusiones

A partir del análisis taxonómico de los resultados de la actividad complementaria que integra diversos temas de la materia Química General del ciclo básico de las carreras de Ingeniería de la FRSF-UTN, se evaluaron las habilidades cognitivas y las competencias de los estudiantes de las carreras de Ingeniería Civil de dicha facultad. En general, se puede concluir que alrededor del 48% de las respuestas alcanzaron la categoría de entendimiento profundo relacional (IV) y abstracto ampliado (V), tanto en la primera como en la segunda instancia. Sumando los porcentajes alcanzados en las categorías III, IV y V, los resultados serían aproximadamente 97% y 70% para las instancias 1 y 2, respectivamente; lo que demuestra que se lograron objetivos de integración de la asignatura, de manera que los estudiantes puedan afianzar los contenidos que necesitan incorporar para la aprobación; además de fomentar la formación de competencias genéricas de egreso en estudiantes de primer año de Ingeniería Civil.

La experiencia también resulta satisfactoria en cuanto al logro de uno de los objetivos principales de este trabajo que es la formación de competencias en investigación de una estudiante avanzada de la carrera de Ingeniería Civil, lo que le permitió conocer y aplicar metodologías de evaluación taxonómica, adquirir habilidades relacionadas con el trabajo en equipo, en la obtención de datos y análisis de resultados, búsqueda bibliográfica, uso de herramientas tecnológicas, programas de cálculo y de diseño gráfico, y habilidades en la expresión oral y escrita.

## Referencias

- Biggs, J. (2005). *Calidad del aprendizaje universitario*. España: Narcea, 1-266.
- Libro Rojo de CONFEDI, (2018). *Propuesta de estándares de segunda generación para la acreditación de carreras de ingeniería en la República Argentina*. Argentina: Universidad FASTA Ediciones, 1-31.
- Perrenoud, P. (2004). "Diez nuevas competencias para enseñar". *Tiempo de Educar*, 153-159.
- Roegiers, X. (2007). *Pedagogía de la integración: Competencias e integración de los conocimientos en la enseñanza*. Costa Rica: Coordinación Educativa y Cultural Centroamericana y AECE, 1-328.
- Suarez Arroyo, B. (2005). "La formación en competencias: un desafío para la educación superior del futuro", Universidad Politécnica de Cataluña Barcelona, 1-7. Disponible en <https://web.ua.es/es/ice/documentos/recursos/materiales/foramcion-en-competencias.pdf>.

## Agradecimientos:

Tutores: Vanina Mazzieri, Mauren Fuentes Mora, Nicolás Carrara

## **Impacto sobre la red de distribución de técnicas de gestión de demanda aplicadas en usuarios residenciales convencionales y electrointensivos**

### **Impact on the distribution network of demand management techniques applied in conventional and electrointensive residential users**

**Damián Cano**

Centro de Investigación y Desarrollo en Ingeniería Eléctrica y Sistemas Energéticos (CIESE)  
(Lavaise 610, Santa Fe), Facultad Regional Santa Fe, UTN.

[damian\\_cano\\_77@hotmail.com](mailto:damian_cano_77@hotmail.com)

Este trabajo ha sido realizado bajo la dirección del Ing. Marcos Matías Cea, en el marco del proyecto “Desarrollo de técnicas de gestión de la demanda y programación estacional del parque generador para su aplicación en el concepto de una nueva matriz energética nacional basada en el desplazamiento del consumo de gas residencial por energía eléctrica” (2020 – 2022), código ENUTNFE0007851, dirigido por el Ing. Ulises Manassero

**Resumen:** Considerando los inconvenientes detectados en la conversión de usuarios residenciales convencionales a electrointensivos, se plantean por objetivos analizar diferentes técnicas de gestión de la demanda del lado usuario. A su vez, verificar el impacto de los perfiles de carga de los usuarios sobre una red de distribución típica, considerando diferentes escenarios demanda, para casos con y sin gestión. Para mejorar el perfil de carga de usuarios electrointensivos, se estudian y aplican diferentes estrategias como ser, recorte de picos, utilización de equipamiento de mayor eficiencia energética y desplazamiento de cargas. La implementación de estrategias de gestión repercute de manera significativa en la red, ya que se produce una mejora notable en los indicadores, posicionándose en valores que representan un grado de utilización aceptable de la red, aplanando la potencia media durante las horas pico. Debido a estos resultados favorables, se reducen los costos operativos y se retrasan obras de infraestructura.

**Palabras claves:** Usuarios Residenciales Electrointensivos, Gestión de Demanda, Indicadores Técnicos, Redes de Distribución.

**Abstract:** Considering the drawbacks detected in the conversion of conventional residential users to electrointensive ones, the objectives are to analyze different techniques for managing demand on the user's side. In turn, verify the impact of user load profiles on a typical distribution network, considering different demand scenarios, for cases with and without management. To improve the load profile of electrointensive users, different strategies are studied and applied, such as trimming of peaks, use of more energy efficient equipment and load shifting. The implementation of management strategies has a significant impact on the network, since there is a notable improvement in the indicators, positioning itself at values that represent an acceptable degree of use of the network, flattening the average power during peak hours. Due to these favorable results, operating costs are reduced, and infrastructure works are delayed.

**Key words:** Electrointensive Residential Users, Demand Management, Technical Indicators, Distribution Networks.

#### **Introducción**

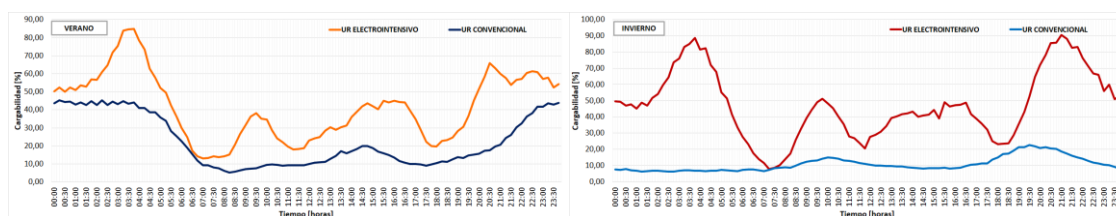
Hoy en día, la expansión de las redes de transporte y distribución de gas natural (GN) se encuentran restringidas, en contraste, las redes eléctricas se han expandido y ampliado ante el



incremento de usuarios. Dada la falta de infraestructura para abastecer nuevas demandas con GN y sus altos costos de instalación asociados, ha llevado a que se produzca en forma paulatina el reemplazo de equipamiento a gas por electrodomésticos en hogares para satisfacer necesidades básicas. Esto genera concentraciones de usuarios residenciales (UR) con mayor equipamiento eléctrico, estableciéndose zonas con altas densidades de demanda de energía generando estrés en las redes de distribución.

En base a esta premisa, en un estudio previo (Cea et al., 2020), los autores comprobaron la conversión de usuarios residenciales convencionales (URC) a usuarios residenciales electrointensivos (URE). A partir de usos y costumbres de familias típicas, se definen los electrodomésticos básicos que se pueden hallar en un hogar, a fin de elaborar perfiles de carga de diarios de URC y URE -con paso de 15 minutos-, posibilitando ello determinar el impacto en el consumo total de energía diaria, y su aporte al pico de demanda de cuatro distribuidores de media tensión (MT) en 13,2 [kV] de un centro de distribución (CD) típico.

Los resultados dejan entrever que ante la ausencia de GN y/o equipos que la utilicen, los URE sufren un aumento considerable en su demanda, especialmente en el escenario de invierno, detectándose que en períodos de pico y resto la energía alcanza incrementos del 500% respecto a un URC, y 1500% en el período de valle, como se aprecia en la Figura 1.



**Figura 1. Estado de carga del distribuidor más exigido para escenarios de verano e invierno.**

En este marco, en el presente trabajo, se plantean por objetivos analizar diferentes técnicas de gestión de la demanda del lado usuario. A su vez, verificar el impacto de los perfiles de carga de URE sobre la red de distribución en MT, considerando escenarios de demanda de verano e invierno para casos con y sin gestión de la demanda.

Para ello, se debe considerar un concepto significativo, el de Respuesta de la Demanda (DR por sus siglas en inglés -Demand Response), que constituye un importante recurso asociado a la gestión de la demanda. Desde el punto de vista del UR, la DR tiene como objetivo optimizar el consumo de energía eléctrica, el costo total de la electricidad, las emisiones de CO<sub>2</sub>, la potencia máxima, sujeto a restricciones operacionales y de confort del usuario (Inga Ortega et al., 2013). Con la evolución de las tecnologías de electrónica de potencia, sistemas de comunicación y computacionales, la DR evolucionó hacia la Gestión de la Demanda (DSM por sus siglas en inglés). Uno de los principales objetivos de la DSM es disminuir los picos de demanda del sistema, para evitar nuevas inversiones en la red (Vidal y Jacobs, 2014).

## Desarrollo

Para evaluar el impacto de la inserción de URE con y sin DSM en un subsistema de MT, se estudia una red urbana de 13,2 [kV] típica de la ciudad de Santa Fe con topología radial. Para ello, se sigue la secuencia de actividades:

- ✓ Se modelan cuatro distribuidores radiales de MT en el nivel de 13,2 [kV], para ello se utilizan las herramientas de análisis de demanda y flujos de potencia de un software específico para el modelado de redes de distribución.
- ✓ A través de un listado de electrodomésticos, se seleccionan los equipos más comunes en el hogar, a fin de definir URC y URE.
- ✓ Se realiza un análisis de las posibles técnicas de DSM aplicables del lado usuario.

- ✓ Una vez caracterizadas las curvas de potencias unitarias de cada UR, se modela cada distribuidor con un perfil de carga correspondiente a un día hábil típico de invierno y verano. Luego, se estudian y contrastan los perfiles de carga de los 4 distribuidores existentes con las curvas de potencias unitarias modeladas.
- ✓ Finalmente se analiza el impacto sobre la red de los diferentes UR definidos, para lo cual se evalúan los siguientes indicadores técnicos: Factor de Carga ( $F_C$ ), Factor de Pico ( $F_P$ ), cargabilidad de electrodomésticos y rango de tensiones admisibles de operación, para los cuales se consideran los límites establecidos en los Procedimientos (CMMESA, 2011).

## Gestión de la demanda

En función del análisis de las cargas que pueden existir en una unidad residencial y de la información de consumos brindados por el ENRE y las diferentes compañías de electrodomésticos se confecciona la Tabla 1. Las celdas coloreadas con verde manifiestan los equipos susceptibles a efectuar DSM y las sombreadas con el mismo color son las seleccionadas para su análisis tanto individual como en conjunto.

Tipo	Equipo	Respuesta de la demanda	Gestión
TV VIDEO	TV LED 32" a 50"	Gestionable	ST-B
	Decodificador	Gestionable	ST-B
	PS4 – Xbox One – Wii U	Gestionable	ST-B
INFORMATICA	Computadora escritorio (CPU)	No gestionable	-
	Monitor LED 19"	No gestionable	-
	Modem Wi-Fi	Gestionable	INT
	Notebook	No gestionable	-
	Cargador de celular genérico	No gestionable	-
FRIO CALOR	Acondicionador de aire ON/OFF 2200 [Fg]	Gestionable	TEM – TG – INT
	Acondicionador de aire INVERTER 3400 [Fg]	Gestionable	TEM – INT – ST-B
	Estufa halogenada 3 velas	No gestionable	-
	Caloventor	No gestionable	-
	Vitroconvertor 54x57 [cm] con termostato	No gestionable	-
HOGAR	Cocina eléctrica inducción	No gestionable	-
	Horno eléctrico 71 [lts] para empotrar	No gestionable	-
	Microondas	Gestionable	AJ
	Ventilador de techo/pie	Gestionable	AJ
	Lavarropas autom. 6 [Kg] c/ calentamiento de agua	Gestionable	DES – AJ – TG
	Secarropas centrifugo	No gestionable	-
	Minicomponente	Gestionable	ST-B
	Heladera con freezer ON/OFF	Gestionable	TG – EE – TEM – INT
	Freezer ON/OFF	Gestionable	TG – EE – TEM – INT
	Termotanque eléctrico con termostato	Gestionable	DES – AJ – INT
	Extractor de aire cocina / baño 80 [m³/hs]	No gestionable	-
	Lavavajillas para 6/12 cubiertos	Gestionable	DE – AJ
PEQUEÑOS ELECTRODOMESTIC	Pava eléctrica 1,7 [lts]	Gestionable	AJ
	Licudadora	No gestionable	-
	Tostadora	Gestionable	AJ
	Plancha	Gestionable	DES – AJ
	Planchita de pelo	No gestionable	-
	Secador de pelo	No gestionable	-
	Aspiradora	Gestionable	AJ – DES
Cafetera	No gestionable	-	
ILUMIN	Lámpara halógena 60 - 100 [W]	Gestionable	TG – INT
	Tubo fluorescente 18 - 56 [W]	Gestionable	TEC – INT
	Lámpara de bajo consumo 11 - 20 [W]	Gestionable	TEC – INT
	Lámpara LED 5 - 11 [W]	Gestionable	INT
BOMBA CENTRIFUGA	Bomba centrífuga de agua 1/2 – 3/4 HP	Gestionable	DES
VEHICULO	Vehículo híbrido eléctrico enchufable (plug-in hybrid electric vehicle)	Gestionable	INT – DES – AJ

### Referencias:

TG: Cambio de equipo por otro de tecnología y eficiencia superior  
DES: Desplazamiento de equipo en horas más convenientes para la red eléctrica de distribución.  
INT: Interrupción del equipo en horas potenciales de desuso, para ser suplido por otro equipo de menor potencia o en breves tiempos de funcionamiento.  
AJ: Ajuste de potencia eléctrica del equipo.  
TEM: Ajuste de temperatura del equipo.  
EE: Eficiencia energética en equipo mediante cambio de hábitos del usuario.  
ST-B: Apagado del equipo con el cese de su actividad, evitando el modo Stand-By

Tabla 1. Resumen de electrodomésticos seleccionados para la gestión de la demanda eléctrica

## Resultados del impacto de aplicación de DSM sobre URE

En la Figura 2, se presentan las curvas de carga características resultantes de la combinación de las mejores estrategias de DSM, a su vez, se detallan las alternativas de gestión seleccionadas en cada caso en particular. Para ello, se estudia la inserción de electrodomésticos contemplando estrategias que infieran en el comportamiento de la demanda eléctrica correspondiente a perfiles de carga residenciales. En cada alternativa se considera el desplazamiento, interrupción y el ajuste de potencia, temperatura o funcionamiento de los aparatos eléctricos seleccionados para efectuar la acción de gestión (ver Tabla 1). Teniendo en cuenta el consumo energético resultante se selecciona el conjunto mas adecuado de acciones de DSM sobre los

electrodomésticos tal que permitan satisfacer de forma eficiente y confiable la demanda de energía de UR, sin producir un detrimento de su confort.

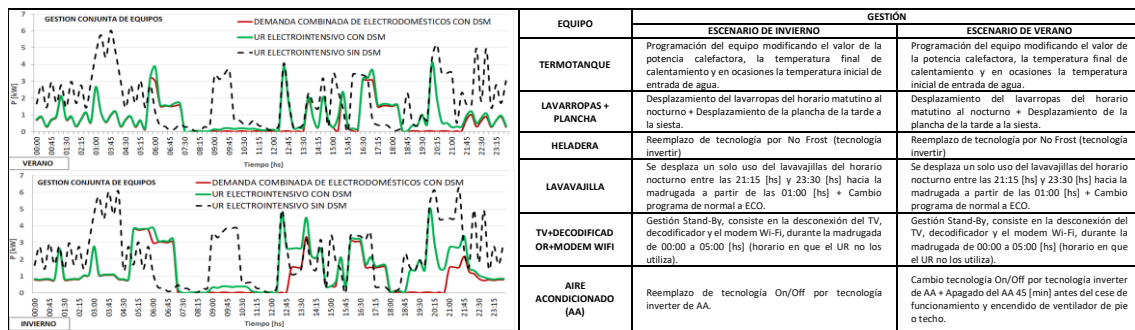


Figura 2. Curvas de demanda de URE para la gestión conjunta de equipos para ambos escenarios

En la Figura 3 se observa que, para el escenario de invierno, al realizar la DSM de forma directa por los URE, en el período de pico disminuyó su energía en casi un 50% respecto al URE sin DSM. El período valle presentó el mayor impacto positivo en unidades energéticas con un ahorro de aproximadamente un 64%. En el período de resto, se mantuvo sensiblemente constante el consumo energético ante la gestión del desplazamiento del pico matutino de 09:00 a 10:30 [hs] hacia las 05:00 [hs], es decir un desplazamiento de 5,43 [kWh], que representa un aumento de 83% de energía que la red deberá satisfacer durante horas de resto.

Para el escenario de verano, sucede algo similar, donde en el período de valle se presentó el mayor impacto con el desplazamiento de 11,46 [kWh], siendo el AA el electrodoméstico más influyente al cambiar la tecnología ON/OFF por Inverter. En el período de pico, el desplazamiento del termotanque eléctrico y el lavavajillas significó una reducción del 57%, mientras que en el escenario matutino presenta una disminución del 87,3% en términos energéticos, que la red deberá satisfacer en los períodos de 5:30 a 7:30 [hs] y de 16:30 a 18:30 [hs] donde el costo de generación de energía es menor.

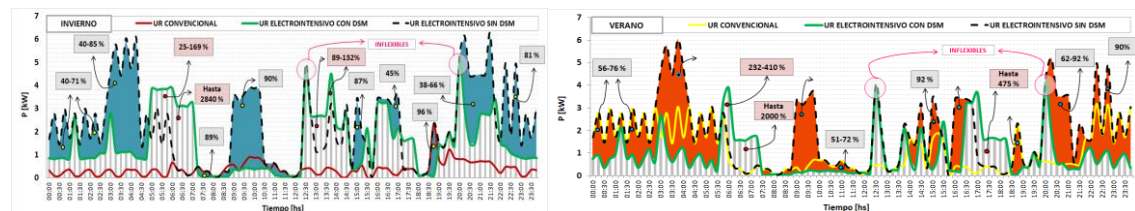


Figura 3. Impacto de gestión de la demanda eléctrica en URE sin gestión

### Resultados del análisis del impacto de URE con DSM en la red de MT

De las distintas simulaciones realizadas para ambos escenarios de demanda se destaca que:

- ✓ En invierno, con DSM, los 4 distribuidores presentan  $F_c$  cercanos a los correspondientes al caso de URC con un leve mejoramiento del orden del 10 al 14%. En verano, sus valores se incrementaron entre el 2 y el 18% respecto al caso con URE sin DSM (ver Figura 4).
- ✓ En lo referente a los  $F_p$ , en invierno se presentan valores cercanos a la unidad en uno de los cuatro distribuidores, llegando a niveles mínimos del orden a 0,90, es decir, una reducción del 10% para el URE con DSM respecto de aquel sin DSM. Para el escenario de verano, se observa una clara disminución en los  $F_p$  en referencia al URE sin DSM (ver Figura 5).
- ✓ Respecto al estado de carga de los distribuidores, el distribuidor Mendoza es el que presenta la mayor exigencia alcanzando una cargabilidad máxima de 60,5%, esto es una reducción en 33% respecto al caso con URE sin DMS y 62% más que el caso base con URC. Para los demás distribuidores se perciben reducciones netas en la cargabilidad del orden del 2 al 12% respecto al caso base URE sin DSM, indicando esto que la mejora de

este indicador de red dependerá del número de usuarios pertenecientes a cada distribuidor de MT que apliquen DSM. Para el escenario de verano, respecto del caso con URC, las reducciones en las potencias máximas oscilan en un rango del 22% al 28%, lo que se traduce en beneficios en la operación de los distribuidores ante la disminución de la carga en rangos del 4 al 10% respecto al caso base con URC, y consecuentemente reducciones aún superiores con relación al URE sin DSM.

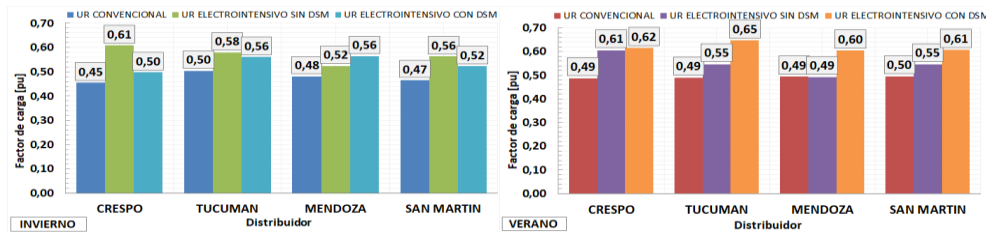


Figura 4. Factores de carga para los diferentes tipos de UR

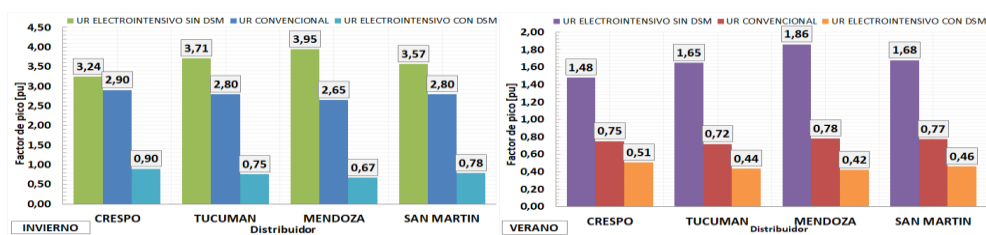


Figura 5. Factores de pico para los diferentes tipos de UR

## Conclusión

La implementación de DSM repercute de manera significativa en la red para el escenario de verano, ya que los  $F_c$  mejoran notablemente, posicionándose dentro del rango recomendable de 0,6 a 0,8 para redes eléctricas de distribución, lo que representaría un grado de utilización aceptable. Debido a estos resultados favorables, las probabilidades de ejecutar nuevas obras eléctricas disminuyen, permitiendo que la red, en caso de sobrecargas, no presente dificultades en la operación al transferir carga de un distribuidor a otro.

Por otra parte, en el escenario de invierno, si bien los  $F_c$  redujeron sus niveles con respecto del caso URE sin DSM, mejoraron notablemente respecto del caso con URC, demostrando esto que hay un mejor aprovechamiento de los distribuidores al aumentar la potencia media operada por estos, produciéndose un aplanamiento de la curva de demanda en las horas pico del sistema. No obstante, en este escenario es inevitable que los distribuidores sufran un aumento en su cargabilidad, dado la fuerte presencia de determinadas cargas eléctricas que no se pueden reducir sin afectar el confort del usuario.

## Referencias

- Cea M., Manassero U., Furlani R., Acosta J., Steinmann I. (2020). "Caracterización de curvas de demanda de usuarios residenciales de tipo convencional y electrointensivo y su impacto en la curva de carga de una red de distribución típica". *Revista Rumbos Tecnológicos*, 12, 139-158.
- Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico S.A. [CAMMESA]. (2011). Anexo 27: Reglamentación aplicable a la prestación adicional de la función técnica de transporte de energía eléctrica firme en el mercado eléctrico mayorista. Ciudad Autónoma de Buenos Aires.
- Inga Ortega E., Arias Cazco D., Orejuela Luna V. y Inga Ortega J. (2013). "Comunicaciones celulares para medición inteligente de energía eléctrica en sistemas de distribución". *Ingenius Revista de Ciencia y Tecnología*, 10, 21-33.
- Vidal A. R. S. and Jacobs L. A. A. (2014). "An Evolutionary Approach for the Demand Side Management Optimization in Smart Grid". IEEE Symposium on Computational Intelligence Applications in Smart Grid, CIASG, Orlando, Florida, Estados Unidos, 9 al 12 de diciembre, 1-7.

## Esquema de comunicaciones entre dispositivos programables IOT en el contexto de microredes eléctricas

### Network communications scheme between programmable IoT devices in an electric microgrid context

Esteban Echandia Onchiniuk  
UTN Facultad Regional Santa Fe - Argentina  
[echandia.esteban@gmail.com](mailto:echandia.esteban@gmail.com)

Matias Agustin Hillar  
UTN Facultad Regional Santa Fe - Argentina  
[matiashillar@gmail.com](mailto:matiashillar@gmail.com)

**Resumen:** En el contexto de una microrred eléctrica, en donde se precisa un nivel de toma de decisiones en el orden de la inmediatez, es necesario contar con la tecnología subyacente garante de cumplir con dicho requerimiento. Dificultades intrínsecas como la calidad del servicio de red en un país, o la distancia física irrecuperable entre nodos a conectarse, lleva a la utilización eficiente de los recursos de red con el fin de lograr el funcionamiento óptimo y robusto de un sistema de comunicaciones. Se explicita en el presente trabajo una alternativa para lograr un sistema de red que relacione un entorno de fog computing con la Internet, valiéndose de herramientas orientadas al *internet de las cosas*, a través del protocolo MQTT, con el objetivo de lograr un canal fluido de comunicación entre los nodos involucrados, resguardando información útil que resulte de este.

**Palabras claves:** Internet de las cosas, Cola de mensajes de transporte telemetrico, Node-red, Computacion en la niebla, Micro Red Electrica.

**Abstract:** In the context of an electrical microgrid, where a level of decision making in the order of immediacy is required, it is necessary to have the underlying technology to ensure that this requirement is met. Intrinsic difficulties such as the quality of the network service in a country, or the inevitable physical distance between nodes to be connected, lead to the efficient use of network resources to achieve the optimal usage of network resources, aiming to achieve an efficient and robust operation of a communications system. This paper explains an alternative to achieve a network system that relates a fog computing environment with the Internet, using tools oriented to the Internet of Things, through the MQTT protocol, with the aim of achieving a fluid communication channel between the nodes involved, safeguarding useful information resulting from it.

**Keywords:** Internet Of Things, Message Queueing Telemetry Transport, Node-red, Fog Computing, Electrical microgrid.

## Introducción

El presente trabajo se emplaza en una investigación consistente en dar una solución de generación de energía renovable de forma distribuida a través de microrredes eléctricas inteligentes capaces de autoabastecerse y autogestionarse (Bordón et al., 2018).

En este contexto se decidió que el uso de una arquitectura de computación en la niebla (fog computing) resulta conveniente de implementar para lograr un sistema de comunicación entre dispositivos que conforman una microrred eléctrica.

El fog computing es un tipo de arquitectura de red cloud que utiliza dispositivos de borde para la toma de datos, y estos no son cargados directamente en la nube sino en centros de cómputo descentralizados más pequeños. El objetivo de esta arquitectura es que las vías de comunicación sean acortadas y se reduzca el caudal de datos enviados a una red externa.

Esta arquitectura está dividida en tres capas:

- Edge Layer: Esta es la capa de borde que comprende todos los dispositivos IOT, son estos los encargados de generar los datos, ser pre procesados y enviados a la capa de fog para su procesamiento.
- Fog Layer: Esta capa está compuesta por servidores intermedios con gran rendimiento que reciben los datos de la capa Edge y son procesados para la toma de decisiones.
- Cloud Layer: Esta capa es el punto final de una arquitectura de fog computing, en nuestro caso donde se realiza la persistencia de los datos.

Entendemos como una microrred a pequeñas redes o circuitos con la capacidad de generar energía y que pueden funcionar de manera autónoma, por lo tanto para la transmisión de datos los tiempos de latencia deben ser reducidos para evitar la caída de la misma, siendo así esta arquitectura un modelo idóneo. El propósito de este trabajo es evidenciar los resultados de la evaluación empírica de esta latencia de envío y recepción de mensajes para luego ser persistido en una base de datos, desde el dispositivo de la capa Edge al servidor de la capa Fog.

## Propuesta

Consta de elaborar un esquema de comunicaciones entre dispositivos IOT. Para ello se utilizó un dispositivo ESP32, que cuenta con tecnología WIFI para el envío y recepción de datos sobre la capa de Edge (Maier et al., 2017). La capa Fog consta del servidor del Gimosis (Grupo de Investigación en modelado, Simulación y Control) ubicado en la ciudad de Concordia, Entre Ríos. Sobre este servidor se configuraron los servicios de Mosquitto Broker MQTT (MQ Telemetry Transport) y Node-red para el manejo del envío de mensajes corriendo ambos sobre la plataforma de contenedores de Docker, pudiendo visualizarse esta topología en la Figura 1.

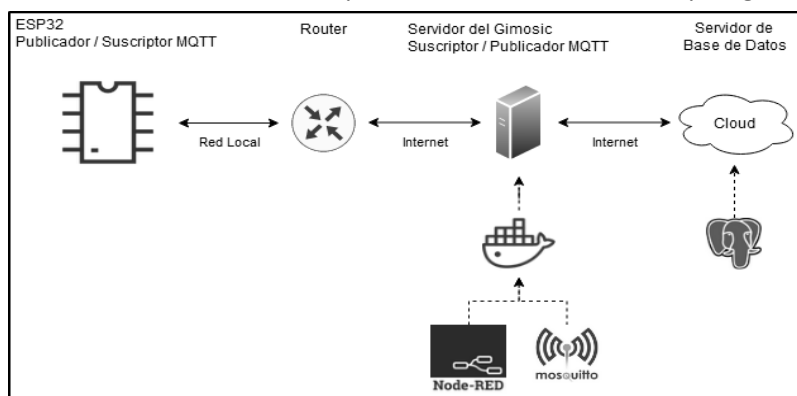


Figura 1. Esquema de comunicaciones

## Desarrollo

MQTT es un protocolo de comunicaciones para el envío de mensajes entre dispositivos IOT y es la opción elegida para establecer un sistema de comunicaciones entre dispositivos. La cualidad ligera y de eficiencia de MQTT hace que este sea apropiado de utilizar a los fines del presente trabajo (Light, 2017). El mismo utiliza la arquitectura de tipo *publicador/suscriptor* donde una pieza de software denominada *broker* intermedia entre los dispositivos que publican y/o se suscriben permitiendo la comunicación bidireccional entre nodos. En el caso del trabajo expuesto, una placa ESP32s y el equipo servidor ubicado en en centro de comunicaciones de la Facultad Regional Concordia de la UTN. Para la configuración y programación de los dispositivos utilizados, se optó por la aplicación de código abierto NodeRed (Ferencz et al., 2020), la cual permite la edición de flujos de datos en una web interactiva.

Se propone el siguiente orden topológico a nivel de programación de nodos centralizados en un equipo servidor, en un flujo NodeRed (Figura 2):

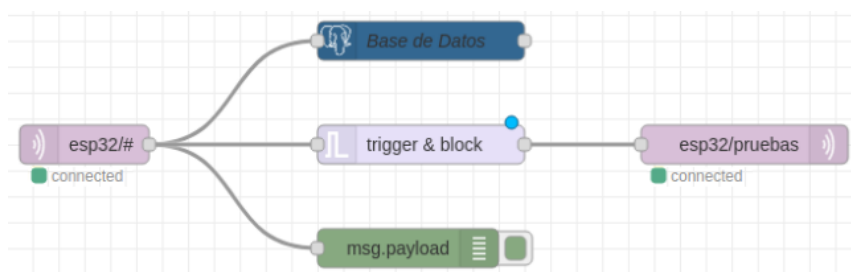


Figura 2. Topología NodeRed

Mosquitto Broker es un broker de mensajes de código abierto que brinda una abstracción del protocolo MQTT para su implementación. Como se observa en la figura 2, se hace uso de nodos programables MQTT(in/out) disponibles en el entorno NodeRed. Estos se conectan al broker Mosquitto ejecutándose en un contenedor Docker en el equipo servidor, a fin de establecer conexiones MQTT (Light, 2017), (Ahmed et al., 2018). El primero de ellos se encuentra suscrito a todos los tópicos *esp32*, y es el encargado de recibir el flujo entrante desde la placa ESP32s.

A fin de realizar una evaluación de latencia, el segundo nodo MQTT publica mensajes en el tópico *esp32s/pruebas*, que serán recibidos por la misma placa ESP32s anteriormente mencionada.

En la práctica, por cada mensaje que se reciba, se enviará uno de vuelta. La información que resulte de los mensajes recibidos puede resguardarse en una base de datos, vinculada al sistema a través de un nodo *Postgrestor*.

## Resultados

La evaluación empírica de latencia es llevada a cabo en dos etapas: mediante el software Apache JMeter y haciendo uso de temporizadores en código Arduino, siendo que la placa ESP32s es programable a través del lenguaje propio de las placas programables Arduino. respectivamente.

La primera de las experiencias consiste en enviar mensajes de tipo *timestamp* entre el servidor y un segundo equipo, evidenciando los momentos de envío y de recepción de mensaje, es

decir, la latencia ocurrida en el tráfico unidireccional equipo - servidor. A partir del escenario descrito se obtiene el set de resultados que se muestra en la Tabla 1 :

Prueba Nº	Latencia (milisegundos)	Prueba Nº	Latencia (milisegundos)
1	55	6	25
2	25	7	24
3	66	8	22
4	27	9	24
5	52	10	24

Tabla 1. Latencias con Apache JMeter

Calculando un valor promedio de las mediciones tomadas, se puede observar que la latencia experimentada para el viaje de un mensaje en sentido unidireccional equipo independiente - servidor es de aproximadamente **34.4 (milisegundos)**.

La segunda experiencia consiste en lanzar un temporizador, en el mismo código de programa de la placa ESP32s, al momento de enviar un mensaje, para luego detener el mismo al arribo de un mensaje de vuelta. De esta forma se obtiene una estimación de latencia de viaje redondo completo. De esta experimentación se extrae el set de resultado que se muestra en la Tabla 2:

Prueba Nº	Latencia (milisegundos)	Prueba Nº	Latencia (milisegundos)
1	57	6	57
2	57	7	56
3	83	8	59
4	58	9	57
5	61	10	58

Tabla 2. Latencias con el dispositivo IOT ESP32

Análogamente a lo concluido sobre la experiencia anterior, se observa que un viaje redondo completo implica en promedio un tiempo de latencia de **60.3 (milisegundos)**. Suponiendo que un viaje en sentido unidireccional equipo independiente (ESP32s) - servidor provoca una latencia de la mitad de la correspondiente a un viaje redondo completo, se estima un valor para esta de **30.15 (milisegundos)** aproximadamente. Este valor resulta coherente si se tiene en cuenta el resultado de la primera experiencia.

Es útil comparar los resultados obtenidos con los correspondientes a una experimentación de similar naturaleza (Lagerqvist et al., 2018).

	CombiQ MQTT QoS 0				
Msg Size	4 Bytes	16 Bytes	48 Bytes	92 Bytes	120 Bytes
Min (ms)	14,8	16,0	8,5	6,5	5,7
Avg (ms)	30,9	27,5	14,9	22,7	24,8
Max (ms)	167,9	47,6	47,2	184,6	115,9
StD (ms)	26,2	8,1	7,9	24,4	17,1

Tabla 3. Resultados de experimentación. (Lagerqvist et al., 2018)



Se observa que:

- Una experiencia con parámetros similares arroja resultados en el mismo orden que los descritos en el presente trabajo, aún cuando las condiciones de experimentación del mismo no son las óptimas (servicio de red fluctuante, distancia física entre dispositivos interconectados).
- Luego los resultados obtenidos son satisfactorios para el objetivo propuesto.

### Conclusión

La concepción de este trabajo fue la de idear un sistema de comunicación entre dispositivos haciendo uso de las tecnologías actuales, que sea fácil de replicar en su implementación, liviano en cuanto a utilización de recursos, y más importante, que cumpla con el requerimiento básico para su inserción en una microrred eléctrica inteligente (capacidad rápida de respuesta para la optimalidad en la toma de decisiones). Es menester entonces proponer un escenario en donde las herramientas de software y hardware involucradas contribuyan a lograr un cometido específico: minimizar el tiempo de latencia en una comunicación.

A raíz de los resultados obtenidos que se presentan en este trabajo, la propuesta descrita y experimentada es factible de aplicarse en un entorno real y funcional de una microrred eléctrica.

### Referencias

- Bordón, C. F., Schenberger, L., Berterame, F., Chezzi, C. M., & Penco, J. J. (2018). Estrategia para la Gestión de una Micro Red. *2018 IEEE 9th Power, Instrum. Meas. Meet. EPIM 2018*.
- A. Maier, A. Sharp and Y. Vagapov (2017), "Comparative analysis and practical implementation of the ESP32 microcontroller module for the internet of things," 2017 Internet Technologies and Applications (ITA).
- Light, R. A. (2017). Mosquitto: server and client implementation of the MQTT protocol. *Journal of Open Source Software*, 2(13), 265. Ferencz, K y Domokos J (2020), "Using Node-RED platform in an industrial environment", XXXV. Jubileumi Kandó Konferencia.
- Lagerqvist, A. y Lakshminarayana, T. (2018), "IoT Latency and Power consumption: Measuring the performance impact of MQTT and CoAP", Independent thesis Advanced level (Master of Science program), School of Engineering in Jönköping. Disponible en <http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1205093&dswid=-8349>.
- Ahmed, A., & Pierre, G. (2018, July). Docker container deployment in fog computing infrastructures. In *2018 IEEE International Conference on Edge Computing (EDGE)* (pp. 1-8). IEEE.

## Creación de una Mini Unidad de Aprendizaje denominada “Integral Definida”

### Creation of a Mini Learning Unit called "Definite Integral"

Aldana Tibaldo, Romina Durunda, Ignacio Alurralde.

Departamento de Materias Básicas (Lavaisse 610, Santa Fe), Facultad Regional Santa Fe, UTN

[astibaldo@frsf.utn.edu.ar](mailto:astibaldo@frsf.utn.edu.ar) [rdurunda@frsf.utn.edu.ar](mailto:rdurunda@frsf.utn.edu.ar) [ialurralde@frsf.utn.edu.ar](mailto:ialurralde@frsf.utn.edu.ar)

**Resumen:** La adaptación de los procesos de enseñanza-aprendizaje en la virtualidad constituyen un gran desafío para docentes y estudiantes. Actualmente, nos encontramos dentro de una sociedad en transformación, con nuevas posibilidades para el acceso al conocimiento y con la necesidad de herramientas que potencian la relación entre los conceptos, en el momento de aprender. Es por ello, el grupo de investigación propone aprovechar las bondades de la tecnología y crear una Mini Unidad de Aprendizaje, para el tópico “Integración, cálculo y uso” de la asignatura Análisis Matemático I, para que la misma resulte una herramienta didáctica que contribuya al proceso de enseñanza-aprendizaje para el desarrollo de este contenido en las carreras de ingeniería. En trabajos anteriores se demostró que la utilización de la Mini Unidad de Aprendizaje en el desarrollo de otras temáticas motivó y propició la comprensión del tema en los estudiantes. El objetivo del presente trabajo es describir el proceso de creación de una Mini Unidad de Aprendizaje para el contenido “Integral definida”.

**Palabras clave:** Mini Unidad de Aprendizaje, Análisis Matemático I, Integral Definida.

**Abstract:** The adaptation of teaching-learning processes in virtuality is a great challenge for teachers and students. Currently, it is a society in transformation, with new possibilities for access to knowledge and the need for tools that enhance the relationship between concepts, at the time of learning. That is why the research group proposes to take advantage of the benefits of technology and create a Mini Learning Unit for the topic "Integration, calculation and use" of the subject Mathematical Analysis I, so that it becomes a didactic tool that contributes to the teaching-learning process for the development of this content in engineering careers. In previous works, it was shown that the use of the Mini Learning Unit in the development of other subjects motivated and favored the students' understanding of the subject. The objective of the present work is to describe the process of creating a Mini Learning Unit for the "Definite Integral" content.

**Keywords:** Mini Learning Unit, Mathematical Analysis I, Definite Integral.

### Introducción

Es indudable que los docentes se enfrentan con frecuencia al problema de la falta de atención por parte de los alumnos de las carreras de ingeniería. Sin embargo, si se logra crear actividades interesantes, innovadoras y llenas de emoción, se puede mantener la atención o incluso, incrementarla, esto quiere decir que mientras más llamativo, interesante o concreto sea el input de la actividad presentada, más fuerte será el involucramiento del aprendiente en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

La realidad de los últimos dos años reveló que, a las dificultades presentadas comúnmente por los estudiantes, la pandemia del COVID-19 produjo un cambio de escenario para toda la comunidad educativa. Las condiciones sociales, familiares y educativas cambiaron en el 2020; los alumnos se encontraron, al momento de ingresar a la Facultad, ante situaciones no conocidas, que requieren ciertas competencias que les permitan lograr independencia, superar obstáculos, propiciar relaciones, adquirir hábitos de estudio, entre otras, las cuales muchas de ellas, las van obteniendo al recorrer el ciclo básico de las ingenierías. En cuanto los docentes, en poco tiempo, tuvieron que adecuar sus materiales y espacios para poder brindarle a los alumnos lo mejor de ellos en esta nueva realidad. De este modo, las clases y las relaciones interpersonales cambiaron de entorno: el aula y los pasillos de la facultad se transformaron en un espacio virtual y nuestros hogares, en nuestra aula real.

Considerando que la motivación es el pilar fundamental en el proceso de aprendizaje, en estudios anteriores se diseñaron y evaluaron Mini Unidades de Aprendizaje (MUA) (Casco et al,2018) las cuales resultan muy útiles para despertar interés, interpretar conceptos y fortalecer la comprensión de temas de Análisis Matemático I (AMI) fundamentales en el trayecto de las carreras de ingeniería, constituyendo así un objeto de aprendizaje en la clase de indiscutible valor. Como docentes investigadores de la cátedra AMI de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe (UTN-FRSF), en el afán de poder superar la mera transmisión de conocimientos y que los mismos sean aprehendidos por los estudiantes, en el presente trabajo se desarrolla una nueva MUA en el tópico “Integral Definida”.

### **Marco Teórico**

En el ámbito académico, se ha discutido sobre la importancia de comprender de manera oportuna las distintas estrategias pedagógicas que se aplican para optimizar el aprendizaje, los factores de los cuales depende y las formas en que se presentan en el individuo, en este caso, docentes y estudiantes, con el fin de diseñar procesos de enseñanza-aprendizaje más eficientes. Algunos estudios anteriores, han referido que los estudiantes aprenden mejor cuando pueden aproximarse al conocimiento con seguridad y confianza. Por tal razón, se hace necesario un proceso de planeación pedagógica que comprenda, tanto el diseño de estrategias, como de ambientes de aprendizaje que brinden dicha seguridad y confianza.

En un trabajo precedente se diseñó, implementó y valoró una práctica, abordando el tópico generativo “Razón de cambio”. En esa experiencia, el interés disparador tuvo su origen en las dificultades observadas en la comprensión por parte de estudiantes universitarios en el mencionado tópico. Se trató de una investigación, basada en un estudio de caso, siendo los actores los alumnos de la asignatura AMI, particularmente, una comisión de cursado cuatrimestral (segundo cuatrimestre del año 2017). En ella, los alumnos, agrupados y apoyados en el software Geogebra, modelaron un problema. La experiencia permitió refinar los niveles de comprensión y motivar a los estudiantes para que sean partícipes de su propio aprendizaje (Casco et al, 2018). Luego, resultó de gran interés analizar si los proyectos producidos podrían ser valorados como Objetos de Aprendizaje (OA) de calidad. Según Wiley (2002), se define a un OA como “Un recurso digital que puede ser reusado para ayudar en el aprendizaje”. En consecuencia, se evaluaron las características y como conclusión, se definieron los trabajos como “Mini Unidades de Aprendizaje” (Casco et al, 2018). El término hace referencia a un anteproyecto de los OA, dado que no cumplen

con la totalidad de los criterios demandados. Sin embargo, esto no invalida que los alumnos puedan utilizarlos y/o ser actores principales de la construcción de éste con guía del docente y utilizarlos.

Según Rodríguez (2019), las MUA deben cumplir con las siguientes características:

- Contenido interactivo: implica la participación de cada individuo (profesor-alumno/s) en el intercambio de información.
- Indivisible e independiente de los otros objetos de aprendizaje.
- Contenidos no contextualizados (no hace referencia a su ubicación en la asignatura, ni en la titulación, ni en el tiempo).
- Se determinan algunos de los posibles contextos de uso, facilitando el proceso posterior de rediseño e implementación.
- Junto con otros objetos, se pueden alcanzar objetivos de aprendizaje más amplios, llevando a la construcción de los llamados: módulos de aprendizaje (por ejemplo, Derivada).
- Propósito pedagógico: los OA no sólo deben incluir contenidos, sino que también deben guiar el proceso de aprendizaje del estudiante. Además, es necesario que el objeto incluya actividades que permitan facilitar el proceso de asimilación de cada alumno. (Rodríguez et al, 2019)

Es así como, el uso de la MUA propicia las competencias relacionadas con comprender e interpretar documentos relacionados con las tecnologías de la información y la comunicación, acceder a los sistemas de información digitales y desarrollar habilidades y destrezas en el manejo de las herramientas informáticas, comprendiendo su aplicación según su saber específico. A continuación, en la sección Resultados se expone la creación de una nueva MUA en el tópico aplicación de la integral definida.

## Resultados

### ***Libro de Geogebra: "Objetos de Aprendizaje en Análisis Matemático I"***

El equipo de trabajo definió como herramienta a utilizar al "GeogebraBook" o "Libro de Geogebra". Éste se caracteriza por ser un medio ágil para crear libros interactivos para aprender y enseñar en todo nivel educativo, con textos en línea ilustrados y dinámicos. Además, su acceso es libre y gratuito desde la Web. Dentro de cada libro, se pueden generar diversos capítulos y dentro de ellos diseñar las denominadas, según Geogebra, "Actividades". Esto despertó interés ya que posee el perfil de un módulo de aprendizaje. En primera instancia se consideraron los atributos de este, completando los datos solicitados, considerando que Geogebra cuenta con una amplia y multicultural comunidad cuyos usuarios integrantes hablan y trabajan en distintos idiomas, esto permite lograr la reutilización y la posibilidad de propiciar la accesibilidad. Además, se evaluó el rango de edad de los destinatarios y el nivel de conocimientos previos con el fin de que los usuarios conozcan los conocimientos que deberían haber alcanzado en otras instancias de aprendizajes y así agilizar la decisión de potenciales interesados. Se consideraron etiquetas/tags (palabras clave), la visibilidad tipo público, para que todos puedan ver y disponer del Libro, enlace compartido, para que se pueda acceder ni bien se conozca el enlace correspondiente dado que no aparecerá en los resultados generales de las búsquedas o privado, para que no resulte visible

(además de no aparecer en los resultados de las búsquedas). Una vez completados estos campos, inmediatamente se crea el Libro al cual denominamos “Objetos de Aprendizaje en Análisis Matemático I”. En segunda instancia se procedió a crear un nuevo capítulo en el Libro. Es importante aclarar que se desea obtener tantos capítulos como cantidad de tópicos generativos se detecten en la asignatura AMI, actualmente se cuenta con dos (uno para el tópico razón de cambio y otro para recta tangente).

### **MUA: “Integral Definida”**

Para la nueva MUA se creó un capítulo nombrado “Integrales” y se incluyó una breve descripción del tema. “Integral Definida” se denominó a la actividad creada y la misma presentó la siguiente estructura:

- |                        |  |
|------------------------|--|
| 1. Título              | 6. Contexto (enunciado)                  |
| 2. Introducción        | 7. Incógnita                             |
| 3. Objetivo            | 8. Situación planteada de forma estática |
| 4. Complemento teórico | 9. Situación planteada de forma dinámica |
| 5. Instrucciones       | 10. Resolución                           |

En el apartado *Complemento Teórico* se presentan los conceptos relevantes e imprescindibles que los estudiantes deben saber y comprender para poder interactuar de forma exitosa con la MUA. Se indican los distintos teoremas, definiciones y demostraciones que otorgan al alumno el marco teórico necesario para poder trabajar de manera integral y resolver lo que propone el objeto en cuestión, además, poder interpretar los distintos conceptos que se plasman en las situaciones estáticas y dinámicas generadas para la situación problema. En el módulo *Instrucciones* se encuentra una serie de pasos que ordena el contenido de la MUA y, además, que sirve como guía a los estudiantes para poder interactuar de manera eficiente con la MUA. Continuando por la sección *Contexto*, en esta se plantea una situación donde se presenta un caso aplicado a la vida real y se expresa una problemática que se debe resolver haciendo uso de la herramienta. Este módulo propone una situación problema que tiene por objetivo acercar al alumno a situación real y ver de manera clara y sin dubitativos la aplicación del concepto de integral definida, tal, como el área bajo la curva, principal aplicación del tópico tratado en esta MUA. Posterior a la presentación de la situación problemática, se exhiben las *situaciones estáticas* y *dinámicas* nombradas anteriormente. A través de estas representaciones se pretende acercar al alumno a la interpretación y comprensión total del problema mediante gráficos que representan la situación y su solución. Por último, se deja a disposición del alumno el apartado *Resolución*. La sección de resoluciones dispone las soluciones y los procedimientos que dan respuesta al módulo de instrucciones, permitiendo al alumno a poner a prueba sus conocimientos y su desempeño en la resolución mediante la autocorrección.

La actividad creada en GeogebraBook se encuentra disponible en la plataforma “Campus Virtual”, e incluso es visible para aquellos estudiantes que cursan AMI, y a su vez, desde el enlace se puede ingresar a la página web: <https://www.geogebra.org/m/e2qme65f>.

### **Conclusiones**

Esta creación en GeogebraBook permite su fácil incorporación para realizar prácticas didácticas en la enseñanza, donde los alumnos se convierten en protagonistas de su propio proceso de aprendizaje y pueden tomar el control de la acción formativa mediante la interacción con el

recurso educativo, determinando el punto desde el que desea observar y el momento en el que se desea interaccionar. Esta estrategia convierte al proceso tradicional “docente-pizarrón/computadora” en un proceso constructivo, participativo y social, y, en consecuencia, permite que los docentes logren adaptar sus clases a las necesidades actuales vividas por la pandemia. Se ha mostrado que estos recursos educativos tecnológicos apoyan la colaboración y el aprendizaje entre pares, el ensayo de distintos caminos para la resolución de problemas, el uso de distintos registros para el abordaje de los temas, la autovaloración de los avances y el desarrollo de procesos de comprensión cada vez más refinados. Tareas que hubiesen resultado engorrosas o imposibles con las herramientas tradicionales, se pudieron realizar con eficiencia y calidad, gracias a las animaciones. En este contexto, el aprendizaje dejó de ser concebido como un proceso individual para convertirse en un proceso constructivo, participativo y social en el que se realizan actividades conjuntas, apoyándose en la tecnología, siendo el aprendizaje el resultado de la relación interactiva entre profesor, alumno y contenidos. Como resultado final y deseado, el alumno se convierte en protagonista de su propio proceso de aprendizaje y él mismo adquiere contenidos, destrezas y habilidades.

### **Bibliografía**

Casco, E., De Santis, E., Verrengia, M., Tibaldo, A. (2018) “El uso de tecnologías, la comprensión y la evaluación”. *IPECyT: VI jornadas nacionales y II latinoamericanas de ingreso y permanencia en carreras científico-tecnológicas*, Olavarría, Argentina, 658-662.

Casco, E., De Santis, E., Rodríguez, E Pastorelli, S. (2018). “Evaluación de Proyectos Propuestos por Alumnos de la UTN FRSF en el Tópico “Razón de Cambio” y su Relación con Objetos de Aprendizajes”. *XXI Encuentro Nacional y XIII Encuentro Internacional de Educación Matemática en carreras de Ingeniería-EMCI 2018*, Córdoba, Argentina, 106.

Rodríguez, E., Casco, E., Tibaldo, A., Canal M. (2019). “Creación de un objeto a partir de una mini unidad de aprendizaje para mejorar la comprensión en estudiantes universitarios”. *JCyT: Jornada de Ciencia y Tecnología*, San Francisco, Argentina, 171-172.

Wiley, D. A.: Learning Objects Explained. Wiley, D. A.: (2002). The Instructional Use of Learning Objects. Agency for Instructional Technology; Association for Educational Communications & Technology, 1-3. <https://members.aect.org/publications/InstructionalUseofLearningObjects.pdf>. Accedido el 1 de Julio de 2018.

## **Eficiencia energética en el edificio de la UTN FRRq con la aplicación de la Norma ISO 50001**

### **Energy efficiency in the UTN FRRq building with the application of the ISO 50001 Standard**

**Sergio Villán**

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Reconquista

e-mail: [sergiovillan22@gmail.com](mailto:sergiovillan22@gmail.com)

**Gabriel Martinez**

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Reconquista

e-mail: [gabrielmartinezing@gmail.com](mailto:gabrielmartinezing@gmail.com)

**Danielo Tourne**

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Reconquista

e-mail: [danielotourne@outlook.com](mailto:danielotourne@outlook.com)

**Resumen:** El presente trabajo tiene por finalidad mostrar los resultados de la aplicación de un plan de gestión energética apoyado en los lineamientos de la Norma ISO 50001 en las instalaciones de la Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Reconquista –UTN FRRq–. Para esto, se analizó el comportamiento del consumo energético global en un período de doce meses entre noviembre de 2018 y noviembre de 2019. Se determinaron las variables que afectan al consumo y la incidencia en su magnitud de las diferentes cargas que existen en el edificio. Además, se efectuó un estudio del acondicionamiento térmico de los locales con el fin de identificar mejoras y de esa manera mostrar los beneficios que se alcanzarán en materia energética. De todo ello se determinó que, aplicando las modificaciones y mejoras sugeridas, se podrá obtener una disminución del 35% en el consumo de energía eléctrica en la institución.

**Palabras claves:** Eficiencia energética, ISO 50001, sistema de gestión energética, estudio térmico.

**Abstract:** The purpose of this work is to show the results of the application of an energy management system supported by the guidelines of the ISO 50001 Standard in the facilities of the National Technological University - Reconquista Regional Faculty –UTN FRRq–. For this, the behavior of global energy consumption was analyzed in a period of twelve months between November 2018 and November 2019. We have determined the variables that affect consumption and the incidence in its magnitude of the different loads that exist in the building. In addition, we carried out a study of the thermal conditioning of the rooms in order to identify improvements and thus show the energy benefits to be achieved. From all of this, it was determined that we could obtain a 35% reduction in electricity consumption at the faculty by applying the suggested modifications and improvements.

**Keywords:** Energy efficiency, ISO 50001, energy management system, thermal study.

## Introducción

La Norma ISO 50001: *Energy Management Systems* –Sistemas de Gestión Energética–, fue publicada en junio de 2011 por la Organización Internacional para la Estandarización –ISO–. Establece las pautas que debe tener un sistema de gestión de la energía –SGE– en una organización para mejorar su desempeño energético incluyendo la eficiencia, el uso y el consumo de la energía. Su aplicación tiene como principal objetivo reducir costos, emisión de gases de efecto invernadero y otros impactos ambientales para contribuir a mejorar la disponibilidad de suministros, la competitividad y la sostenibilidad. La norma se basa en un ciclo de mejora continua PHVA (ISO, 2011):

- *Planificar*: Busca entender el comportamiento energético de la organización para determinar los controles y objetivos necesarios que permitirán mejorar el desempeño energético.
- *Hacer*: Implementar procedimientos y procesos regulares con el objeto de controlar el desempeño energético.
- *Verificar*: Efectuar un seguimiento, medir procesos y productos en base a las políticas y objetivos energéticos, así como también informar resultados.
- *Actuar*: Tomar decisiones para mejorar en forma permanente el desempeño energético.

En la siguiente imagen –Figura 1– se puede apreciar el modelo de sistema de gestión de la energía para esta norma internacional tal como lo muestra la Agencia Chilena de Eficiencia Energética –AChEE– (2012):

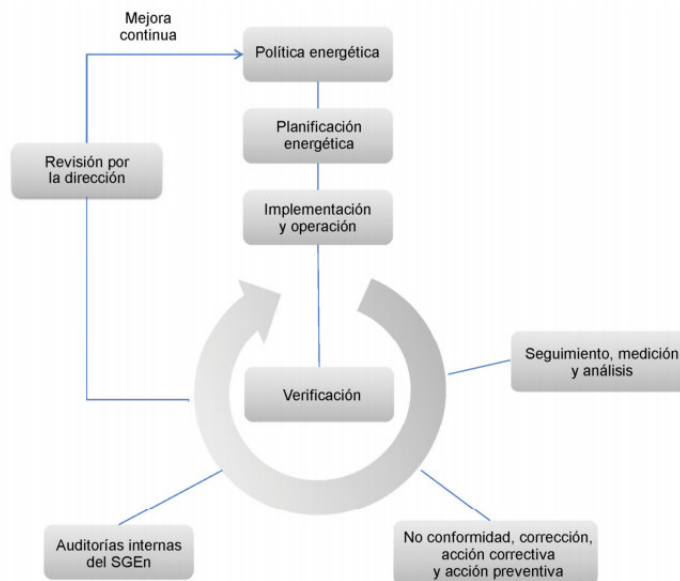


Figura 1. Organigrama: Norma ISO 50001.

Se aplicarán los lineamientos de la Norma descrita a la instalación del edificio de la UTN FRRq con el fin de identificar posibles mejoras que contribuyan a un uso más eficiente y sustentable de la energía eléctrica apoyándose en lo realizado por el ing. Sergio Villán en su proyecto final de grado y cuyo presente trabajo a su vez, pretende también ser un resumen. A continuación, se describirá la metodología de trabajo.

## Metodología

Teniendo presente lo mencionado en el capítulo anterior sobre el ciclo de mejora en la cual se basa la Norma ISO 50001, la metodología de trabajo tuvo como finalidad responder las siguientes incógnitas: ¿Cuánto se consume? ¿Cuándo se consume? ¿Dónde se consume?



En primer lugar, se realizó un análisis exhaustivo de la facturación del consumo de la energía eléctrica global en la institución durante un período de 12 meses –de noviembre/diciembre de 2018 a septiembre/noviembre de 2019– con el objeto de discriminar las etapas de mayor consumo, asociándolas a las actividades que se realizan allí.

Seguidamente, se procedió a efectuar un relevamiento de datos que consistió en determinar la cantidad de horas anuales de uso de los diferentes locales que componen la UTN FRRq y para lo cual se tuvo presente el calendario académico 2018. También se relevaron los distintos tipos de cargas eléctricas y las variables que afectan al consumo. Posteriormente, se llevó a cabo un proyecto de comprensión y análisis de las instalaciones con el objetivo de poder destacar:

- Balance de energía por tipo y áreas.
- Inventario de equipamiento.
- Tendencias de consumo.
- Estimación de consumo futuro.
- Variables que afectan el consumo y uso de la energía.

En cuanto al primer punto, el balance energético se calculó prosiguiendo de la siguiente manera:

- a) Identificación de las cargas eléctricas presentes.
- b) Clasificación y cuantificación.
- c) Estimación de su consumo anual, discriminándolas en: Iluminación; Climatización; Equipos informáticos; Equipos de calefacción; Motores; Equipos de calefacción de agua; Otros.

Finalmente, se identificó la incidencia de las diferentes cargas en los edificios individualmente y en su conjunto.

Debido a lo extenso del estudio, en el siguiente apartado se presentará la demanda total global de la UTN FRRq. Estos valores fueron afectados por un valor obtenido de la experiencia de 0,8 denominado factor de simultaneidad de las cargas.

Se utilizaron planillas de cálculo para el estudio de las estimaciones del consumo energético, tendencias a futuro y evaluación de ahorros y de ello obtener las conclusiones.

## Resultados y discusión

En la Figura 2, se puede entender de una forma más clara el comportamiento del consumo de energía eléctrica de la facultad en el periodo analizado gracias al estudio de la facturación.

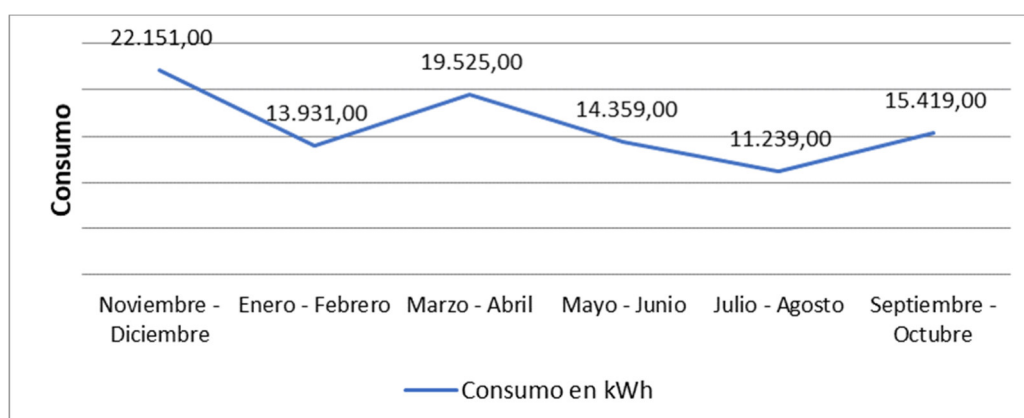


Figura 2. Variación del consumo de energía eléctrica en el edificio de la UTN FRRq.

Además, se aprecia que el mayor consumo de energía eléctrica se encuentra en los meses de noviembre-diciembre del año 2018. Luego, en el siguiente bimestre enero-febrero, disminuye debido a que en el mes de enero las actividades de la FRRq se encuentran en receso; y a comienzos de febrero se reanudan las actividades del personal administrativo y del cursillo de ingreso de las diferentes carreras que se dictan en ésta regional. En los meses de marzo-abril comienzan las clases, lo que genera un aumento en la demanda de energía eléctrica. En mayo-junio el consumo comienza a disminuir hasta alcanzar el mínimo consumido en los meses de julio-agosto. En el mes de julio, en su primer y última semana, las clases se suspenden debido a las mesas de exámenes finales y en las dos semanas intermedias, hay un receso en todas las actividades de la institución. Finalmente, en el bimestre de septiembre-octubre el consumo comienza a aumentar.

Según Villán (2020), luego del relevamiento de datos se estimó que el consumo de energía eléctrica total de la UTN FRRq previo a la incorporación de las cargas nuevas se encuentra en el orden de magnitud de los 93.883,69 [kWh] anuales siendo el real determinado por la empresa prestataria del servicio de 96.624,34 [kWh] anuales. Se puede afirmar que la estimación realizada es una aproximación razonable y válida. Mediante este análisis y estudio se identificó que las cargas más significativas son las destinadas al uso de la iluminación (29%), climatización (26%) y equipos de informática (24%). De esta manera, se determinó que la distribución del consumo se da como muestra la Tabla 1 a continuación:

Destino de la energía	Consumo [kWh/año]	Proporción sobre el total global [%]
Iluminación	27.010,94	29
Climatización	24.762,61	26
Equipos informáticos	22.291,93	24
Equipos de calefacción de agua	5.260,08	6
Motores	1.918,32	2
Equipos de calefacción	1.740,93	2
Otros	10.898,88	11
<b>TOTAL</b>	<b>93.883,69</b>	<b>100</b>

Tabla 1. Distribución del consumo energético total global.

Seguidamente, se proyectó el aumento de carga correspondiente al segmento de consumo *climatización* con el objeto de optimizar las condiciones de *confort* para el estudio en la facultad –esto refiere a la incorporación de nuevos equipos de aire acondicionado en aquellos locales que no lo tienen–. De esto, se determinó que el aumento en el consumo de energía eléctrica fue de un 6.46%. se pudo apreciar que la carga más importante pasó a ser la debida al uso de los equipos de aire acondicionado (32%), seguido por la utilización de luminarias (28%) y equipos de informática (19%).

En base al nuevo consumo proyectado, se aplicaron los lineamientos de la Norma ISO 50001 y se propuso implementar mejoras en dos direcciones: **reducción de la carga térmica y mejora tecnológica.**

La reducción de la carga térmica se logrará a través de la aplicación de cambios en la *estructura envolvente de los edificios*, la incorporación de *paisajismo vegetativo* y el agregado de *jardines verticales*. Estudios como el de Parker (1983) y Barroso-Krause (1993) demuestran que se puede reducir el consumo energético hasta en un 50% aplicándose estos métodos.

Por otro lado, la mejora tecnológica consiste básicamente en la sustitución de la matriz de iluminación actual a lámparas LED y el recambio de aires acondicionados *Split de compresor a pistón a tecnología Inverter*.

Las mejoras anteriormente nombradas producirán un ahorro del 35% en el consumo de energía eléctrica en la Facultad, lo cual queda expresado en el siguiente cuadro –Tabla 2–:

Ahorro en materia	Porcentaje de ahorro sobre incidencia en el consumo global
Iluminación	14,4%
Climatización:	
Reducción carga térmica	16,6%
Tecnología Inverter	4%
<b>TOTAL</b>	<b>35%</b>

**Tabla 2. Resumen ahorro de energía eléctrica.**

Estos resultados se alcanzarán a través de un SGE que será responsabilidad de la autoridad de la UTN FRRq. Se designará a un responsable con competencia en la materia y se le asignará un equipo de trabajo para la gestión de la energía en todas sus etapas siguiendo lo establecido por la Norma ISO 50001.

### Conclusiones

Con este proyecto se lograron propuestas de mejora de la gestión energética en la UTN FRRq a partir de un análisis apoyado en los lineamientos de la Norma ISO 50001 y siguiendo lo realizado por el ing. Sergio Villán en su proyecto final de carrera.

Como primer paso, se estudió el comportamiento del consumo energético global en un período de un año, a partir de lo cual se pudo determinar las variables que afectan al consumo y a su magnitud. Además, se efectuó un estudio del acondicionamiento térmico de los locales. A partir de esta investigación, se desembocó en oportunidades de optimización energética aplicando modificaciones y mejoras que consisten en la incorporación de paisajismo y jardines verticales, cambios estructurales y reemplazos de índole tecnológica en iluminación y climatización. Así, se podrá obtener una disminución mayor a un tercio del consumo de energía eléctrica en la institución, con el beneficio de poder contar con un sistema de gestión energética acorde a sus oportunidades y necesidades.

### Listado bibliográfico

- Agencia Chilena de Eficiencia Energética (2012). *Guía de Implementación de Sistema de Gestión de la Energía basada en la ISO 50001*. 2. ed. Providencia, Chile.
- Barroso-Krause, C. (1993). "Vegetal shelter: is a good thermal option as a passive cooling strategy?". 3rd European Conference on Architecture. 17-21 May. Florencia, Italia.
- International Organization for Standardization (2011). *ISO 50001: Energy management systems*.
- Parker, J. (1983). "The effectiveness of vegetation on residential cooling". 2. ed. pp. 123-132.
- Villán S. (2020). *EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA UTN FRRq CON LA APLICACIÓN DE LA NORMA ISO/IRAM 50001*. Proyecto final de carrera (Título de grado en Ingeniería Electromecánica) Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Reconquista, Reconquista.

## LAS MATERIAS BÁSICAS Y LA INGENIERÍA INDUSTRIAL

### BASIC SCIENCES AND INDUSTRIAL ENGINEERING

**BLAS MANUEL TREJO** (btrejo@frsf.utn.edu.ar, UTN FRSF)

#### Resumen

Este trabajo pretende focalizarse en aquellos aspectos a mejorar que presenta, desde el punto de vista de los autores, el plan de estudios de la carrera de Ingeniería Industrial en la Universidad Tecnológica Nacional en lo que a materias básicas respecta.

La carrera en cuestión es un tanto distinta al resto de las carreras de ingeniería dado que en ella se abordan con un mayor grado de profundidad aquellos temas que se enmarcan dentro de la ciencia económica y la organización industrial. Estas disciplinas hacen uso de la matemática como herramienta, pero especialmente de una rama de ella que es la estadística.

La problemática aparece cuando se observa, mediante un análisis de correlatividades y encuestas realizadas a alumnos avanzados, que en Ingeniería Industrial la estadística, así como sus aplicaciones, probablemente no se abordan con la debida profundidad que los alumnos requieren a la hora de realizar sus proyectos finales de carrera.

#### Palabras claves

Materias básicas, proyecto final de carrera, Ingeniería Industrial, estadística, ciencia de datos.

#### Abstract

This paper pretends to focus on those aspects of Industrial Engineering degree's syllabus of Universidad Tecnológica Nacional that, according to authors' points of views, can be improvable with respect to basic sciences.

The regarded career is a bit different compared to the rest of engineering degrees since it goes through topics like economy and industrial organization more deeply than the other ones. All these disciplines make use of mathematics as a tool, but specifically a certain branch of it: statistics.

According to an analysis that has been done regarding basic subjects and surveys, there might be a trouble about the degree of depth this career goes through statistics and its applications.

#### Keywords

Basic sciences, final degree project, Industrial Engineering, statistics, data science.

## Introducción

Este trabajo tiene como objetivo principal el de servir como una fuente de información – aunque sea pequeña – para quienes analizan los planes de estudio de las carreras de ingeniería y periódicamente, como resultado de tal análisis, deciden acerca de las actualizaciones o cambios que los mismos sufrirán, en pos de mejorarlos.

El interés radica en relacionar los contenidos que se dictan en lo que se denominan *materias básicas* de las carreras de ingeniería en la Universidad Tecnológica Nacional con los proyectos finales de la carrera de Ingeniería Industrial, y analizar cuáles son los contenidos que más se utilizan, cuales son los que se utilizan con baja o nula frecuencia y cuáles son aquellas áreas del conocimiento que bien podrían abordarse en las materias básicas pero que no se dictan con la suficiente profundidad que requieren los alumnos a la hora de desarrollar sus proyectos.

En este marco, se realizará un análisis que consistirá, en primer lugar, en plantear una hipótesis (o consideración de los autores) y a lo largo del desarrollo del trabajo se exhibirán y analizarán elementos que tiendan a probarla, para finalmente arribar a una conclusión.

## Las materias básicas en ingeniería y su utilización en las carreras

Es necesario definir a qué asignaturas se hace referencia cuando se habla de materias básicas. En la Universidad Tecnológica Nacional, las materias que dependen del departamento de Materias Básicas y que pertenecen al bloque Ciencias Básicas son, las siguientes siete (Universidad Tecnológica Nacional, 2006: 20-36): Álgebra y Geometría Analítica, Análisis Matemático I, Análisis Matemático II, Probabilidad y Estadística, Física I, Física II y Química General.

Cabe aclarar que todas las anteriores se dictan con el mismo grado de profundidad en todas las carreras de ingeniería. Para tener un punto de referencia y comparación acerca de la utilización de estas asignaturas en la carrera de Ingeniería Industrial, primero se realizará un análisis similar sobre la carrera de Ingeniería Mecánica que permitirá contrastar los resultados.

La Ingeniería Mecánica utiliza a la matemática como una herramienta (Robert L. Norton, 2006: XI-XIII) para comprender la física teórica, cuyos conceptos se abordan en las materias Física I y Física II (Freedman, Roger A. et al., 2009: IX-X). En Física I se aborda básicamente a la mecánica clásica, así como una pequeña introducción al concepto de energía y a la mecánica de los fluidos (Universidad Tecnológica Nacional, 2006: 25). En Física II, por su parte, se estudia el electromagnetismo, así como una pequeña introducción al concepto de la luz (Universidad Tecnológica Nacional, 2006: 36-37).

Ambas materias, aunque Física I en mucha mayor medida (Robert L. Norton, 2006: XXI-XXIII), servirán a su vez como herramientas para comprender las materias específicas de la carrera en donde se abordarán temas tales como estabilidad, resistencia de los materiales, mecánica de los fluidos, termodinámica/turbomáquinas, elementos y diseño de maquinaria, etc. Todos estos campos del conocimiento son fundamentales para el ingeniero mecánico, y esta es la razón por la cual generalmente se encuentra al menos un curso de cada uno de ellos en todas las universidades, independientemente de la orientación particular de cada carrera. El denominador común que tienen todos ellos es que, para su estudio, parten de la hipótesis que entiende a la materia como un *medio continuo*.

Esta hipótesis, aunque lejos esté de ser verdadera, provee muy buenos resultados desde el punto de vista macroscópico a la vez que simplifica de manera significativa el estudio de los

fenómenos físicos y sus aplicaciones al utilizar como herramienta a la matemática de las funciones continuas (Di Paolo, José, 2013: 3-5), es decir, el cálculo, el cual es abordado en las materias básicas Análisis Matemático I y II así como en Cálculo Avanzado. Si bien esta última no es considerada formalmente una materia básica, no es más que una continuación de las dos anteriores, en la que se trata con la debida profundidad, entre otros, el tema ecuaciones diferenciales, las cuales sirven para explicar una gran cantidad de fenómenos mecánicos y naturales.

Se ve así cómo esta carrera hace un uso intensivo de una rama específica de la matemática que es el cálculo. No ocurre lo mismo con otras ramas de la matemática como la estadística o la investigación de operaciones, las cuales su grado de aplicación es muy bajo o incluso nulo. Esto tiene que ver en gran medida con que la física, y en particular la parte de la física que se utiliza como herramienta en ingeniería, estudia fenómenos que son predecibles.

Ingeniería Industrial, al ser una carrera generalista (Zadin, Kjell B., 2004: 1.21-1.22), está formada en sus materias específicas por un conjunto de materias técnicas que se dictan con mayor profundidad en las carreras de ingeniería no generalistas, así como de materias no técnicas a las que se las puede categorizar dentro de la ciencia económica, la administración y la organización industrial.

Lo que se pretende en las materias técnicas es abordar una introducción a la mecánica, la electricidad y la química con el objetivo de lograr profesionales que posean conocimientos técnicos de amplio espectro. Realizando un análisis análogo a la aplicación de las materias básicas en la carrera de Ingeniería Mecánica, se puede rápidamente concluir que en la mayoría de estas asignaturas la utilización del cálculo como herramienta también es fundamental y muy importante, pero con la diferencia de que al ser menor el grado de profundidad con que se abordan los temas, ergo menor es el grado de sofisticación de las herramientas de cálculo empleadas.

Las materias no técnicas, desde el punto de vista de la técnica ingenieril, también utilizan a la matemática como herramienta, aunque de un modo muy distinto al que lo hacen las materias técnicas. Mientras que éstas últimas, como se dijo anteriormente, hacen un uso intensivo del cálculo, las materias no técnicas hacen un uso más intensivo de la estadística (Carretero, Raquel Caro, 2002: 269:270). Esto tiene que ver con que los fenómenos económicos no son predecibles en su totalidad (es decir, siempre existe algún un grado de incertidumbre) (Carretero, Raquel Caro, 2002: 269:270), y por ende la utilización de la matemática determinista resulta menos confiable, tomando más relevancia la estadística y la probabilidad.

Un indicador que avala lo que se está diciendo se obtiene al analizar las materias que son correlativas con la materia básica Probabilidad y Estadística. Mientras que en Ingeniería Industrial dicha asignatura bloquea de manera directa doce materias específicas (Universidad Tecnológica Nacional, 2006: 18-19), en la carrera de Ingeniería Mecánica sólo hace lo propio con dos de ellas (Universidad Tecnológica Nacional, 2004: 18-19).

El problema aparece al considerar que Probabilidad y Estadística se dicta con el mismo grado de profundidad en ambas carreras y que en Ingeniería Industrial no existe otra materia que profundice en el tema ni tampoco que lo tome como herramienta para abordar algún tipo de aplicación como podría ser el análisis de datos.

Es aquí donde nace la hipótesis o consideración de que la carrera de Ingeniería Industrial en la Universidad Tecnológica Nacional debería abordar de manera más profunda a la estadística y el

análisis de datos. El campo del análisis de datos ha avanzado mucho en las últimas décadas gracias a la gran posibilidad que ofrecen las tecnologías de información y comunicación de recopilar y procesar una gran cantidad de datos, y a partir de ellos descubrir patrones y crear conocimiento. Es por ello que, mientras que antes el análisis de datos se limitaba solamente al estudio de la estadística avanzada, hoy en día se habla de la *ciencia de los datos*, que es una disciplina que combina conocimientos avanzados de la estadística y de las ciencias de la computación.

### Análisis de encuestas

El objetivo de la encuesta era descubrir cuáles son los contenidos dictados en materias básicas que se utilizan como herramienta en los proyectos finales de carrera con mayor frecuencia. Al obtener esta información, por añadidura también se podrán conocer cuáles son los contenidos que menos se utilizan. Para ello se confeccionaron dos cuestionarios distintos, es decir, uno para alumnos de Ingeniería Industrial y el otro para alumnos de Ingeniería Mecánica, en donde la única condición necesaria para responder el mismo es la de haber cursado la materia Proyecto Final en los años 2018, 2019 o 2020 y tener el trabajo avanzado, medianamente avanzado o aprobado.

El cuestionario constaba de varias preguntas, pero dado el nivel de extensión que debe tener este trabajo, solamente se hará un análisis sobre los resultados de la pregunta vinculada a qué ramas del conocimiento pertenecen los contenidos en los cuales tuvieron que profundizar los encuestados. En primer lugar, hay que decir que del total de estudiantes de Ingeniería Industrial que respondieron la encuesta (74), el 37,3% (28) asintió haber tenido que profundizar en alguno de los contenidos que se dictaron en materias básicas o que tienen algún tipo de asociación con ellas, para poder utilizarlos como herramienta en su proyecto final de carrera.

#	Ítem	Frecuencia relativa
1	Manejo de TIC's/herramientas informáticas/programación	64,3%
2	Data mining/análisis de datos	57,1%
3	Estadística	39,3%
4	Probabilidad	32,1%
5	Economía general	25,0%
6	Cálculo en una variable	21,4%
7	Inglés	14,3%
8	Cálculo multivariable	7,1%
9	Álgebra lineal	7,1%
10	Geometría analítica/geometría euclidiana	3,6%
11	Matemática discreta	3,6%
12	Análisis complejo	3,6%
13	Física newtoniana (mecánica clásica/gravitación)	3,6%
14	Electromagnetismo	3,6%
15	Física moderna	3,6%
16	Legislación/derecho/marco jurídico	3,6%
17	Modelado y simulación	3,6%
18	Cálculo avanzado/ecuaciones diferenciales	0,0%

**Tabla 1.** Ramas del conocimiento profundizadas y su frecuencia relativa de aparición (Ing. Industrial).

En la *Tabla 1* se muestran las opciones que se dieron para que los encuestados elijan a qué rama(s) del conocimiento pertenece(n) el(los) contenido(s) en el(los) cual(es) tuvieron que profundizar, ordenados de mayor a menor respecto a frecuencia relativa de aparición para el cuestionario de alumnos de Ingeniería Industrial.

Se observa que cada una de estas ramas del conocimiento se corresponde con una materia básica (no sólo del bloque de Ciencias Básicas) o con una aplicación de la misma. Los resultados indican que un gran porcentaje de los encuestados manifestaron haber tenido que profundizar en temas relacionados con el análisis de datos/data mining así como en la herramienta base de esta aplicación que es la estadística y la probabilidad. Para contrastar y mostrar que esta es una problemática propia de la Ingeniería Industrial, la misma pregunta, pero realizada a alumnos de Ingeniería Mecánica arrojó resultados muy diferentes: el ítem 3 de la tabla anterior obtuvo un 9,5% ubicándose en el octavo lugar, en tanto que los ítems 1 y 4 obtuvieron ambos un 4,8% terminando así ambos en la undécima posición. Por último, y muy sorpresivamente, el ítem 2 obtuvo un 0%, ubicándose por ende en la última posición de la tabla.

### **Conclusión**

Puede que los resultados a los que arribaron no sean suficientes para probar en su totalidad la consideración planteada al principio. En tal caso queda planteada la problemática para abrir camino a nuevas investigaciones o bien para aportar material de apoyo a las personas o grupos de trabajo que probablemente ya estén abocados a la misma. En el caso de tomar la hipótesis como válida, los caminos a seguir pueden ser varios y diversos, como por ejemplo propuestas a analizar para plantear reformas al plan de estudios que impliquen agregar y quitar – o bien reformular – ciertas asignaturas con el objetivo de minimizar o eliminar los puntos mejorables del plan actual. Todo ello también será objeto de estudio.

Por último, es necesario aclarar que más allá de las críticas planteadas al plan de estudios durante el desarrollo del trabajo, todas ellas fueron realizadas con el objetivo de plantear una problemática que desde el punto de vista de los autores podría llegar a aportar al mejoramiento del plan de estudios de una carrera cuyos puntos fuertes y aspectos positivos son mayoritarios y están a la vista.

### **Bibliografía**

- Carretero, Raquel Caro (2002). *Introducción a la Economía: 100 preguntas clave y sus respuestas*. Madrid: S.L. – DYKINSON, 269-270.
- Di Paolo, José (2013). *Mecánica de los Fluidos. Aspectos Teóricos Introductorios para Ingeniería*. Ciudad de Santa Fé: Imprenta Acosta Hnos., 3-5.
- Freedman, Roger A. y Young, Hugh D. (2009). *Física Universitaria, con física moderna volumen 2*. México D.F.: Editorial Impresora Apolo, IX-X.
- Norton, Robert L. *Diseño de Maquinaria*. México D.F.: McGraw-Hill, XI-XIII.
- Universidad Tecnológica Nacional (2004). *Ordenanza N° 1027*. Buenos Aires, 24-25.
- Universidad Tecnológica Nacional (2006). *Ordenanza N° 1114*. Buenos Aires, 20-36, 18-19.
- Zadin, Kjell B. (2004). *Maynard's Industrial Engineering Handbook*. McGraw-Hill, 1.21-1.22.



## Estudio y propuesta de obras de expansión del sistema interconectado provincial de Corrientes con cambio de estrategia de operación de los enlaces interprovinciales



Destacados por cantidad de "ME GUSTA" en las fechas del evento

## Study and proposal of expansion works in Corrientes' interconnected system with a change in the operating strategy of interprovincial links

**Emanuel Ordoñez**

Centro de Investigación y Desarrollo en Ingeniería Eléctrica y Sistemas Energéticos (CIESE)  
(Lavaise 610, Santa Fe), Facultad Regional Santa Fe, UTN  
[emanuel.ordonez@hotmail.com](mailto:emanuel.ordonez@hotmail.com)

**Resumen:** En el presente trabajo se evalúan diferentes alternativas de obras para mejorar la calidad de servicio de la red de transmisión en 132 kV que abastece la provincia de Corrientes con el objetivo de minimizar su dependencia de abastecimiento desde los enlaces interprovinciales de alta tensión. Se efectúa el modelado de la red en estudio y se evalúan sus parámetros eléctricos operativos, tal que permitan diagnosticar el estado de la red y su capacidad remanente. Luego, se determinan indicadores de confiabilidad y niveles de demanda no abastecida que puedan producirse actualmente y para un horizonte de crecimiento de 20 años. Los resultados obtenidos corroboran la efectividad y la utilidad práctica de la metodología propuesta para comparar y priorizar un conjunto de obras, necesarias para el abastecimiento a largo plazo del sistema de transmisión estudiado.

**Palabras claves:** costos operativos, energía no suministrada, plan de expansión, relación beneficio-costos.

**Abstract:** The present work seeks to evaluate different alternatives for electrical changes to improve the quality of service of the 132 kV transmission network that supplies the province of Corrientes with the aim of minimizing its dependence on supply from high-voltage interprovincial links. The network under study is modeled and its operational electrical parameters are evaluated, allowing a diagnosis of the state of the network and its remaining capacity. Then, the reliability indicators and the levels of unsupplied demand that can be produced at present and for a 20-years span are determined. The results obtained corroborate the effectiveness and practical use of the proposed methodology to compare and prioritize a set of works, necessary for the long-term supply of the transmission system studied.

**Key words:** operating costs, unsupplied energy, expansion planning, cost-effectiveness ratio.

## Introducción

La planificación de un sistema eléctrico de potencia es un problema habitual que importa para su preparación, funcionamiento y desarrollo (Paciernik et al., 2003). Su principal objetivo es la toma de decisiones sobre nuevos componentes del sistema, así como la actualización de los existentes para abastecer la carga futura.

El problema de la planificación de la expansión del sistema de energía se focaliza en determinar cuándo, dónde y cómo se deben actualizar los sistemas de generación, transmisión y distribución para satisfacer adecuadamente la demanda, así como para garantizar que se satisfaga la confiabilidad del sistema. Este es un proceso complejo debido a la ambigüedad del avance del sector eléctrico en el futuro (Praveen et al., 2018).

Por lo tanto, la estimación de la demanda eléctrica y la inversión en nuevas obras, son elementos cruciales en la cadena de valor del suministro de energía. Si se tiene una gran brecha entre la demanda y la oferta estimada puede conducir a escasez como también a costos por mantenimiento de centrales generadoras inutilizadas (Negi et al., 2018).

Debido a esto, en este trabajo se propone seleccionar un conjunto de obras a implementar para disminuir y/o evitar costos futuros por falta de capacidad del sistema para suministrar energía con los niveles de calidad reglamentados. Como sistema de estudio, se utiliza el Sistema Interconectado Provincial (SIP) en 132 kV de la Provincia de Corrientes, con un período de análisis de 20 años y considerando fuera de servicio los enlaces de interconexión en 132 kV con otros SIPs.

## Descripción del sistema en estudio

La provincia de Corrientes posee un SIP de alta tensión (AT) en 132 kV conformado por líneas aéreas de AT, cuyas trazas aproximadas se observan en la imagen satelital de la Figura 1.

La red se encuentra vinculada al Sistema Argentino de Interconexión (SADI) en 500 kV a través de las Estaciones Transformadoras (ET) Rincón (RCO), Paso de la Patria (PDP) y Mercedes (MCS) 500/132 kV con una potencia instalada de 300 MVA cada una.

En 132 kV, la red se encuentra mayormente anillada, con excepción de un único corredor radial de 100 km que abarca desde la ET Goya hasta la ET Esquina. Además, posee dos conexiones interprovinciales en 132 kV, una vincula las ETs de Corrientes con la ET Resistencia (Provincia de Chaco) y la otra, la ET Monte Caseros con la ET Chajarí (Provincia de Entre Ríos). La red posee en total aproximadamente 1467 km de líneas aéreas de 132 kV. En la figura 1 se observan en un trazo rojo las líneas de 500 kV y en trazo azul las líneas de 132 kV.



Figura 1. Red eléctrica de Corrientes. Geosadi – Cammesa.

Para escenarios de demanda pico, el SIP alcanza niveles de demanda cercanos a los 620 MVA de los cuales aproximadamente un 10% se abastece por GD. En términos globales, la potencia de GD instalada es del orden de los 110 MW.

Por último, con respecto a la demanda, la misma se concentra prácticamente en un 50% en la ciudad de Corrientes capital y un 67% entre las ciudades que lindan al río Paraná.

## Consideraciones generales adoptadas para las simulaciones

Para el modelado y las condiciones de operación admisibles de la red, se adoptaron los siguientes supuestos:

- ✓ Adopción de los niveles de calidad del producto técnico exigidos en el Anexo 27 de Los Procedimientos de CAMMESA (Cammesa, 2012).
- ✓ Se adopta como límite de capacidad de transmisión de potencia de las LAT al límite térmico-mecánico impuesto por sus conductores.
- ✓ El límite admisible de condiciones normales de operación de transformadores de potencia (132/33/13,2 kV y 500/132 kV) corresponde a la capacidad nominal de la máquina, impuesta por el fabricante según su diseño.
- ✓ El método de cálculo que se utiliza es Newton-Raphson desacoplado rápido.
- ✓ La tasa de crecimiento interanual de la demanda del SIP de Corrientes es 3%, valor adoptado en el estudio y considerado constante para el período de análisis.
- ✓ Se considera un periodo de estudio de 20 años y los enlaces interprovinciales fuera de servicio.

## Determinación de obras a implementar

En otro trabajo previo, el autor y otros investigadores realizaron un primer estudio de diagnóstico del SIP de Corrientes, identificando sus fortalezas y debilidades, y valorizando sus costos de operación proyectados para el período de análisis de 20 años (Manassero, et al, 2021). en función a los resultados obtenidos, se identifica que las principales limitaciones del sistema se encuentran en el sector oeste de la provincia que concentra los mayores niveles de demanda, en combinación con redes débiles caracterizadas por una baja potencia de cortocircuito y escasas alternativas de reconfiguración.

A partir de simulaciones de flujo de carga para los escenarios de demanda proyectados para los sucesivos años, se identificaron las restricciones operativas, y en base a las mismas se propusieron un total de 6 obras principales, cuya descripción y costo total se presenta en la Tabla 1. Por otra parte, en la Tabla 2 se muestra la fecha temprana de ingreso en servicio requerido de cada una de estas obras. En este sentido, es dable destacar que en el año 7 se presentan dos condiciones inadmisibles en distintas partes del sistema, por lo que resulta necesario ejecutar dos obras. No obstante, resulta probable que las restricciones presupuestarias de la empresa y/o su capacidad de gestión y recursos humanos impidan la ejecución simultánea de dos obras de gran envergadura en un año. Por estos motivos, se efectúa un análisis de rentabilidad “beneficio-costo” de las dos alternativas de obras, con el propósito de establecer un orden de prioridad de ejecución más conveniente.

<b>Obra 1</b>	Ampliación ET Paso de la Patria con un transformador de 150 MVA	\$ 11.536.412
<b>Obra 2</b>	ET GOYA 500 kV: 120 km de línea de sección 300/50 para 500 kV desde Mercedes a Goya, Transformador de 150 MVA y línea simple de sección 240/40 para 132kV	\$ 139.978.518
<b>Obra 3</b>	Cable subterráneo de 9,4 km de longitud desde ET Corrientes Este a ET Corrientes	\$ 7.286.933
<b>Obra 4</b>	Repotenciación de ET Paso de la Patria reemplazando el transformador de 150 MVA por uno de 300 MVA	\$ 6.000.000
<b>Obra 5</b>	Ampliación de ET Goya incorporando otro transformador de 150 MVA	\$ 11.536.412
<b>Obra 6</b>	Banco de capacitores de 67,5 MVar en C.Brugne	\$ 8.561.412

**Tabla 1. Obras propuestas para la red eléctrica en estudio.**

Años	Caso 1	Caso 2
2	Obra 1	Obra 1
7	Obra 2	Obra 3
10	Obra 3	-
11	-	Obra 2
13	Obra 4	Obra 4
16	Obra 5	Obra 5
19	Obra 6	Obra 6

Tabla 2. Años de ingreso de cada obra según el caso.

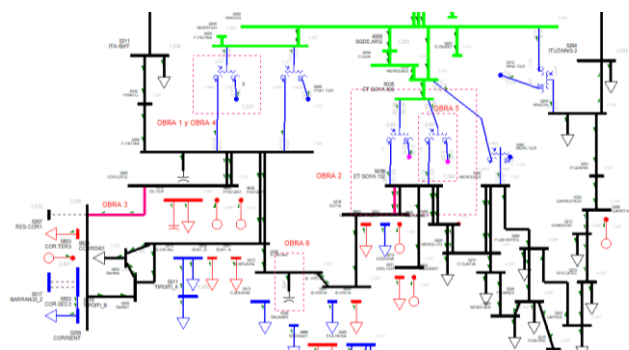


Figura 2. Modelo eléctrico del SIP de Corrientes con implementación de obras.

### Determinación de costos para la red con o sin obras

Para realizar la valorización económica de cada obra se deben determinar los costos que involucra cada una en la operación del sistema. Entre estos costos se diferencian las penalizaciones por Energía No Suministrada (ENS), el despacho forzado de Generación Distribuida (GD), las Pérdidas eléctrica del sistema (PE) y los costos de operación y mantenimiento.

A los fines de efectuar un análisis comparativo de la red para caso “con obras” y “sin obras”, la metodología propuesta se fundamenta en el cálculo de los costos para la red base, y luego la obtención de los mismos valores, pero con la obra “n” en servicio. Seguidamente, se calculan los costos con la siguiente obra listada en la Tabla 2, pero contabilizando los supuestos ahorros en los costos totales del SIP, con respecto a la configuración de red con la anterior obra ingresada en servicio.

Para el período de análisis se confecciona un flujo de caja económico calculando, para cada año, el flujo de fondos (F) como la diferencia entre los Ingresos y Egresos del proyecto (ver figura 3). Los ingresos del proyecto incluyen: ahorros por ENS evitada, ahorros por pérdidas de energía evitadas y valor residual de las instalaciones. Por otro lado, los egresos del proyecto involucran: inversión de la obra, costos de OyM de la infraestructura eléctrica nueva y costos de generación de energía forzada por GD.

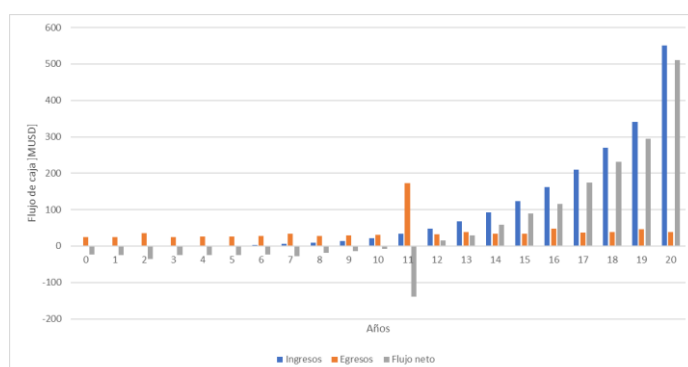


Figura 3. Flujo de caja para caso 2 con todas las obras instaladas.

A partir de los resultados obtenidos, las diferentes alternativas de obra se analizan comparativamente, seleccionando aquella que resulte en la mejor relación beneficio/inversión, de acuerdo con la relación entre el Valor Actual Neto (VAN) y la Inversión a Valor Presente ( $I_{VP}$ ), adoptando una tasa de descuento del 9% (ver Figura 4). Los indicadores obtenidos para cada obra son positivos en ambos casos, por lo que el valor actualizado de los cobros y pagos futuros de la inversión, a la tasa de descuento elegida generará beneficios. Con respecto a la secuencia cronológica de ejecución de las obras, el Caso 2 constituye la mejor solución técnica y económica para mejorar las condiciones de calidad del producto y del servicio técnico de largo plazo de la red que abastece la provincia de Corrientes.

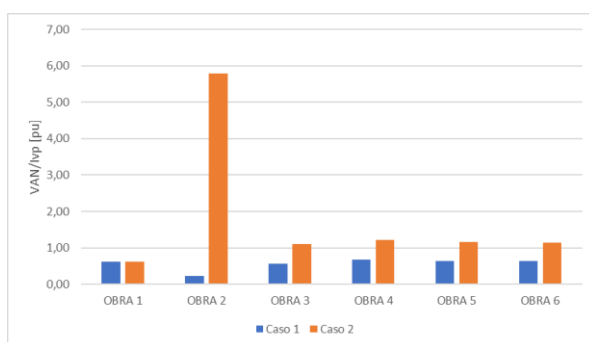


Figura 4. Indicadores económicos para cada caso y obras.

## Conclusiones

En función a los resultados obtenidos en las simulaciones eléctricas y las evaluaciones económicas, se concluye que una correcta planificación y elección de obras para un sistema de potencia trae como beneficios una gran disminución en los costos del sistema, mejorando su alcance de abastecimiento de demanda y su confiabilidad. El aumento de costos en OyM se compensa con los ahorros económicos en pérdidas de energía, despacho de GD y penalizaciones por ENS.

El hecho de que las pérdidas y la GD despachada disminuyan o, por lo menos, se mantengan constante en el tiempo, deja en evidencia un aumento en la eficiencia del sistema ya que la energía generada será mejor aprovechada y, además, la cantidad de emisiones proyectadas a futuro serán menores.

Por otro lado, la construcción de nuevas obras confiere a la red una mayor flexibilidad en caso de fallas y también permite menores exigencias de los componentes del sistema, lo que conlleva un mejor rendimiento y respaldo ante condiciones extremas.

## 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. Pp: 1-12.
- Manassero, U., Ordoñez, E., Fernández, J. P., Torres, J. L., Banegas, J. M. (2021). Metodología para cálculo de costos operativos de sistemas eléctricos de potencia. *Tercer Congreso Latinoamericano de Ingeniería (CLADI 2021)*.
- Negi, A., & Kumar, A. (2018, April). Long-term Electricity Demand Scenarios for India: Implications of Energy Efficiency. *2018 International Conference on Power Energy, Environment and Intelligent Control (PEEIC)* (pp. 462-467).
- Paciornik, N., Ferland, J. A., & Cleroux, R. (2003). The electrical distribution network planning problem. *International Transactions in Operational Research*, 10(1), 77-87.
- Praveen, P., Ray, S., Dasl, J., & Bhattacharya, A. (2018, March). Multi-Objective power system expansion planning with renewable intermittency and considering reliability. In *2018 International Conference on Computation of Power, Energy, Information and Communication (ICCPEIC)* (pp. 424-429). IEEE.

## Control de acceso libre de contacto.

### Contact-free access control.

**Juan P. Marcon**

Grupo de Investigación en Programación Eficiente y Control – Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Reconquista.

[jmarcon2318@comunidad.frrq.utn.edu.ar](mailto:jmarcon2318@comunidad.frrq.utn.edu.ar)

**Mateo Bassani**

Grupo de Investigación en Programación Eficiente y Control – Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Reconquista.

[mbassani2419@comunidad.frrq.utn.edu.ar](mailto:mbassani2419@comunidad.frrq.utn.edu.ar)



#### Resumen:

Este proyecto nace con el objetivo de solucionar una problemática muy común en la situación actual, relacionada con el COVID: mejorar el proceso de administración y control de información en controles de acceso a establecimientos y disminuir el riesgo de contagio.

Para esto, se desarrolla un dispositivo que sea capaz de efectuar esta tarea. El mismo cuenta con los medios necesarios para identificar a la persona, desarrollar el proceso de medición de temperatura y comunicarse con un servidor, con el cual intercambia información. Todo este proceso se lleva a cabo de forma automática y libre de contacto.

A diferencia de los métodos actuales, esta solución presenta una mejor organización de la información, la cual es más fiable y tiene menor probabilidad de falsificación, además de automatizar y agilizar el proceso de ingreso al establecimiento.

#### Palabras clave:

Control, COVID, Temperatura, Automatización, Registros.

#### Abstract:

This project was created with the aim of solving a very common problem in the current situation related to COVID: to improve the process of administration and control of information of access to establishments and reduce the risk of infection.

To accomplish this purpose, a device is developed to do the task. It is intended to identify the person, develop the temperature measurement process and allow the communication process with a server to make easier to exchange information. This process is carried out automatically and free of contact.

Unlike current methods, this solution presents a better organization of information, making it more reliable and decreasing the probability of falsification. Additionally, it speeds up and automatizes the process of entering the establishment.

#### Keywords:

Control, COVID, Temperature, Automation, Register.

## **Introducción:**

Frente a la situación actual que se encuentra transitando la sociedad, relacionada al COVID, han surgido gran cantidad de problemas. Muchos de ellos son posibles de solucionar mediante invenciones tecnológicas novedosas y efectivas, como lo es este proyecto.

Todos los establecimientos donde concurra un caudal de personas considerable, tales como instituciones públicas, empresas y lugares de reunión cerrados están obligados a realizar un registro de acceso de las personas, en las cuales se tienen sus datos principales (Nombre, DNI, medios de comunicación, domicilio, etc.) y en lo posible, un control de temperatura corporal. Este último aspecto utilizado con el fin de detectar y prevenir posibles casos de infectados.

Frente a lo mencionado en el párrafo anterior se han confeccionado una serie de protocolos para llevar a cabo este proceso, conformados por pasos que disminuyan la probabilidad de contagio. Sin embargo, estos procedimientos y los medios implementados presentan problemas muy graves en relación con la administración de la información brindada, su archivo y el riesgo que sigue presentando aun respetando las advertencias.

Con el fin de agilizar el procedimiento y brindar mayores condiciones de seguridad sanitaria e higiene se ha llevado a cabo el presente proyecto, resumiéndose en un dispositivo que es capaz de cumplir con todas las funciones establecidas por los protocolos y asegurando una manipulación segura de la información.

## **Desarrollo:**

El principal problema detectado es que los mecanismos implementados presentan un método inadecuado para las condiciones que se manejan, siendo en muchos casos los mismos usuarios los que se deben realizar el control de temperatura y anotarlo en la planilla a mano. De esto último se presentan dos condiciones que no resultan buenas para la situación: la primera, relacionada con dichas planillas, generalmente estas pueden sufrir falsificaciones en relación con los datos que cada persona aporte, ya sean datos personales o la condición de testeo de temperatura. Es importante mencionar que estos archivos muchas veces terminan desechándose antes de lo debido. El segundo aspecto observado, es el riesgo de exposición que se presenta al momento que cada persona debe manipular elementos que los demás también utilizan, tales como termómetro y lapicera que a pesar de utilizar los medios necesarios para higiene y desinfección no se asegura que se elimine totalmente el riesgo de contagio por contacto.

En base a lo anterior mencionado, se desarrolla este equipo que tiene como principales características:

- Registro de datos fiables, dificultad de falsificación.
- Todo el proceso se lleva a cabo sin contacto: identificación y toma de temperatura sin necesidad de tocar nada.
- Almacenamiento de datos en una nube y disposición de estos para análisis.
- Notificación de condición de acceso.
- Proceso rápido, eficiente y seguro.
- Control de acceso de personal.

Cabe destacar que todo el sistema descrito funciona en un sistema embebido, el cual permite realizar todas las funciones necesarias a un bajo costo, ofreciendo una gran versatilidad para

distintos campos de aplicación, ya sea instituciones públicas, privadas, lugares de alta concurrencia, áreas restringidas y demás.

El dispositivo esta conformado por el siguiente hardware:

- Microcontrolador: es el encargado de comandar todas las funciones a realizar en el proceso. El mismo integra un módulo de conexión wifi, lo que le permite comunicarse directamente con el servidor que aloja las bases de datos necesarias.
- Pantalla LCD: Utilizada para comunicar el estado del proceso y otra información importante para el usuario durante el mismo.
- Lector de tarjetas RFID: Este elemento permite leer tarjetas RFID, las cuales sirven para identificar a cada usuario.
- Tarjetas RFID: Como se menciona en el punto anterior, identifica a cada usuario del sistema, por lo que la misma es única para cada uno de ellos.
- Sensor de temperatura infrarrojo: Es el encargado de tomar las muestras de temperatura corporal de la persona. Gracias a su principio de funcionamiento infrarrojo es posible realizar la lectura libre de contacto.
- Sensor de distancia ultrasonido: Sirve como elemento auxiliar para poder realizar mediciones de forma correcta. Mediante la pantalla LCD se notifica si es necesario acercarse o alejarse del punto de medición.
- LEDs: Estos componentes funcionan como fuente de notificación visual para acompañar al texto mostrado en pantalla. En caso de que el acceso sea denegado, se enciende el LED rojo y si se permite el acceso se enciende el LED verde.
- Buzzer (Zumbador): Funciona de forma complementaria con los LED, notificando de forma sonora el estado del acceso.



*Figura 1. Prototipo del dispositivo*

En relación con el desarrollo de software necesario para el funcionamiento del equipo, se divide en dos partes principales:

- Código que corre el dispositivo:

El código que permite el funcionamiento del equipo fue desarrollado en Visual Studio Code, bajo un lenguaje de programación derivado de C++, el cual presenta algunas modificaciones que simplifican gran parte del desarrollo, comúnmente utilizado para la programación de placas de desarrollo "Arduino".



El mismo permite la implementación de librerías, las cuales son paquetes que permiten programar de manera más sencilla ciertos procesos, ya sea para funciones internas como control de hardware externo, tales como el sensor de temperatura, pantalla LCD, lector de tarjetas RFID y demás.

Para la comunicación de los dispositivos se utilizan protocolos de comunicación tales como  $I^2C$  y SPI.

- Servidor:

En la etapa de prototipado del equipo se trabajó sobre la plataforma NODE-RED, implementando una base de datos en SQLite. La comunicación entre las dos partes, es decir, terminal y servidor se realiza mediante MQTT.

El servidor puede correr tanto en una PC como en una Raspberry Pi.

El procedimiento que desarrolla el equipo es el siguiente:

- 1) Identificar mediante la lectura de la tarjeta RFID al usuario.
- 2) Comprobar que esté registrado en la base de datos. Si se encuentra registrado, se procede al siguiente paso, caso contrario se notifica y se suspende el proceso.
- 3) Mostrar el nombre a modo de confirmación y notificar que comenzará la lectura de temperatura corporal.
- 4) Tomar las muestras. Para este paso, se hace uso del sensor de temperatura infrarrojo y el sensor ultrasonido de distancia. Si la zona a medir se encuentra demasiado cerca o lejos del sensor se notifica y se aguarda a que se encuentre en el rango nominal. En caso de que los valores medidos no se encuentren dentro del orden normal de temperatura corporal humana, también se notifica y espera hasta que el valor regrese a la normalidad. Esto último puede producirse por dos motivos: error en la medición o intento de falsificación de la medida. Si la distancia de medición y la temperatura están en rangos aceptables, se procede a tomar una serie de muestras para una mayor precisión de la medición.
- 5) En función del valor de temperatura medido, se notifica si la persona está habilitada o no para ingresar al establecimiento. En este punto es posible implementarse un sistema auxiliar que permita realizar otras acciones en función de la condición.
- 6) Enviar el valor de temperatura determinado al servidor para ser almacenado con los datos personales.

### **Conclusiones:**

El equipo se encuentra en etapa de prototipado y funcional, en busca de algún establecimiento en el cual sea posible implementarlo bajo observación para realizar ajustes y mejoras antes de poder ser ofrecido como una solución completa. Potenciales entornos de aplicación para llevar a cabo esta etapa son instituciones donde se tenga un flujo de personas moderado, con el objetivo de poder obtener una muestra lo suficientemente significativa para estudiar el desempeño del equipo, detectar sus fallas y recibir recomendaciones de los usuarios para realizar las correcciones correspondientes.

A partir de la retroalimentación obtenida en el proceso mencionado anteriormente se tiene planificado trabajar sobre las mismas con el fin de mejorar el funcionamiento e implementar métodos que aporten a la seguridad relacionada a los datos que presenten potenciales

posibilidades de falsificación, además de agregar características que permitan implementarlo en distintas áreas y cumplir otras funcionalidades relacionadas.

### **Agradecimientos:**

Se agradece el apoyo y colaboración del ingeniero Iván Talijancic para poder llevar a cabo el presente proyecto.

### **Referencias:**

Testo. “Medición de temperaturas corporales elevadas con termómetros IR – Algunas consideraciones”. Disponible en < [https://static-int.testo.com/media/d8/c9/863e35b9a909/ar\\_deteccion\\_fiebre\\_testo.pdf](https://static-int.testo.com/media/d8/c9/863e35b9a909/ar_deteccion_fiebre_testo.pdf)>.

Espressif (2020). “Datasheet for ESP8266EX”. Disponible en < [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf)>.

Melexis (2019). “Datasheet for MLX90614”. Disponible en < <https://www.melexis.com/en/documents/documentation/datasheets/datasheet-mlx90614>>.

Melexis (2020). “Thermal and mechanical design recommendations for IR products”. Disponible en < <https://www.melexis.com/en/documents/documentation/application-notes/application-note-thermal-mechanical-design-recommendations-ir-products>>.

Melexis (2020). “Medical-grade temperature sensor”. Disponible en < <https://www.melexis.com/en/documents/documentation/application-flyers/applications-flyer-medical-thermometer>>.

## Desarrollo y generación de material didáctico para la enseñanza de cinemática en ingeniería.

### Development and generation of didactic material for teaching kinematics in engineering

**Brian J. Zorzon**

*Grupo de Diseño Mecánico - Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Reconquista.*  
[bzorzon2334@comunidad.frrq.utn.edu.ar](mailto:bzorzon2334@comunidad.frrq.utn.edu.ar)

**Ezequiel L. Pappano**

*Grupo de Diseño Mecánico - Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Reconquista.*  
[epappano2373@comunidad.frrq.utn.edu.ar](mailto:epappano2373@comunidad.frrq.utn.edu.ar)

**Juan P. Marcon**

*Grupo de Diseño Mecánico - Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Reconquista.*  
[jmarcon2318@comunidad.frrq.utn.edu.ar](mailto:jmarcon2318@comunidad.frrq.utn.edu.ar)

**Lucas D. Snaider**

*Grupo de Diseño Mecánico - Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Reconquista.*  
[lsnaider2324@comunidad.frrq.utn.edu.ar](mailto:lsnaider2324@comunidad.frrq.utn.edu.ar)

**Marcos Peresón**

*Grupo de Diseño Mecánico - Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Reconquista.*  
[mpereson1700@comunidad.frrq.utn.edu.ar](mailto:mpereson1700@comunidad.frrq.utn.edu.ar)

**Resumen:** La cinemática es la rama de la mecánica que describe el movimiento de los cuerpos sin considerar las causas que lo originan.

Resulta de gran importancia el correcto entendimiento de este concepto en la ingeniería, debido a que se puede explicar el movimiento de cualquier cuerpo existente con la cinemática. Mediante el presente proyecto se propone la creación de material didáctico que permita vincular los conceptos teóricos prácticos desarrollados en la cátedra de Mecánica y Mecanismos. Mediante la implementación de placas de desarrollo se analiza el comportamiento físico del mecanismo y posteriormente se procesa mediante software para hacer un completo análisis cinemático.

Los elementos mecánicos han sido desarrollados en la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Reconquista (UTN FRRq) en el marco del Laboratorio de Tecnologías de Fabricación Digital, mientras que el apartado electrónico y de procesamiento de datos se ha desarrollado en el área en el Grupo de Investigación en Programación Eficiente y Control.

**Palabras clave:** cinemática; estudio; programación; control.

**Abstract:** Kinematics is the branch of mechanics that describes the movement of bodies without considering the causes that originate it.

The correct understanding of this concept is of great importance in engineering because, because the motion of any existing body can be explained with kinematics. Through this project,

the creation of didactic material is proposed that allows to link the practical theoretical concepts developed in the chair of Mechanics and Mechanisms.

Through the implementation of development boards, the physical behaviour of the mechanism is analysed, and then processed by software to make a complete kinematic analysis.

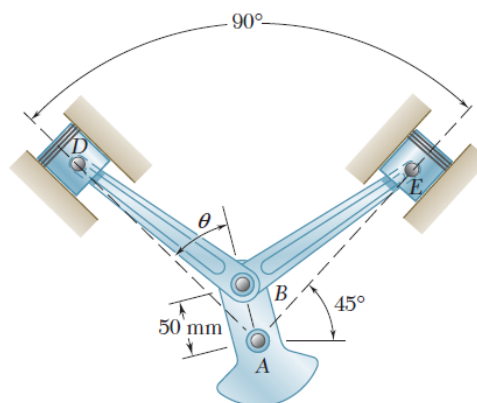
The mechanical elements have been developed at the National Technological University Reconquista Regional Faculty within the framework of the Laboratory of Digital Manufacturing Technologies, while the electronic and data processing section has been developed in the area in the Research Group on Efficient Programming and Control.

**Keywords:** kinematics; studies; programming; control.

**Introducción** Este proyecto surge de la necesidad de crear herramientas didácticas con las cuales los estudiantes de la cátedra de Mecánica y Mecanismos del tercer año de Ingeniería Electromecánica de la UTN FRRq podrán tener una mejor comprensión de los temas dictados y una mejor interpretación de los resultados calculados.

La idea planteada consiste en sistemas modulares que pueden implementarse en distintos mecanismos y obtener información correspondiente al movimiento del mismo, de tal forma que los estudiantes podrán ir modificando las velocidades de rotación del sistema y ver cómo van variando las distintas variables medidas en función de la velocidad de excitación.

**Desarrollo** Para poder llevar a cabo este proyecto, en primer lugar, se seleccionó de la bibliografía utilizada un mecanismo plano de interés de la cátedra, en este caso es un motor en V (Figura 1), a partir de la cual se desarrolló un modelo 3D en el software Autodesk INVENTOR (Figura 2)



**Figura 1 - Motor en V. Beer, Johnston y Cornwell (2010)**

El mecanismo modelado se lo construirá en madera de pino, los espesores de los componentes, pueden ser de 5 mm o de 18 mm, dependiendo del componente y las vinculaciones entre los distintos componentes se lo realizará con ejes torneados de acero los cuales disponen de rodamientos SKF 6201. Todo el mecanismo será accionado por un motor paso a paso NEMA 23 en un rango de 70 a 100 rpm.

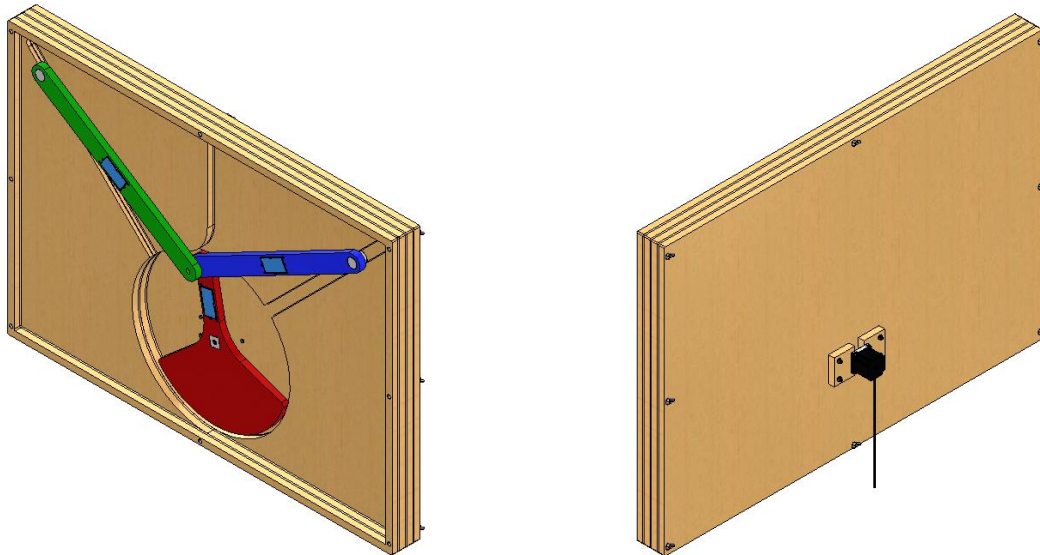


Figura 2 - Modelo 3D del motor en V

La parte de mediciones se lo realizará con un Sistema Modular de Medición Inalámbrico (SMMI) (Figura 3) está compuesto por un acelerómetro MPU 6050 que posee seis grados de libertad (Figura 4), dicho sensor es controlado por la placa de desarrollo con comunicación Wemos d1 mini ESP8266, la cual genera paquetes de tres mediciones de aceleraciones, los cuales son enviados mediante WIFI a un ordenador o PC, en donde se desarma o descomprime esos paquetes y se los almacena para su posterior adecuación y procesamiento para poder generar las funciones de aceleraciones angulares, estos dos últimos pasos se lo realiza con el software Wolfram Mathematica.

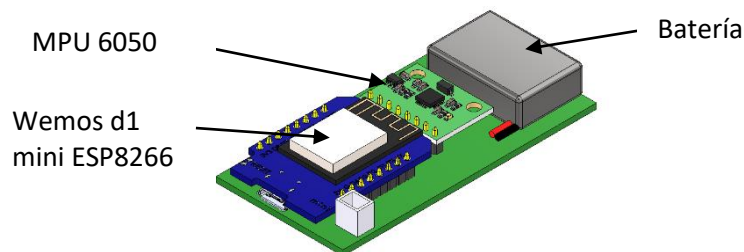


Figura 3 - Sistema de Modular de Medición Inalámbrico (SMMI)

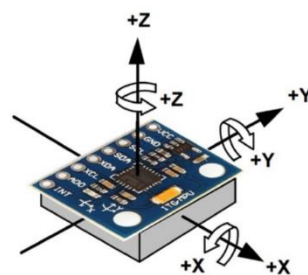


Figura 4 - Acelerómetro MPU 6050

El SMMI se lo colocará dentro de una caja impresa en 3D para poder fijarlo fácilmente al mecanismo, además de que proporciona una buena protección mecánica contra golpes. Esta caja constará de dos partes, una fija y otra extraíble, debido a que se necesita llevar el SMMI a otros mecanismos y también es necesario recargar la batería del mismo.

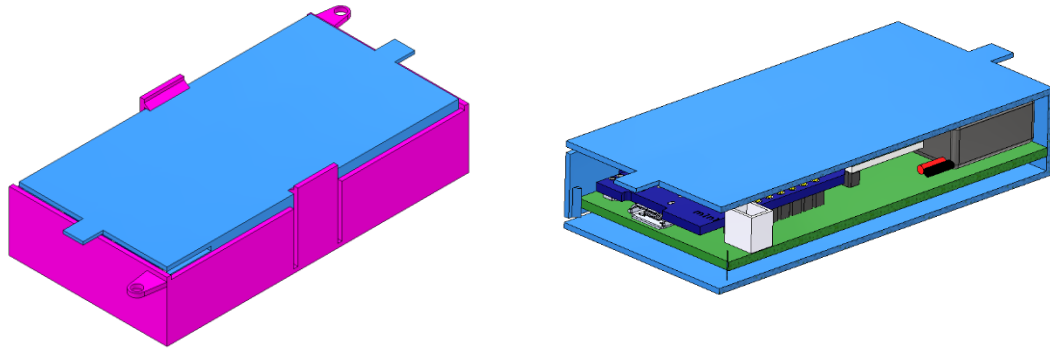


Figura 5 - Caja para el SMMI

Las tecnologías de fabricación utilizadas en este proyecto son: impresora 3D para imprimir la caja para el SMMI, router CNC para el fresado de las piezas del mecanismo, torneado para la fabricación de los ejes de acero que vincularán las distintas piezas del mecanismo y la fabricación de las placas de circuito impreso (PCB por sus siglas en inglés) es de manera artesanal.

**Conclusiones:** Actualmente se está trabajando en la construcción de los dispositivos descritos para llegar a ensayar un primer prototipo capaz de medir las aceleraciones angulares de los distintos elementos de los mecanismos. La visión a futuro es más ambiciosa, se pretende que se puedan medir las aceleraciones y velocidades absolutas y relativas en distintos puntos del mecanismo. Además, se pretende realizar un software o una plataforma en la cual es pueda recibir, procesar y mostrar los datos, para evitar la migración de datos de un software a otro. Logrando así un fácil uso para los alumnos y docentes que lo necesiten, simplificando y modernizando los procesos de medición y visualización de datos.

### Referencias

Beer, F. P.; Johnston, E. R. y Cornwell, P. J. (2010). *Mecánica vectorial para ingenieros dinámica*. México: McGRAW-HILL, 919-1083.

Bedford, A. y Fowler, W. (2008). *Mecánica para ingeniería dinámica*. México: Pearson Educación. 279-363.

**Agradecimientos** Se agradece el apoyo y colaboración de los ingenieros Alejandro Fabbro e Iván Talijancic y el profesor Walter Soto.

## Propuesta Metodológica de un Conjunto de Calificadores para Análisis de Estrategias de Reconfiguración de Redes de Distribución

### Methodological Proposal for a Set of Qualifiers for Analysis of Distribution Network Reconfiguration Strategies

**Nahs Alexander**

Centro de Investigación y Desarrollo en Ingeniería Eléctrica y Sistemas Energéticos (CIESE)  
(Lavaise 610, Santa Fe), Facultad Regional Santa Fe, UTN  
nahsalexander@gmail.com

**Resumen:** En el presente trabajo se efectúa el modelado de una red de distribución de tipo industrial de media tensión y se determinan las fallas a simular, asignando valores de frecuencia y duración de las mismas, según datos estadísticos de referencia. Luego se corren flujos de carga para el conjunto de fallas y se realiza el estudio de las reconfiguraciones en la red, con el objetivo de mejorar la confiabilidad y brindar suministro a las demandas, utilizando como criterio la minimización de sobrecargas y la optimización de tensiones. Con los resultados obtenidos se realiza un análisis comparativo de las diferentes opciones de reconfiguración de la red, focalizadas en los valores de demanda no abastecida, niveles de cargabilidad máximos y perfiles de tensión mínimos obtenidos en la red. Finalmente se obtienen conclusiones orientadas a cuáles son las reconfiguraciones más recomendables a los fines de brindar suministro a los usuarios industriales.

**Palabras clave:** confiabilidad de suministro, fallas, reconfiguración de la red, demandas críticas

**Abstract:** In the present work, the modeling of a medium voltage industrial distribution network is carried out and the faults to be simulated are determined assigning frequency and duration values, according to statistical reference data. Load flows are run for the set of faults and the study of reconfigurations in the network is carried out with the aim of improving reliability and providing supply to demands, using minimization of overloads and optimization of voltages as criteria. With the obtained results, a comparative analysis of the different network reconfiguration options is carried out, focused on the non supplied demand values, maximum chargeability levels and minimum voltage profiles obtained in the network. Finally, conclusions are drawn regarding recommended reconfigurations in order to provide supply to industrial users.

**Keywords:** supply reliability, faults, network reconfiguration, critical demands.

#### 1. Introducción

El crecimiento de la demanda de energía eléctrica y el envejecimiento de los componentes de la red provocan un incremento de las pérdidas de potencia con el consecuente incremento de los costos y de las interrupciones del servicio. Cuando esto sucede, se justifica, tanto desde el punto de vista técnico como económico, mejorar la red de distribución. Esto es posible mediante la reconfiguración de los sistemas de distribución de energía eléctrica, que consiste en alterar la topología de las redes y así reducir tanto las pérdidas como el número de clientes afectados por una falla. Las redes de distribución operan radiales y se construyen anilladas, por lo tanto, es posible intercambiar carga entre un alimentador y otro a través de la apertura o cierre de interruptores hasta obtener un punto de operación adecuado (Fonseca et al., 2017).

En este contexto, el trabajo que se describe a continuación propone una metodología para analizar y priorizar estrategias de reconfiguración frente a un conjunto de fallas simples en torno a una red industrial anillada clásica, conformando un conjunto de calificadores técnicos relacionados con el abastecimiento y la calidad de energía suministrada a usuarios industriales críticos. Finalmente, el objetivo de identificar aquellas fallas más severas, constituye una herramienta clave para la toma de decisiones de la empresa de energía respecto a planes de automatización, flexibilidad de operación y confiabilidad del equipamiento de maniobra y protección que componen la red.

## 2. Metodología

### 2.1. Descripción de la red

El estudio se realiza sobre la red de distribución industrial de 33 kV de la localidad de Puerto San Martín, Provincia de Santa Fe. Esta se abastece por medio de 3 estaciones transformadoras (ETs) 132/33 kV y se compone de 9 alimentadores de 33 kV que abastecen el conjunto de demandas de tipo predominantemente industrial (ver Figura 1). En la Tabla 1 se presentan las principales características técnicas de los alimentadores, incluyendo la potencia máxima ( $P_{max}$ ) que puede entregar cada uno y la potencia instalada ( $P_{ins}$ ) de la ET de origen.

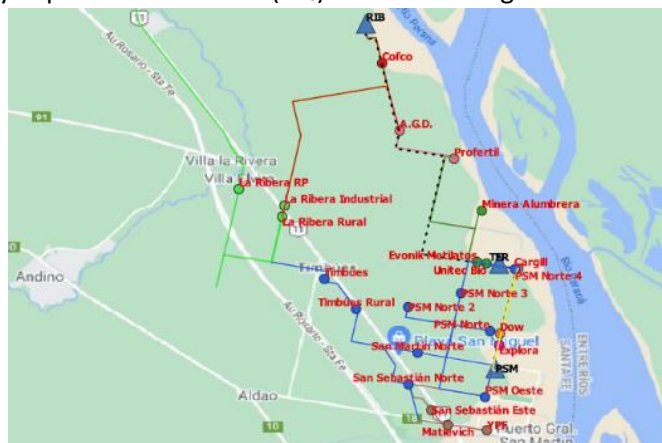


Figura 1: Trazo de la red de estudio.

ET	Pins [MVA]	Nombre del Alimentador	Long. Troncal [km]	Pmax [MVA]
Terminal 6 (TER)	30	ALUMBREERA	1,9	9,1
		PROFERTIL	8,0	7,5
		DOW	2,7	2,5
		CARGILL	0,5	0,0
Puerto San Martín (PSM)	65	SALIDA 5	0,9	0,8
		SALIDA 7	6,5	4,6
		SALIDA 4	3,5	15,9
		SALIDA 8	5,8	4,8
La Ribera (RIB)	30	SALIDA 1	1,5	5,5
		SALIDA 2	21,1	3,8

Tabla 1: Características de la red y sus ETs.

### 2.2. Modelado eléctrico de la red

La red de distribución de 33 kV es modelada mediante un software de simulación de sistemas eléctricos de potencia haciendo uso de sus herramientas de cálculo de flujo de potencia en estado estacionario. Las hipótesis adoptadas en el modelado y las simulaciones son las siguientes:

- Los alimentadores de 33 kV en condiciones normales (red N), operan con una configuración de tipo radial, y todos tienen posibilidad de realimentación con al menos un alimentador



proveniente de la misma ET u otra ET. Las posibles opciones de reconfiguración deben realizarse manteniendo la misma configuración radial, debido a las características funcionales y de seteo de las protecciones de sobrecorriente instaladas en los alimentadores de 33 kV.

- Para el análisis en estado de contingencia (red N-1), se considera una falla en el primer tramo del alimentador, donde la duración de esta responde a valores de referencia para el tipo de línea que se utiliza, asumiendo que siempre se produce para un escenario de máxima demanda.
- La tensión admisible en nodos de la red se considera dentro del rango de 90% a 110%.
- Se considera como cargabilidad máxima admisible de líneas y transformadores a la capacidad nominal recomendada por el fabricante.

### 2.3. Procedimiento de simulación y análisis de reconfiguraciones de red en N-1

En el análisis, se efectúan simulaciones para un escenario de máxima demanda simultánea según condiciones de red N-1, evaluando el estado de carga de líneas y transformadores, como así también los niveles de tensión en cada nodo de carga. Esta actividad tiene por objetivo identificar los componentes del sistema que no cumplen con los criterios admisibles adoptados, cuantificando posteriormente los niveles de demanda no abastecida (DNA). El estudio del comportamiento de red N-1 se efectúa contemplando una falla por alimentador, totalizando 9 contingencias simples, con un conjunto de 21 posibles alternativas de reconfiguración de red. Para cada contingencia simulada, las posibles alternativas de reconfiguración son comparadas a partir de la propuesta y definición de un conjunto de indicadores estadísticos relacionados con el estado de carga de transformadores de potencia y líneas de 33 kV, y los niveles de tensión en los nodos de carga. Ya que se utilizan indicadores de distinta naturaleza, estos son expresados en valores por unidad y ponderados de acuerdo a su importancia dentro de la variable medida. En la Tabla 2 se resumen el conjunto de indicadores propuestos con su respectivo ponderador.

VARIABLE	INDICADOR	PONDERADOR
Tensión	Mínimo ( $U_{min}$ )	0,75
	Desviación estándar ( $U_{desv}$ )	0,25
Cargabilidad Líneas	Promedio ( $L_{prom}$ )	0,25
	Máximo ( $L_{max}$ )	0,50
	Desviación estándar ( $L_{desv}$ )	0,25
Cargabilidad Transformadores	Promedio ( $T_{prom}$ )	0,30
	Máximo ( $T_{max}$ )	0,70
Demanda No Abastecida	Post-falla ( $DNA_{pf}$ )	1

**Tabla 2: Indicadores estadísticos de evaluación de performance de las alternativas de reconfiguración.**

Dentro del estudio de cada contingencia, una vez obtenidos estos indicadores de performance, se procede a calificar cada reconfiguración mediante la utilización de “ $k_n$ ” ponderadores que afectan a dichos indicadores. Por lo tanto, el calificador de una reconfiguración “n” se define mediante la ecuación (1):

$$C_{rn} = k_1 \cdot \frac{1}{U_{min}} + k_2 \cdot U_{desv} + k_3 \cdot L_{prom} + k_4 \cdot L_{max} + k_5 \cdot L_{desv} + k_6 \cdot T_{prom} + k_7 \cdot T_{max} + \frac{DNA}{DNA - DNA_{pf}} \quad (1)$$

Cabe destacar que la demanda no abastecida en falla (DNA) sólo tiene impacto en el calificador  $C_{rn}$  cuando en configuración de post-falla se mantienen niveles distintos de cero de demanda no abastecida ( $DNA_{pf}$ ). El peso relativo de cada indicador ponderado es analizado a posteriori de los resultados para que el aporte de cada término tenga la misma significancia. Con la obtención del  $C_{rn}$  de cada reconfiguración de post-falla, se procede a elegir aquella que arroja el menor valor, constituyendo la mejor opción de reconfiguración para la contingencia en estudio. Luego, se determinan los niveles de energía no suministrada (ENS), a partir de la DNA e índices de confiabilidad asociados a cada circuito de alimentación, y se normaliza respecto al conjunto de fallas para representar la severidad de la misma. Finalmente, a partir del valor de la ENS y el  $C_{rn}$  de la opción ganadora de reconfiguración para cada contingencia, se define un calificador global de falla ( $C_{gf}$ ), cuya expresión de cálculo se presenta en la ecuación (2).

$$C_{gf(i)} = ENS_{c(i)} \cdot C_{rn(i)} \quad (2)$$

El propósito del  $C_{gf}$  es calificar cada falla y su mejor opción de reconfiguración, otorgando un orden de prioridad a los mayores valores, relacionados con una mayor severidad de la contingencia. Entonces, el  $C_{gf}$  puede convertirse en un indicador clave para la toma de decisiones respecto a las estrategias de inversión, operación y mantenimiento de los circuitos de respaldo. En este sentido, aquellas fallas con mayor valor de  $C_{gf}$  deberían anticipar inversiones relacionadas con la flexibilización, automatización y/o telecontrol de los esquemas de reconfiguración relacionados con los equipos de maniobra, control, medición y protección.

### 3. Resultados

#### 3.1. Reconfiguración de la red

Analizando la red en estado N-1, se obtienen las 21 opciones de reconfiguración repartidas entre las distintas fallas y sus respectivas calificaciones con la opción ganadora resaltada en la Tabla 3.

ET	FALLA	CALIFICADOR OPCIÓN DE RECONFIGURACIÓN ( $C_{rn}$ )		
		1	2	3
Terminal 6 (TER)	Profertil	4,305	4,095	4,098
	Alumbrera	4,257	4,698	4,280
	Dow	4,238	4,205	4,983
La Ribera (RIB)	Salida 1	5,456	5,849	-
	Salida 2	5,428	5,356	-
Puerto San Martín (PSM)	Salida 4	6,412	6,133	6,223
	Salida 5	5,454	-	-
	Salida 7	5,505	5,373	5,477
	Salida 8	5,357	-	-

Tabla 3: Calificaciones de las opciones de reconfiguración.

Calculado el nivel de ENS de cada falla y seleccionado el  $C_{rn}$  ganador de las opciones de reconfiguración, se obtiene el  $C_{gf}$  que establece el orden de prioridad entre reconfiguraciones de las distintas fallas. Este orden se observa en la Figura 2, donde se identifica que la Salida 2 de la ET RIB tiene la mayor prioridad y, como contraparte, la Salida 5 de la ET PSM tiene la menor prioridad.

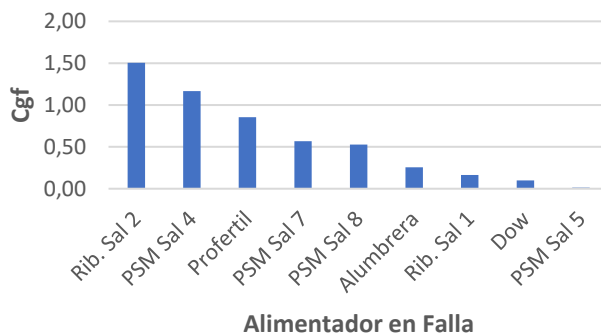


Figura 2: Orden de prioridad en obras de automatización del sistema de maniobra y protecciones.

Finalmente, en la Figura 3 se observa con mayor detalle la composición relativa de los diferentes indicadores estadísticos que conforman el  $C_{rn}$  de la opción de reconfiguración ganadora de la Salida 2 de la ET RIB. De la gráfica se destaca una distribución bastante equilibrada de los ocho indicadores que conforman el  $C_{rn}$ , con un mayor aporte de los indicadores  $L_{max}$  y  $T_{max}$  relacionados con los mayores niveles de carga en líneas y transformadores. En reconfiguraciones con elevada  $DNA_{pf}$ , el término con el que se relaciona, presenta un gran peso comparado con los demás indicadores debido a que el objetivo principal es abastecer la demanda, por lo tanto se obtienen valores de  $C_{rn}$  más altos, que consecuentemente resultan descartados.

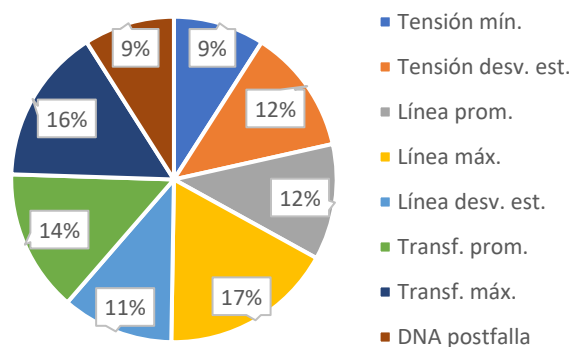


Figura 3: Composición del calificador de la reconfiguración post falla con mayor prioridad (Salida 2 de la ET RIB).

#### 4. Conclusiones

En este trabajo se ha desarrollado una metodología para evaluar las distintas reconfiguraciones posibles de una red en estado de contingencia, optando por la mejor opción en cada caso, reduciendo al mínimo la ENS y cumpliendo con todas las restricciones técnicas planteadas. Basándose en la calidad del producto técnico, la metodología propuesta tiene como ventaja que permite la reconfiguración de redes con topología similar, enfocándose en el abastecimiento de la demanda y la criticidad de la DNA asociada a la contingencia planteada.

Como trabajo futuro, se pretende realizar un análisis de sensibilidad a los ponderadores que afectan a cada indicador, ya que se tratan de una propuesta del autor.

#### 5. Referencias

Fonseca, I.S., Dotres, S.P., Guerrero, G.T. (2017). "Reconfiguración multiobjetivo en sistemas de distribución primaria de energía". *Ingeniare, revista chilena de ingeniería*, vol. 25, no. 2, pp. 196–204.

## CARACTERIZACIÓN DEL USO DEL AGUA EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN PRIMARIA LECHERA

### WATER USE CHARACTERIZATION IN PRIMARY DAIRY PRODUCTION SYSTEMS

Luciana JENNERICH.

Universidad Tecnológica Nacional (FRRa). Grupo GEM- Laboratorio de Química.  
[lucijennerich@gmail.com](mailto:lucijennerich@gmail.com)

#### Resumen

El presente trabajo tuvo por finalidad, la evaluación de sistemas productivos primarios de leche a partir de su comportamiento con el uso del agua. Se estudiaron 5 casos con tipologías diferentes, característicos del centro de la provincia de Santa Fe. Se emplearon distintos indicadores de análisis ambiental a fin de evaluar diferencias entre los sistemas y comparar la utilidad de cada indicador. El análisis incluyó la fracción de agua captada por los cultivos realizados, la consumida por parte de los animales (bebida), el volumen para funcionamiento y limpieza del sistema de ordeño y, el potencial consumo para asimilar la carga contaminante de los efluentes generados. Se obtuvo amplias variaciones dado que cada indicador plasmó escenarios diferentes en cuanto al nivel de afectación del recurso o eficiencia de uso. Se identificaron los casos que precisarían una mejora, aquellos que podrían considerarse de menor impacto y qué indicador de cuantificación sería el conveniente.

Palabras claves: sistemas lecheros, indicadores, eficiencia de uso de agua.

#### Abstract

The purpose of this work was to evaluate primary milk production systems based on their water use behavior. Five cases with different typologies, characteristic of the center of Santa Fe province, were studied. Different environmental analysis indicators were selected in order to evaluate differences between the systems and compare the usefulness of each indicator. The analysis included the water fraction captured by the crops, that consumed by animals (drink), the volume for milking system operation and cleaning, and, finally, the potential consumption to assimilate the effluents pollutant load. Wide variations were obtained since each indicator reflected different situations in terms of resource impact level or efficiency of use. Cases that would require improvement, those that could be considered of less impact and which quantification indicator would be the most convenient, were identified.

Keywords: dairy systems, indicators, water use efficiency.

#### Introducción

En las últimas décadas, la producción primaria de leche en Argentina se ha enfrentado a un proceso de concentración e intensificación constante, lo cual generó una problemática puntual como lo es, la presión que estos ejercen sobre el ambiente y principalmente sobre el recurso hídrico. El objetivo de este trabajo fue caracterizar mediante diferentes indicadores ambientales, la relación de sistemas de producción lechera bovina con el uso y consumo del agua.

## Metodología

Se compararon cinco sistemas de producción primaria de leche ubicados en la cuenca lechera central de la provincia de Santa Fe (Argentina) según diferentes calidades de suelo (IP), disponibilidad de tierra, número de vacas, producción de leche y sistemas de alimentación (Tabla I).

Casos	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4		Caso 5	
Suelo	<i>Argiudol típico serie Rincón de Ávila</i>	<i>Natracualf típico Serie Aurelia</i>	<i>Argiudol ácuico Serie Humboldt</i>	<i>Argialbol típico Serie Castellanos</i>	<i>Argiudol típico Serie Rafaela</i>	<i>Argiudol ácuico Serie Lehmann</i>	<i>Argiudol típico Serie Rafaela</i>
Aptitud de suelo o IP	81	8	75	57	82	75	82
Hectáreas totales	218	202	200	143	15	125	15
% forraje-concentrado	88,5:11,5	100:0	80:20	70:30		65:35	
Vacas en ordeño (VO)	268	130	198	170		96	
Kg de leche/vaca (día)	24,98	25,49	20,64	26,71		29,21	

Tabla I: Descripción de los sistemas seleccionados para el estudio.

Se empleó el indicador de huella hídrica (HH) definido como una herramienta que cuantifica, en términos de volumen de agua empleada, y clasifica según su procedencia, la presión que la sociedad ejerce sobre los recursos hídricos a través de la producción y el consumo de bienes y servicios. Para su cálculo se utilizó el enfoque de Hoekstra et al. (2011) y se incluyó la HH verde, azul y gris. La fracción de HH verde (HHve) corresponde al volumen de lluvia captada por los cultivos, expresado en términos de volumen de agua consumida por unidad de alimento producido. Los valores se estimaron en base a la componente de agua verde (CWUv); utilizando el software Cropwat 8.0 (FAO 2010). Para su cálculo, es necesario conocer la evapotranspiración del cultivo ETc (mm/período), la precipitación efectiva Pef (mm/período) y su rendimiento (kg/ha). Se utilizaron registros meteorológicos (INTA y Meteoblue), información de suelos (INTA, 2020) y de los sistemas en estudio obtenidas mediante encuestas con los responsables de cada establecimiento.

La HH azul (HHaz), definida como consumo directo de fuentes subterráneas, se estimó considerando la bebida animal y el uso extractivo para funcionamiento, lavado del sistema de ordeño y limpieza de instalaciones del tambo. Se emplearon dos métodos; 1) estimaciones a través de fórmulas predictivas y 2) mediciones a través de la técnica volumétrica con un recipiente de capacidad conocida. La primera medición fue en época estival y la segunda en época invernal. La HH gris (HHg), que expresa la contaminación en términos del volumen de agua que se necesita para diluir los contaminantes de modo que se vuelvan inofensivos, se estimó para dos salidas del sistema. Primero, considerando la carga contaminante derivada de la aplicación de fertilizantes. En este sentido, se tuvo en cuenta sólo las especies nitrogenadas, tomando al nitrato como ion en estudio, por ser un potencial contaminante. Segundo, considerando la carga contaminante generada a partir de los efluentes de la limpieza del tambo, para lo cual es necesario conocer el caudal, sus características fisicoquímicas. Luego, se calcula esta HH para diferentes parámetros, seleccionando aquel considerado como el de mayor impacto (NTK-nitrógeno total Kjeldhal- en este caso).

De acuerdo con la norma ISO 14046 (Suizagua, 2016), se analizó el uso del agua a través del indicador WIIX como categoría de impacto sobre la disponibilidad del recurso, agrupando en un solo parámetro tres factores clave: un balance hídrico (caudales de entrada y salida al sistema), factores de calidad de agua y grado de escasez hídrica (para el que existe valores de referencia), obteniendo un resultado de consumo equivalente de agua (ejemplo, m<sup>3</sup> eq. WIIX). Cuanto más alejado del cero se encuentra el resultado de este indicador, menor es el impacto sobre el recurso. Se determinó el IEUA (índice de eficiencia de uso de agua), propuesto por Cañada et al., (2018), siendo este el cociente entre los volúmenes de agua extraído en la sala de ordeño y el volumen total de leche

producida diariamente. Cuanto mayor sea el indicador, menor será la eficiencia del establecimiento. El IAA o costo de oportunidad de ahorro de consumo de agua, planteado por Taverna et al. (2013), establece un escenario de reutilización del 100% del agua empleada para la placa de preenfriado y lo vincula al volumen de agua consumido por vaca por día que se ahorraría un establecimiento.

## Resultados y discusión

En la Tabla II y la Figura 1, se presentan las HHs de los cultivos (considerando HHve<sup>2</sup> + HHg).

HHve<sup>1</sup>: HH verde obtenida a partir de la Etc (L de agua/kg producido de alimento/ha); HHve<sup>2</sup>: HH obtenida a partir de la ETa (L de agua/kg producido de alimento/ha).

Estudios de casos	ETc (mm/ período)	ETa (mm/ período)	HHve <sup>1</sup> (L/ha)	HHve <sup>2</sup> (L/ha)	HHg (L/ha)
Caso 1	2.142,2	1.641,1	1.244,7	1.581,1	106,4
Caso 2	2.275,5	1.772,6	<b>2.255,5</b>	<b>2.885,9</b>	134,9
Caso 3	1.866,7	1.446,8	1.135,5	1.532,4	33,5
Caso 4	1.231,6	1.198,1	919,9	1.109,9	152,2
Caso 5	1.233,4	1.199,6	780,6	940,2	133,2

Tabla II. Evapotranspiración potencial (ETc), Evapotranspiración real (ETa) y sus HHve.

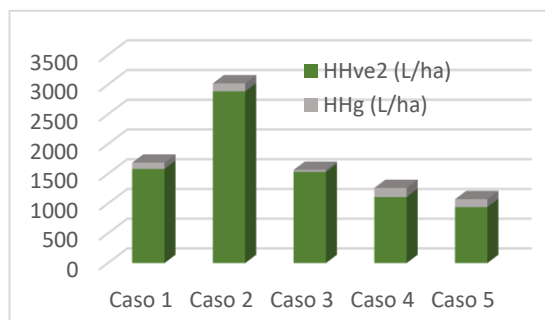


Figura 1: Evapotranspiración potencial (ETc), Evapotranspiración real (ETa) y sus HHve.

Al aumentar el nivel de intensificación del sistema, se reduce la HHve, condición que coincide con Manazza, Diaz (2013). Los resultados de este indicador no sólo dependerán de las condiciones de evapotranspiración de acuerdo con el clima y suelo, sino también de los rendimientos obtenidos, ya que, cuanto mayor sea el rendimiento, menor será la HH obtenida. El mayor valor de HHve total corresponde al Caso 2, entendiendo que se debe principalmente a las estrategias de cultivo escogidas (leguminosas utilizadas en estados tempranos o cultivos de períodos cortos que no alcanzan altos rendimientos) y a la menor aptitud de suelo.

HH	Cuantificación considerada en el cómputo	Casos de estudio						
		Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5		
HHaz bebida, estimada	Consumo total rodeo (L/año/ total rodeo)	13.068.297,2	6.994.849,7	9.132.370,1	7.540.500,4	6.164.886,6		
HHaz estimada	Vol. total <b>estimado</b> en sistema de ordeñe y limpieza de instalaciones (L/año)	11.642.898,9	7.148.467,7	15.889.847,2	9.549.901,3	6.696.732,8		
HHaz medida	Vol. total <b>medido</b> en sist. de ordeñe y limpieza de instalaciones (L/año)	Medición 1	(a)	8.379.183,3	5.241.400	13.373.412,8	4.224.464,6	4.814.067,8
			(b)	3.101.283,3	642.400	3.670.028,2	1.826.082,8	1.538.589,5
		Medición 2	(a)	9.176.383,9	6.360.368,3	13.394.639	6.939.568,8	4.883.595,8
			(b)	6.104.908,9	885.368,3	4.297.715,9	2.156.741,6	2.755.296,7
HHg efluentes (L/año)	Vol. necesario para dilución de la carga contaminante de aguas "sucias"	Medición 1	73.694.762,1	16.488.822,9	100.109.547,4	100.512.813,3	38.609.230,1	
		Medición 2	103.376.457,2	11.598.325,2	100.268.440,3	58.059.484,1	18.480.168,5	

(a) Consumo de agua sin reutilización de agua de la placa de refrescado. (b) Consumo con dicha reutilización.

Tabla III: Estimación de HHaz y HHg derivada del uso de agua y generación de efluentes.

Respecto a la HHaz, correspondiente al consumo para bebida animal (Tabla III), como es de esperar, se observan amplias variabilidades. Esto se debe fundamentalmente a las diferencias en stock de animales en cada establecimiento, sus distribuciones por categorías (según el peso) y las dietas suministradas a cada una de ellas. El Caso 1 y Caso 3 presentaron los mayores valores, siendo los que poseen el mayor stock total de animales (incluyendo vacas lactantes) y dos de los casos que proveen dietas con mayor % de suplementación y/o reservas. En cuanto a la HHaz total del sistema de ordeñe, se conoce que el área de mayor requerimiento, ocupando casi un 80% del total, es el

consumo de agua para la placa de refrescado de la leche. Esta, al no tener contacto con ninguna etapa del procedimiento, puede ser reutilizable en un 100%. Sin embargo, no todos los casos poseen un sistema de almacenamiento de esta, por ende, el destino dependerá predominantemente del manejo e infraestructura disponible. Por ejemplo, en el Caso 3, 4 y 5 no poseen capacidad suficiente de almacenamiento. En el Caso 1, el de mayor número de animales, dicha agua es empleada para bebida animal; en invierno, los consumos disminuyen considerablemente generando un excedente que no posee destino y se desecha. El Caso 2 posee capacidad de almacenaje y un retorno a la napa. Existen otras áreas de consumo dentro del ordeño que, si bien poseen un valor considerablemente menor, volumétricamente son significativos. Los Casos 1 y 3, han presentado los mayores consumos debiéndose a distintos motivos. El primero se debe a que posee la mayor capacidad productiva, por lo tanto, mayor es el volumen de leche producido, mayores serán los tiempos de ordeño y por consiguiente el consumo de agua. El segundo, en cambio, se debe principalmente al sistema de limpieza de pisos, puesto que lavan únicamente con agua, sin emplear ningún instrumento de arrastre de sólidos. En días posteriores a las lluvias, (como se observó en su 2° medición) aumenta notablemente el consumo. A su vez, este caso posee un aumento de consumo en verano empleado para recirculación de agua en el equipo de frío para alcanzar (según afirman) la temperatura deseada en el producto. En todos los casos en estudio, los resultados medidos del sistema de ordeño no superaron los estimados por fórmulas predictivas. Cabe destacar este punto, ya que realizando mediciones estaría evitándose sobrevalorar al sistema con resultados mayores a los reales. Los valores obtenidos en la segunda medición (época invernal), fueron mayores que en la primera (febrero/marzo) (Tabla III). Esto se asume como un escenario esperado, debido principalmente a cuestiones climáticas y la baja de temperatura: reducción sustancial del consumo de agua de bebida, mayor humedad en ambiente, menos horas sol; en consecuencia, mayor suciedad en las vacas seguido del aumento de tiempos de ordeño y agua en la rutina de ordeño.

En cuanto a los resultados de HHg derivada de la generación de efluentes post limpieza del tambo, no fue posible observar una tendencia (Figura 2). Estas diferencias de escenarios se deben a múltiples factores, sin olvidar el más importante, los sistemas primarios productores de alimentos de tipo familiar no responden a prácticas estandarizadas. Entre las variables que más intervienen se encuentran:

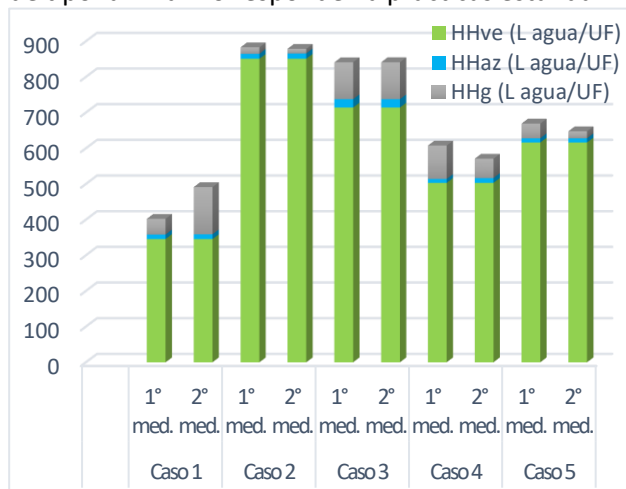


Figura 2: HH total/UF (kg LCGP).

cambio de operarios y/o tambero, disminución o aumento del número de trabajadores, condiciones climáticas influyentes sobre el nivel de limpieza del animal, posible variación del número de vacas en ordeño a lo largo del año, disposición o no de sistema de tratamiento de efluentes o reutilización o no de agua de placa. En el Caso 1 y 3 la relación entre la 1° medición y la 2° fue en aumento no sólo porque tuvieron un incremento del consumo de agua de limpieza (a diferencia del Caso 2, 4 y 5), sino además los contenidos presentes en los efluentes fueron mayores en la 2° muestra (al revés del Caso 2, 4 y 5) y

por defecto la HHg también. En la Figura 2, se resumen los resultados totales de cada HH (HHve, HHaz y HHg: derivada de la aplicación de fertilizantes + limpieza de tambo) para cada caso.

En la Tabla IV, se encuentran los resultados finales correspondientes a cada metodología, afectadas a la unidad de producción (UF) de estos sistemas evaluados (kg de LCGP). A diferencia de la HH total, el WIIX, IEUA, IAA fueron estimados solamente según registros de la medición 1. Tanto en los valores

de HH como WIIX, se observaron similitudes con Charlón et al. (2014). El caso de menor o mayor impacto al consumo de agua son diferentes dependiendo las dos metodologías.

Caso	HH total (L agua/UF) Medición 1	HH total (L agua/UF) Medición 2	WIIX (m <sup>3</sup> eq. WIIX/UF)	IEUA (L agua/UF)	IAA (L de agua /vaca/día)
1	402,2	491,2	0,000078	6,5	53,9
2	881,5	878,8	0,000064	3,5	90
3	841,1	841,3	0,00014	13,8	142,1
4	607,8	570,7	0,00015	9,8	41,1
5	669,3	647,7	0,000069	4,9	70,11

Tabla IV: Comparación entre indicadores.

La diferencia radica en las variables empleadas para el cálculo, considerando que la WIIX es más completa. Con respecto a esta y al IEUA, se obtuvo que el Caso 2 (Tabla IV), posee el mejor resultado, asumiendo este caso como el de menor impacto sobre la disponibilidad de agua en su región. Referido al IAA, el valor promedio de los casos se acerca considerablemente al propuesto por Taverna (2013), 60 L. (exceptuando el Caso 3) lo que, al mismo tiempo, posibilitaría una reducción del volumen de efluentes generados. El Caso 3 si reciclara el agua de placa en un 100%, podría ser el que obtenga mayores beneficios respecto de su situación actual.

## Conclusión

Queda demostrado que analizar sistemas productivos primarios lecheros frente al uso del agua resulta complejo debido a su amplia variabilidad, verificando que los mismos podrían ser ampliamente mejorados. Mediante los resultados de sus consumos, se demuestra la importancia del estudio de casos reales, ya que en ellos intervienen condiciones geográficas específicas, condiciones ambientales determinadas, características socioeconómicas y productivas puntuales y marcos regulatorios distintos. Por lo tanto, un análisis comparativo, acompañado del uso de indicadores es indispensable. Al mismo tiempo, emplear estos de manera aislada, sería inapropiado ya que cada uno concluye en un escenario distinto. En definitiva, dependerá del tipo de evaluación que se realice, la información que se desee emplear y los recursos disponibles al momento de evaluar la posibilidad de adopción de nuevas y/o mejores prácticas empleadas.

## Referencias

- Cañada, P.; Herrero, M.A.; Dejtiar, A.; Vankeirsbilck, I., 2018. Guía de buenas prácticas para el manejo de purines en tambo.
- Charlón V, Tieri M.P., Manazza, F.; Engler, P., Pece, M.A., Frank, F., 2014. Comparación de dos metodologías de cálculo de huella hídrica en un sistema de producción de leche de argentina. III Encuentro Argentino de Ciclo de Vida y II Encuentro de la Red Argentina de Huella Hídrica.
- FAO, 2010 'CROPWAT 8.0 model', FAO, Rome, [www.fao.org/nr/water/infores\\_databases\\_cropwat.html](http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html) .
- Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M. and Mekonnen, M.M., 2011. The water footprint assessment manual: Setting the global standard, Earthscan, London, UK.
- INTA. Informes Agrometeorológicos de E.E. Rafaela. Disponible en: <https://inta.gob.ar/documentos/boletin-agrometeorologico-mensual-inta-rafaela-listado-de-informes-mensuales>
- INTA Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 2020. Visor GeoINTA: Mapas de suelo, perfiles y coberturas de suelos, imágenes y bases de datos georeferenciadas. Disponible en: (<http://visor.geointa.inta.gob.ar/>) [Acceso Jul. 11, 2014].
- Manazza, J.F. y Díaz, J.R., 2013. Aproximación al análisis de eficiencia de uso de agua en sistemas ganaderos bovinos. <https://www.researchgate.net/publication/276919832> .
- Manual Aplicación para Evaluación de HH acorde a la norma ISO 14046 2016. Elaborado en conjunto por Fundación Chile y Aguallimpia. Primera edición en español: Santiago de Chile, enero 2016.
- Meteoblue. Datos meteorológicos históricos por hora. <https://www.meteoblue.com/es/historyplus>
- Taverna M., Charlón V., García K., Walter E., 2013. Una propuesta integral de manejo de efluentes. Sitio Argentino de Producción Animal. Trabajo presentado en: Jornadas Técnicas de la 8ª Muestra Internacional de Lechería (Morteros, Córdoba, Argentina).



# Prototipo de Vivienda Multifamiliar Sustentable desde una mirada constructiva y social



Prototype of a Sustainable Multifamily housing from a constructive and social perspective

**Paula CINAT**

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Rafaela  
paula.cinat@gmail.com

**Victoria WILLINER**

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Rafaela  
willinervicky@gmail.com

**Carolina GIORGIUTTI**

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Rafaela  
carog2799@gmail.com

**Resumen:** En este trabajo se presenta la propuesta de un prototipo de vivienda multifamiliar sustentable que brinda una alternativa de solución de bajo costo, construido en fábrica u obrador, que sea modular, sustentable y energéticamente eficiente, que se lleve al lugar de emplazamiento y lo pueda montar personal sin entrenamiento. De esta manera, se logra diseñar un sistema constructivo que no necesite infraestructura industrial compleja ni grandes costos. Incluyendo el diseño de piezas premoldeadas cuya ejecución en fábrica o en obrador requieren moldes elementales y bajo consumo de materiales. Todo ello, permite una envolvente arquitectónica de alta eficiencia energética, fácilmente adaptable a distintos climas, lo cual significa que dichas características constituyen un sistema constructivo sustentable para ser realizado en todo nuestro país.

**Palabras Claves:** Vivienda multifamiliar, sustentabilidad, eficiencia energética.

**Abstract:** In this work the proposal of a prototype of sustainable multifamily housing is presented that provides an alternative low-cost solution, built in a factory or workshop, that is modular, sustainable and energy efficient, that is taken to the site and can mount untrained staff. In this way, it is possible to design a construction system that does not require complex industrial infrastructure or large costs. Including the design of pre-molded parts whose execution in the factory or in the workshop requires elementary molds and low consumption of materials. All this allows a highly energy-efficient architectural envelope, easily adaptable to different climates, which means that these characteristics constitute a sustainable construction system to be carried out throughout our country.

**Keywords:** Multi-family housing, sustainability, energy efficiency.

## 1. Introducción

El presente trabajo se enmarca dentro del eje temático Estructuras y Construcciones Civiles como parte del proyecto Vivienda Multifamiliar Sustentable: un nuevo enfoque constructivo desde una perspectiva socioambiental, del departamento de Ingeniería Civil de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Rafaela.

Esta propuesta está basada en la presentación de un prototipo de vivienda multifamiliar sustentable que brinde una alternativa de solución de bajo costo al problema socioambiental generado por el déficit habitacional, cuya ejecución contribuirá al avance del conocimiento de las técnicas constructivas que impactará positivamente tanto en el ámbito académico como así también en el ámbito público y privado.

Por otra parte, los objetivos principales consisten en generar un sistema que cumpla con los criterios de diseño modular, sustentable y adaptable a las diferentes características bioclimáticas de nuestro país. Además de la posibilidad de que se construya en taller u obrador, así como también que sea de fácil montaje con la mínima intervención de personal profesional experimentado.

## 2. Marco teórico

En Argentina casi 4 millones de familias tienen problemas relacionados con la vivienda. Hay alrededor de 1.6 millones que no tienen casa y otras 2.2 millones viven en un lugar que no cuenta con la infraestructura básica afectando, en total, a más de 12 millones de personas (INDEC, 2018). En las últimas décadas, las políticas de vivienda en nuestro país y en gran parte de Latinoamérica se han enfocado, de modo casi exclusivo, en la construcción de viviendas tradicionales y el impulso a la actividad económica, dejando de lado aspectos muy importantes referidos a la conservación y cuidado de los recursos naturales y el medio ambiente en el contexto urbano (Lezama y Dominguez, 2006).

En este escenario, la sustentabilidad no sólo está planteada como una construcción amigable con el medio ambiente, por sobre todas las cosas, es un bien social. Como tal, y de acuerdo con el precepto constitucional de derecho a una vivienda digna es necesario contemplar en los nuevos diseños constructivos la utilización de materiales sustentables teniendo en cuenta la aislación térmica, hidráulica y acústica (Lawson et al., 1999; Keeler y Burke, 2009).

Dentro del contexto de la construcción prefabricada, la construcción modular hace referencia a un sistema alternativo en dirección hacia el cuidado del ambiente y el aprovechamiento óptimo de los recursos naturales (Lawson et. al., 1999; Wadel et. al., 2010). Los principios de la construcción modular son la viabilidad, sostenibilidad y eficiencia en los diseños y proyecciones, lo que hace que cumplan con la necesidad habitacional actual teniendo en cuenta la arquitectura constructiva y bioclimática (Staib et al., 2008; Smith, 2010). En el caso de la vivienda multifamiliar, el concepto está basado estrictamente en el diseño refiriéndose a un edificio desarrollado tanto en vertical como horizontal que contiene más de una unidad de vivienda superpuestas que albergan un número determinado de familias, cuya convivencia no es una condición obligatoria (Schmitz et al., 2000).

## 3. Metodología

La metodología a utilizar para llevar a cabo este proyecto se fundamentará en los criterios adoptados por Schmitz et al. (2000) y Staib et. al. (2008) donde se plantea un esquema con tres aspectos complementarios:

- a) Documental de investigación.
- b) Diseño y experimentación.
- c) Innovación.

- a) En el primer aspecto, la Metodología de **Análisis Documental y Teórico** se realizaría una recopilación de los antecedentes, del estado actual del Arte (técnica e investigación) y de sus posibles proyecciones futuras.
- b) En el segundo aspecto de metodología de trabajo, la **Metodología de Diseño y Experimentación**, se busca dar valor práctico y real al trabajo con respecto a la situación y comportamiento de piezas prototipo que se realizarán.
- c) Con la **Metodología de la Innovación**, como tercer aspecto, se representan a partir de los datos reales obtenidos por ensayos y de situaciones teóricas creadas las mejores posibilidades de ejecución y sustentabilidad, como así también al estar definido el diseño, la evaluación de costos.

### **Desarrollo del proyecto:**

#### **3.1. Prototipo Vivienda Sustentable**

Una Vivienda sustentable y digna significa que el espacio donde se vive debe brindar a sus ocupantes protección, seguridad y condiciones satisfactorias para toda la familia, por lo tanto, debe contar con materiales de calidad y con un ambiente físico y social adecuado.

#### **3.2. Estrategia de diseño para obtener una arquitectura de consumo energético cero**

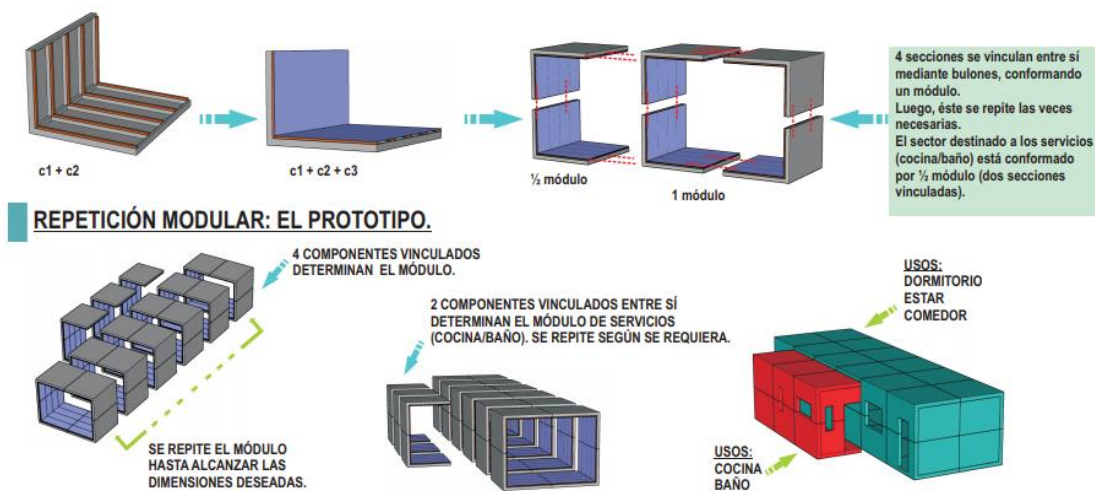
Lo más importante para conseguir una “arquitectura de consumo energético cero”, es reducir al máximo la energía consumida por un edificio. Para ello, deben realizarse las siguientes acciones:

- Proyectar el edificio de tal modo que tienda a autorregularse térmicamente, debido solo a su diseño.
- Proyectar el edificio de tal modo que, durante el día, todas sus habitaciones se iluminen adecuadamente con la radiación solar.
- Diseñar el edificio para que tenga la menor necesidad posible de mantenimiento.
- Reducir al máximo la cantidad de aparatos consumidores de energía.
- Educar a los usuarios del edificio para que satisfagan sus necesidades con el menor consumo energético posible.

#### **3.3. Desarrollo del prototipo**

Envolvente exterior estructural: Está compuesta por módulos de hormigón armado (H<sup>o</sup>A<sup>o</sup>), convenientemente nervurados y que se vinculan entre sí abulonándose, de tal manera que cuatro piezas forman las paredes, el piso y el techo de la vivienda. Luego uniendo sucesivamente varias de estas formas, se logra la vivienda deseada con la posibilidad de obtener viviendas múltiples como se puede ver en la Ilustración N°1.

El hormigón ha sido el material elegido ya que se considera un material sustentable por su longevidad, además de la facilidad de ser moldeado, la posibilidad de ensamblarlo entre sí, su alta resistencia y su costo accesible.



*Ilustración 1- Ensamblado de componentes: El módulo*

La fundación de este sistema es sobre pilotines de H<sup>º</sup>A<sup>º</sup> de 0,30 metros de diámetro y 4 metros de profundidad, cuya excavación fácilmente se realiza con hoyadora para la vivienda de una planta y cuyo nivel de piso se encuentra despegado del suelo mínimo 0,30 metros, cuyo fin es generar una cámara de aire que colabora con la aislación, además de tener menor movimiento de suelo y colaborando con problemas de inundación si el terreno es bajo. Como cada módulo posee un peso convenientemente dimensionado, estos se pueden situar en el lugar deseado con un autoelevador, esta máquina requiere de un bajo costo operativo y es de fácil disposición por lo que hace mucho más accesible a la hora de realizar la vivienda. Asimismo, para el caso del transporte de estas piezas se pueden utilizar camiones donde cada una se apila sobre la otra facilitando el traslado hacia su destino.

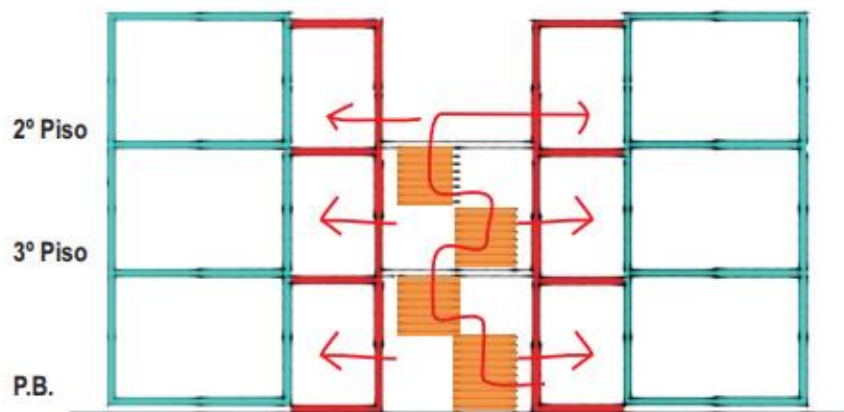
En cuanto a la pared o techo del mismo están conformados por una serie de materiales entre los cuales se hallarán listones de madera de escuadría 2" x 2" unidos mediante tornillos y tarugos plásticos a los nervios de las piezas, que quedan incorporado en el hormigón, esto facilita su montaje y desmontaje como se lo desee. Sobre dichos listones, se atornillan las placas de yeso (en el caso del piso este será reemplazado por tableros fenólicos y por encima del mismo se encontrará un piso flotante), en donde el ancho de cada placa deberá coincidir con los nervios y listones del módulo. Entre el tablero de hormigón premoldeado y las placas de yeso o madera se deberá colocar un material aislante tanto térmico como acústico, de los cuales podemos escoger poliestireno expandido, espuma de poliuretano, aislamiento celulósico, lana de vidrio o cualquier otro que se considere eficaz, durable y contribuya a la sustentabilidad del proyecto.

También forma parte de este criterio las divisiones interiores de los dormitorios que están realizadas directamente por los placares y en el caso del estar comedor por un mueble de guardar utensilios afines a este local. La utilización de estos muebles como divisorios ahorran paredes, hacen los locales más flexibles e incluso permiten cambiar de usos sin modificaciones costosas, solo desarmando un mueble.

Para ejecutar las aberturas el proceso se debe realizar evitando el marco de las piezas de hormigón prefabricado para así prevenir la debilitación de la zona. Estas mismas se componen de madera con Doble Vidriado Hermético (DVH) en el caso de las ventanas y solo de madera en el caso de las puertas.

Esta propuesta toma en cuenta un diseño racional, realizable, con materiales económicos, sustentables, sin desperdicios en obra, con tiempos acotados de ejecución, con posibilidades

de ampliación, de cambio de usos, posibilidad de hacer hasta 3 niveles como se puede observar en la Ilustración N° 2.



*Ilustración 2- Viviendas colectivas (P.B. +2 niveles)*

#### 4. Conclusión

La construcción de cualquier inmueble demanda una gran cantidad de energía y recursos, tanto en la elaboración de los productos como en la propia edificación y su vida útil, por lo que se deben considerar procesos constructivos con bajo consumo de recursos naturales y energéticos, así como la forma en que se diseñan elementos y sistemas que al final de la vida útil de la construcción pueden ser reutilizados. Se puede observar que, debido a las condiciones de los muros elaborados con paneles de hormigón prefabricado, la vivienda tiene un excelente comportamiento en aislamiento térmico y acústico. Si a esto le agregamos el sistema de reutilización de aguas de lluvia y el uso de energía solar para calentar el agua, el proyecto se considera totalmente sostenible, cumpliendo nuestras expectativas, sin quitarle el confort que debe tener una vivienda y generando un bien social para aquellas personas que decidan optar por el proyecto, sin poner en peligro las posibilidades de las futuras generaciones en cuestión a sus necesidades.

#### Bibliografía

- INDEC. 2018. Indicadores de las condiciones de vida de los hogares en 31 aglomerados urbanos. Informes Técnicos.(2):14. 27 pp.
- Keeler M., Burke B. 2009. Fundamentals of integrated design for sustainable building. Wiley & Sons Inc. 358 pp.
- Lawson M., Grubb P., Prewer J., Trebilcock P. J. 1999. Modular construction using Light Steel Framing: An Architect´s Guide. Steel Construction Institute (SCI). 105 pp.
- Lawson M., Orden R., Goodier C. 2014. Design in Modular Construction. CRC Press. 278 pp.
- Lezama J., Dominguez J. 2006. Medio ambiente y sustentabilidad urbana. Papeles de Población N° 49. CIEAP. 24 pp.
- Schmitz A., Stewart N. H., Hughes E., Fishel B. M. 2000. Multifamily Housing Development Handbook. Urban Land Institute. 648 pp.
- Smith R. E. 2010. Prefab Architecture: A guide to modular design and construction. Wiley. 402 pp.
- Staib G. Dörrhöfer A, Rosenthal M. 2010. Componentes and Systems: Modular Construcción Desing Structure New Technologies. Birkhauser. 241 pp.
- Wadel G., Avellaneda A., Cuchi A. 2010. Sustainability in industrialized architecture: closing the material cycle. Building's Reports. 62(517): 37-51 pp.

# **Análisis de las relaciones entre los parámetros de esfericidad y compacidad en fundición de grafito esferoidal mediante micro tomografía computarizada de rayos X y procesamiento de imágenes**



## **Analysis of the relationships between the parameters of sphericity and compactness in spheroidal graphite cast iron using X-ray micro-computed tomography and image processing**

**Juan Cruz Toledo**

**Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Rafaela**

juantoledo12@gmail.com

### **Resumen**

Este trabajo se centra en el análisis de los parámetros de esfericidad y compacidad de una subpoblación de nódulos de grafito de alta calidad, pertenecientes a una fundición de grafito esferoidal, con el fin de obtener relaciones entre dichos parámetros y el tamaño de los nódulos de grafito. La metodología experimental implica una micro tomografía computarizada de rayos X en una muestra de grado SGI 60-40-18 completamente ferrítico para generar imágenes en 3D de alta resolución y el procesamiento / post procesamiento de las imágenes resultantes. Considerando el tamaño de los nódulos de grafito se definen tres subpoblaciones que relacionan el diámetro de dichos nódulos con sus correspondientes valores de esfericidad y compacidad. Los resultados obtenidos permiten justificar el uso combinado de los parámetros de esfericidad y compacidad para la caracterización geométrica de los nódulos de grafito debido a la complementariedad existente entre los mismos.

**Palabras claves** Tomografía de rayos X - Fundición de grafito esferoidal - Esfericidad - Compacidad

### **Abstract**

This work focuses on the analysis of the parameters of sphericity and compactness of a subpopulation of high-quality graphite nodules, belonging to a spheroidal graphite cast iron, in order to obtain relationships between these parameters and the size of the graphite nodules. The experimental methodology involves X-ray micro-computed tomography on a fully ferritic SGI grade 60-40-18 sample to generate high-resolution 3D images and the processing/postprocessing of the resulting 3D images. Considering the size of the graphite nodules, three subpopulations are defined that relate the diameter of said nodules with their corresponding values of sphericity and compactness. The results obtained allow to justify the combined use of the parameters of sphericity and compactness for the geometric characterization of the graphite nodules due to the complementarity existing between them.

**Keywords** X-ray tomography - Spheroidal Graphite Cast Iron - Sphericity - Compactness

## 1. Introducción

Existen distintas clases de fundiciones de hierro cuyas propiedades mecánicas están determinadas principalmente por la forma, el tamaño y la distribución de los cristales de grafito en la matriz metálica (Bjerre et al., 2018). Dentro de las distintas clases, la fundición de hierro dúctil (DCI) es el material que ha causado una gran revolución desde su aparición. Su microestructura está compuesta por una matriz metálica, en la cual se encuentran embebidos los nódulos de grafito y que es posible modificar mediante el uso de diferentes tratamientos térmicos. La microestructura del DCI se ha investigado a partir de diversos métodos tanto de observación directa 2D y 3D como también mediante análisis térmicos indirectos (Lekakh et al., 2020). La tomografía micro - computarizada ( $\mu$ CT), que surgió como una poderosa técnica de escaneo 3D no destructivo, pudo adaptarse fácilmente para visualizar la estructura interna de fundiciones de hierro con un nivel submicrométrico de resolución espacial (Agrawal et al., 2016).

Los parámetros de esfericidad (SG) y compacidad (C) son muy importantes para la determinación de la calidad de los nódulos de grafito. El vínculo entre estos parámetros fue examinado en el trabajo (Díaz et al., 2021) con el fin de establecer categorías de calidad para los nódulos de grafito en una muestra de DCI completamente ferrítica. En dicho trabajo, la compacidad se identifica como el mejor parámetro geométrico para clasificar adecuadamente la calidad de los nódulos de grafito debido a que la forma de los nódulos parece ser más sensible a los valores de C que los valores de SG. Además, se obtuvo un valor umbral de esfericidad nodular que permite caracterizar los nódulos de grafito de máxima calidad, agrupándolos en una subpoblación final que contiene únicamente nódulos cuyos valores de SG y C son superiores al 65 y 50%, respectivamente.

En este trabajo, se profundiza la relación entre los parámetros de esfericidad y compacidad de los nódulos de grafito pertenecientes a la subpoblación final de nódulos de alta calidad mencionada. Para ello se ha explorado la complementariedad entre los parámetros de SG y C, así como también las correspondientes distribuciones de esfericidad y compacidad vinculadas al tamaño de los nódulos de grafito y la tendencia al agrupamiento de dichos nódulos.

## 2. Materiales y métodos

En esta investigación se utilizó una fundición nodular totalmente ferrítica con un grado 60-40-18 según la norma ASTM A395 (grado GGG40 según la norma DIN 1693). Para conseguir la matriz metálica totalmente ferrítica se llevó a cabo un recocido de austenización completa, elevando la temperatura hasta alcanzar los 920 °C durante 1h y realizando un posterior enfriamiento lento, en el interior del horno, a temperatura ambiente. Por último, se revelaron los límites del grano ferrítico usando un grabado con Nital (2%).

Por otro lado, la tomografía se adquirió en un sistema Phoenix V |tome| x S 240 (General Electric), escaneando una muestra de SGI de 6,4 mm × 5,1 mm × 1,2 mm. Además, se utilizó un filtro de Cu de 0,1 mm para aliviar los artefactos producidos, se realizó una reducción del ruido aumentando el voltaje de aceleración (80 kV) y se mejoró el contraste aumentando la corriente del filamento (90  $\mu$ A) logrando de esta manera aumentar la relación contraste-ruido (CNR) de la imagen. A su vez, para evaluar la calidad de la tomografía se consideró el CNR, la resolución y la incertidumbre experimental. El valor de CNR se calculó a partir de 20 mediciones experimentales, en diferentes secciones transversales de la imagen tomográfica, resultando un valor de aproximadamente 10,45. Por otro lado, los parámetros de resolución utilizados fueron  $\sim 7 \mu\text{m}$  / vóxel con 800 proyecciones (3 fotogramas promediados por cada proyección) y un tiempo de escaneo de aproximadamente 1 h. Por último, la calibración dimensional se realizó

mediante 30 mediciones tomográficas en 3 patrones de calibración (patrones de hilos de acero) con diámetros nominales de 175  $\mu\text{m}$ , 195  $\mu\text{m}$  y 250  $\mu\text{m}$ , dando como resultado una incertidumbre expandida (U) de  $\pm 5,8 \mu\text{m}$ .

## 2.1 Caracterización estructural de los nódulos de grafito

Para la caracterización de los nódulos de grafito se determinó una región de interés (ROI) de 2,6 mm  $\times$  2,1 mm  $\times$  0,5 mm, la cual contiene 9238 nódulos. A partir del procesamiento del ROI es posible obtener la morfología 3D y la distribución de los nódulos de grafito. Además, es importante destacar que se consideraron únicamente los nódulos de grafito con un diámetro superior a 25  $\mu\text{m}$ . En este trabajo, el enfoque de estudio está basado en tres parámetros característicos: diámetro, esfericidad y compacidad. Por un lado, la esfericidad se puede definir como la relación entre el volumen del nódulo de grafito ( $V_r$ ), y su superficie ( $A_r$ ) (Chuang et al., 2015) tal como se presenta en la Ec. (1)

$$S_G = \pi^{0.33} (6V_r)^{0.67} / A_r \quad (1)$$

Por otro lado, la compacidad se define como la relación entre  $V_r$  y el volumen de la esfera circunscrita  $V_s$ , como se presenta en Ec. (2)

$$C = V_r / V_s \quad (2)$$

A su vez, si consideramos el tamaño de los nódulos en función del diámetro de los mismos, es posible obtener tres subpoblaciones que relacionen los tres parámetros mencionados. Para la segmentación, se consideraron únicamente los nódulos pertenecientes a la “subpoblación final” compuesta de nódulos de alta calidad obtenida en el trabajo (Díaz et al., 2021) descrito en la introducción. Estas subpoblaciones se presentan en la Tabla 1.

Subpoblación	Diámetro ( $\mu\text{m}$ )	Esfericidad	Compacidad	Conteo nodular
S1	25-40	0.65-1.0	0.50-1.0	724
S2	40-60	0.65-1.0	0.50-1.0	852
S3	60-80	0.65-1.0	0.50-1.0	334

Tabla 1. Parámetros utilizados para generar cada subpoblación

## 3. Resultados

### 3.1. Concentración de nódulos

La Fig. 1 muestra los gráficos de esfericidad - diámetro (Fig. 1.a) y compacidad - diámetro (Fig. 1.b).

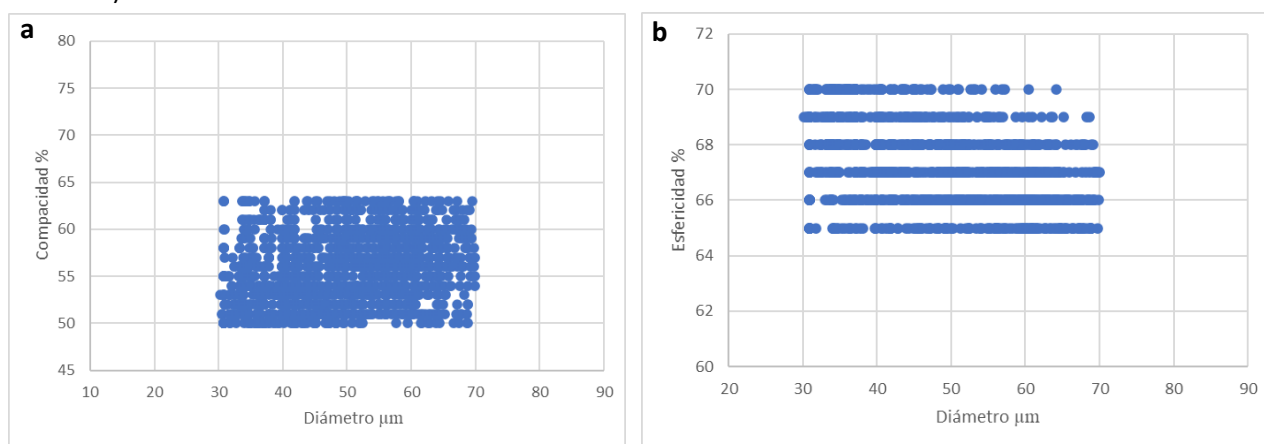


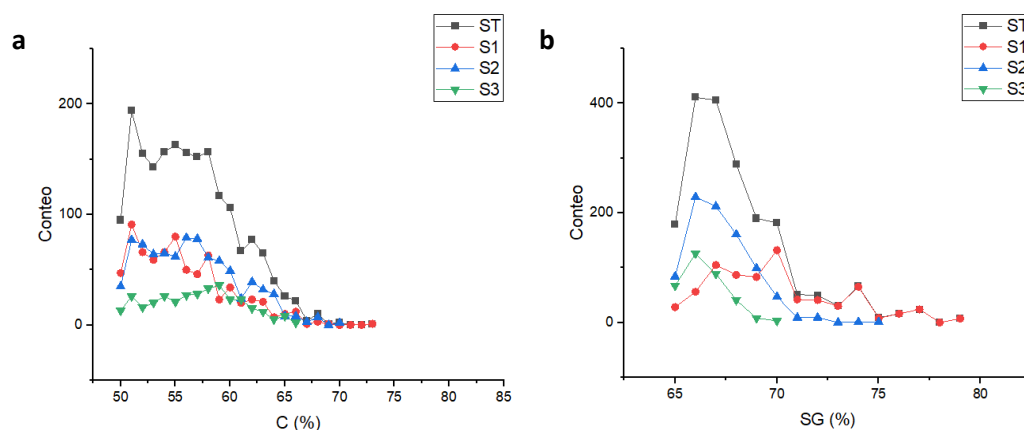
Fig. 1 a. Gráfico esfericidad – diámetro. b. Gráfico compacidad - diámetro



En ambos gráficos se observa una clara concentración de nódulos en el rango de diámetros 30-70  $\mu\text{m}$ , cuyas esfericidades y compacidades oscilan entre 65-70% y 50-63% respectivamente. Además, es posible destacar tendencias opuestas entre ambos gráficos ya que a medida que crece la esfericidad el conteo de nódulos pequeños aumenta y el conteo de nódulos grandes disminuye (los huecos se trasladan de izquierda a derecha en el gráfico), mientras que, para los valores de C, el comportamiento es inverso. Esto último indicaría la existencia de una complementariedad de los parámetros de SG y C que podría justificar el uso combinado de dichos parámetros para la caracterización de los nódulos de grafito.

### 3.2. Distribuciones de esfericidad y compacidad

Las distribuciones de esfericidad para las subpoblaciones S1, S2 y S3 y para la subpoblación final ST se muestran en la Fig. 2 a. La subpoblación S1 presenta una mayor amplitud que S2 y S3, y a su vez, la distribución de S2 es más extensa que S3 alcanzando porcentajes de SG mayores y demostrando que a medida que el tamaño de los nódulos aumenta su esfericidad disminuye. Por otro lado, la Fig. 2 b representa las distribuciones de compacidad para las correspondientes subpoblaciones y subpoblación final. En este caso, se observa una forma similar entre S1 y S2 en el rango del 50 al 55%, las cuales presentan, para dichos valores, una mayor cantidad de nódulos que S3. A partir del 55% y hacia el final, la subpoblación S2 muestra una mayor cantidad de nódulos que S1 y S3, mientras que la cantidad de nódulos de S1 va disminuyendo y se aproxima a la de S3.



**Fig. 2. a. Distribuciones de esfericidad para las subpoblaciones S1, S2 y S3 y para la subpoblación final ST. b. Distribuciones de compacidad para las subpoblaciones S1, S2 y S3 y para la subpoblación final ST.**

Además, es posible verificar el fenómeno de complementariedad antes mencionado si se analizan las distribuciones de S1 y S3, las cuales presentan los nódulos más pequeños y más grandes respectivamente. Empezando por la distribución de SG y considerando el rango de esfericidad establecido para la concentración de nódulos (65-70%), se observa claramente que a medida que la esfericidad aumenta el conteo de S1 aumenta y el de S3 disminuye (este último se verifica a partir del 66%). Por otro lado, en la distribución de C es posible visualizar la tendencia opuesta, es decir, en el rango 50-63% se observa una tendencia general al aumento en el conteo de S3 y una disminución en el conteo de S1 a medida que aumenta la compacidad.

### 3.3. Complementariedad de los parámetros de SG y C

Continuando el análisis de la zona donde se encontró la concentración de nódulos, se puede observar que los rangos de valores de SG y C tienen una amplitud de 5 y 13% respectivamente, lo cual significa que, para los mismos nódulos los valores de compacidad son más diversos, lo que permite una mayor diferenciación de los mismos. Esto se puede visualizar en la Tabla 2, donde se encuentran subdivididos, de acuerdo a sus valores de SG, los nódulos pertenecientes

a la zona de concentración. De esta manera es posible afirmar que para cada valor de esfericidad existe al menos un nódulo cuya compacidad es máxima y al menos un nódulo cuya compacidad es mínima, demostrando que aun cuando la esfericidad del nódulo es máxima (70% en este caso) su compacidad puede ser mínima (50% en este caso) alterando la morfología del mismo.

Rango de concentración ( $30 \leq \emptyset \leq 70$ ) – 1411 nódulos			
SG	Conteo	$C_{m\acute{a}x}$	$C_{m\acute{i}n}$
65%	160	63%	50%
66%	383	63%	50%
67%	324	63%	50%
68%	270	63%	50%
69%	163	63%	50%
70%	111	63%	50%

**Tabla 2. Conteo y valores máximos y mínimos de compacidad para cada agrupación de nódulos de acuerdo a su esfericidad.**

#### 4. Conclusiones

En primer lugar, a partir de los gráficos realizados para la subpoblación final (Fig. 1), se observa una concentración de nódulos en el rango de diámetros 30-70  $\mu\text{m}$ , cuyas esfericidades y compacidades oscilan entre 65-70% y 50-63% respectivamente. Al mismo tiempo, se destaca la existencia de tendencias opuestas entre ambos parámetros denotando la complementariedad entre SG y C. Luego, en la distribución de SG, se verifica nuevamente la complementariedad antes mencionada al analizar las distribuciones de S1 y S3, las cuales presentan los nódulos más pequeños y más grandes respectivamente. Finalmente, al analizar la zona de concentración descrita, se visualiza que, para los mismos nódulos, los valores de compacidad son más diversos que los valores de esfericidad, con lo cual se permite una mayor diferenciación de dichos nódulos. Estos resultados no solo permiten justificar el uso combinado de los parámetros de esfericidad y compacidad para la caracterización geométrica de los nódulos de grafito debido a su complementariedad, sino que también proporcionan nuevos conocimientos acerca de la morfología de dichos nódulos y su distribución en la matriz metálica.

#### Referencias

- Agrawal, A.K., Sarkar, P.S., Kashyap, Y.S., Singh, B., Sharma, A., Kumar, R. & Sinha, A. (2016). "Application of X-Ray CT for Non-destructive Characterization of Graphite Fuel-Tube", *Journal of Nondestructive Evaluation*, 35, (36), 1-8.
- Bjerre, M., Azeem, M.A., Lee, P., Hattel, J.H. & Tiedje, N. (2018). "Revisiting Models for Spheroidal Graphite Growth", *Materials Science Forum*, 925, 118-124.
- Chuang, A., Singh, D., Kenesei, P., Almer, J., Hryn, J. & Huff, R. (2015). "3D quantitative analysis of graphite morphology in high strength cast iron by high-energy X-ray tomography", *Scripta Materialia*, 106, 5-8.
- Díaz, F.V., Peralta, M.E. & Fernandino, D.O. (2021). "Study of Sphericity and Compactness Parameters in Spheroidal Graphite Iron Using X-Ray Micro-computed Tomography and Image Processing", *Journal of Nondestructive Evaluation*, 40, (11), 1-10.
- Lekakh, S.N., Zhang, X., Tucker, W., Lee, H.K., Selly, T. & Schiffbauer, J.D. (2020). "Micro-CT Quantitative Evaluation of Graphite Nodules in SGI", *Inter Metalcast*, 14, 318–327.

# EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI) EN SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE EFLUENTES EN PREDIOS LECHEROS GREENHOUSE GAS EMISSIONS (GHG) IN EFFLUENT TREATMENT SYSTEMS IN DAIRY FARMS

**Facundo VOGT BOGGIO** - UTN FRRA Email de contacto: [vogtfacundo@gmail.com](mailto:vogtfacundo@gmail.com)

**Mateo CAUSSI ROBERTO** – UTN FRRA Email de contacto: [mateocaussi3@gmail.com](mailto:mateocaussi3@gmail.com)

## RESUMEN

Las actividades agrícolas y ganaderas son generadoras de diversos gases de efecto invernadero (GEI) como CH<sub>4</sub> (metano), N<sub>2</sub>O (óxido nitroso) y CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono), siendo conocidos como los gases con mayor efecto negativo para el medioambiente. Los sistemas de tratamiento de efluentes, generalmente conformados por sistemas de lagunas de estabilización, instalados en las zonas rurales dan una solución al tratamiento de aguas residuales provenientes de las actividades realizadas en el lugar; pero a su vez son generadores de dichos GEI. El objetivo de este trabajo es estudiar las emisiones de GEI en plantas de tratamiento de efluentes de tambo empleando dos técnicas diferentes.

**PALABRAS CLAVES:** Emisiones GEI; efluentes tambo; Humedales; lagunas; Nutrientes.

## ABSTRACT

Agricultural and livestock farming activities are the main generator of various greenhouse gases (GHG) such as CH<sub>4</sub> (methane), N<sub>2</sub>O (Nitrous oxide), CO<sub>2</sub> (carbon dioxide). These are known as the most noxious gases for the environment. Similarly, the wetlands and effluent ponds installed in rural areas provide a solution to the treatment of wastewater originated from the activities carried out in the place; but at the same time, they are generators of GHG. The purpose of this research is to present a serie of treatment to reduce these harmful emissions to our environment.

**KEYWORDS:** Emissions GHG; effluents milking parlor; wetlands; nutrients

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo corresponde a un proyecto iniciado en el año 2021. Sobre la base de una búsqueda bibliográfica y la lectura de artículos científicos, se expone el problema de emisión de gases de efecto invernadero proveniente de residuos agrícolas-ganaderos, aguas residuales de zonas rurales, degradación anaeróbica, manejo de lodos y manejo de sistemas de humedales. Además, se presentan las técnicas empleadas para medir las emisiones de los GEI a campo.

### Gases Efecto Invernadero

Los gases de efecto invernadero (GEI) son los componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropogénicos, que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja emitido por la superficie de la Tierra, la atmósfera y las nubes. (Henry Oswald, 2007)

Diversos estudios han demostrado que ciertas actividades como la fermentación entérica vinculada a las excretas de animales, el manejo de los efluentes de sistemas lecheros, la eliminación de biomasa en humedales, son fuentes de emisión de GEIs (Pratt et al., 2012). La generación de metano (CH<sub>4</sub>) a partir de los sistemas de efluentes en tambos es una fuente importante de emisiones de GEIs y poco cuantificada (Leytem et al., 2017); habiendo una tendencia general a mayores emisiones de estos durante el verano.

### **Emisiones de GEI por rumiantes**

A partir de la fermentación anaeróbica de la dieta de los rumiantes, producida en el tracto digestivo por microorganismos, se obtiene  $\text{CH}_4$ . Además, otro producto de dicha fermentación son los ácidos grasos volátiles (AGV), de los cuales el acético es el principal. Este AGV es productor de  $\text{H}_2$ , por lo que existe siempre un exceso del mismo. Una forma de evitar la acumulación de  $\text{H}_2$  es mediante la síntesis de  $\text{CH}_4$ . El rumiante, mediante la eructación, expulsa el metano sintetizado al ambiente, o lo inspira para ser luego exhalado con la respiración. (Murray et al., 1976).

En Argentina, debido al rodeo vacuno para la producción de leche y carne, la contribución de este tipo de emisiones de GEI es particularmente alta, por lo que constituye un término de peso sobre el balance de GEI.

### **Emisiones de GEI por sistemas de lagunas**

El sistema de lagunas es el método más simple de tratamiento de aguas residuales, este proceso consta en la descomposición natural de materia orgánica a través de microorganismos. Las mismas pueden ser anaeróbicas, facultativas o aeróbicas y sus formas suelen ser rectangulares, de gran superficie y con una reducida profundidad (de 1 a 5 m).

Lytem et al. (2017) reportan tasas de emisión de metano en sistemas de lagunas de diferentes literaturas, verificando que las mismas varían ampliamente, en un rango de 12 a 2030 kg de  $\text{CH}_4$ /ha por día y de 4,7 a 1,028 g / cabeza por día. Este rango indica la diversidad de los sistemas de manejo del estiércol y los efluentes generados que se pueden encontrar en la producción láctea. Además, no se debe descartar la influencia de las dietas del ganado, la adición de leche derramada y de agentes de limpieza que se emplean. Los mismos autores, determinaron que eventos como bombeo, lluvia y el viento aumentan significativamente las emisiones de  $\text{CH}_4$  independientemente de la temperatura. La mayoría de estas emisiones se generan a partir del almacenamiento y tratamiento de los líquidos en lagunas anaeróbicas.

### **Emisiones de GEI por humedales**

Los humedales se encuentran entre los ecosistemas más importantes del mundo que regulan el clima global, ya que almacenan aproximadamente 20-30% del carbono del suelo de la Tierra (Mitsch et al., 2013) y emiten alrededor del 30%  $\text{CH}_4$ , a pesar de ocupar solo alrededor del 3% de la superficie terrestre (Yu et al., 2010). Los humedales construidos imitan los procesos naturales para tratar el agua y, por lo tanto, ayudan a reducir la contaminación que se origina en las zonas agrícolas y urbanas (Kadlec y Wallace, 2009), esta multifuncionalidad es a menudo la razón por la cual el uso de los mismos se está haciendo más popular (Vymazal, 2011). Desafortunadamente, en la práctica el enfoque de la ingeniería de tratamiento de aguas residuales se ha centrado en la eficiencia de eliminación de contaminantes sin prestar mucha atención a las emisiones de GEI (Zhao et al., 2014). Según los estudios realizados en diversos humedales por Kasak et al. (2019), se llega a la conclusión que cosechar biomasa en el verano generan grandes emisiones de  $\text{CH}_4$ , provenientes del tallo de las plantas; esto es los brotes actúan como un conducto para  $\text{CH}_4$  y al cortarlos por encima de la superficie del agua los convierten en culmos que ventilan el metano ( Xu et al., 2019). Por lo que una de las posibles técnicas de reducción de GEIs es cosechar las macrófitas en el invierno.

Claramente, hay una necesidad de establecer no sólo una estimación sino una cuantificación más rigurosa de las emisiones de  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  y  $\text{N}_2\text{O}$  de los tratamientos de efluentes de tambo, no sólo para contabilidad nacional de GEIs, pero también para desarrollar estrategias efectivas de mitigación.

### **Técnicas de medición de GEI**

La técnica utilizada para determinar las variaciones de la concentración de GEIs ( $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$ ) en lagunas es el de las cámaras estáticas o cámaras de acumulación (Parkin y Venterea, 2010). El método consta de una cámara abierta a la atmósfera en la parte superior con una tapa removible

a la que se adosa una válvula para la recolección de muestras de aire. De esta manera se genera en la cámara un volumen fijo en el cual las concentraciones de GEIs aumentan o disminuyen en función del tiempo, dependiendo si dentro de la cámara o en la interfaz se tiene una fuente o sumidero del gas. Esto se verifica con al menos tres extracciones de aire en un período de no mayor a una hora. Posteriormente se determinan las concentraciones del gas de las muestras mediante técnicas cromatográficas.

Una metodología aprobada por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US-EPA) es la que corresponde a los Sistemas de Análisis Multigas de Paso Abierto de Fourier del Espectro Infrarrojo (OP-FTIR). La misma es aplicada para el análisis de gases del aire, posibilitando realizar mediciones continuas (entre 2 y 7 minutos para barrer el espectro IR), puntuales y también perimetrales (US-EPA, 1999 - EPA/625/R-96/010b). La espectrometría FTIR es otro método para monitorear exitosamente contaminantes, GEIs y otros productos de emisión en fuentes de grandes superficies mediante líneas de absorción en el infrarrojo (Weber et al., 1996). El principal desafío en su uso según el Centro CIQA (UTN Córdoba) y la bibliografía (Cheng-Hsien Lin et al., 2019) reside en un correcto análisis de espectros para evitar falsos positivos o sobrestimaciones en las concentraciones debido a interferencias. La principal ventaja frente a otras técnicas es que permite analizar tanto compuestos inorgánicos como orgánicos volátiles (Pepino Minetti et al., 2017).

## METODOLOGÍA

El trabajo desarrollado se lleva a cabo en dos sistemas lecheros del INTA Rafaela: el Tambo Robot (VMS®), ubicado en la Estación Experimental INTA Rafaela y el Tambo Roca (TR) ubicado a 15 km de la EEA Rafaela. Ambos tambos cuentan con un sistema de tratamiento de efluentes diferentes. Por un lado, en el VMS®, los efluentes se bombean hasta una zaranda (tamiz) que separa sólidos, ingresan a la primera laguna, anaeróbica y continúan a una laguna facultativa y actualmente se ha construido un humedal como tratamiento de afino (Figura 1). Por el otro lado, en TR solamente se cuenta con dos lagunas, a las cuales llega el efluente directamente desde la sala de ordeño, sin ningún tratamiento previo (Figura 2).

La emisión de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> en la interfaz agua-aire (ME) se determina mediante el uso de un par de cámaras estáticas flotantes (Matthews et al., 2003) en 4 puntos del sistema de tratamiento del VMS® (1 en la laguna anaeróbica, 2 en la laguna facultativa y 1 en el humedal construido) y en 2 puntos en el sistema de lagunas del TR (Figuras 1 y 2). Un tubo de PVC (de 16 cm de diámetro) constituye los cuerpos de las cámaras, cuyo espacio de cabeza está limitado en el fondo por la superficie del agua de la laguna y en la parte superior por una tapa extraíble. Las tapas desmontables de PVC están provistas de una válvula para muestreo y un pequeño ventilador acoplado en el interior de las tapas (Fusé et al., 2016). Tras el cierre de la cámara, se extraen tres muestras de aire al tiempo 0, 10 y 20 minutos (Figura 3). Las muestras de gas se recogen con jeringas de 25 ml y luego son trasvasada a viales de 12 ml que se encuentran al vacío y previamente limpiados con N<sub>2</sub> puro. Los mismos son almacenados hasta su inyección en un cromatógrafo de gases para medir la concentración de CH<sub>4</sub>, NO<sub>x</sub> y CO<sub>2</sub>. Además, dos veces al año se realizarán mediciones de GEI empleando un equipo de FTIR, de manera de comparar los resultados con las cámaras estáticas.



Figura 1: Sistema de lagunas tambo Robot INTA Rafaela



Figura 2: Sistema de lagunas Tambo INTA Roca

En cada punto donde se realiza la medición de GEI con las cámaras estáticas, se realiza la medición de temperatura del agua, velocidad del viento y temperatura ambiental. Además, se lleva a cabo el muestreo de los efluentes de manera de buscar correlación entre los resultados obtenidos. En los efluentes muestreados se analizan los siguientes parámetros: pH, conductividad, sólidos totales, sólidos volátiles totales, demanda química de oxígeno (DQO), demanda biológica de oxígeno (DBO), nitrato, nitrito, amonio, nitrógeno total y sulfuros.

Si bien las mediciones del proyecto completo serán realizadas cada 2 meses durante el año 2021, en el presente trabajo se desea comunicar los primeros datos obtenidos durante el verano 2021 y el protocolo utilizado para la medición.



Figura 3: Equipo de medición de GEI con cámaras estáticas



Figura 4: Equipo de medición de GEI por FTIR

## RESULTADOS

En la Tabla 1 se presentan los resultados obtenidos en el primer muestreo realizado en época estival. Las temperaturas ambientales fueron superiores a los 36,0 °C mientras que las temperaturas de las lagunas en los lugares de muestreo fueron cercanas a 26 °C. Los resultados de DQO y SV indican un elevado contenido de materia orgánica en las muestras tomadas. En las primeras lagunas de ambas series se produce la mayor cantidad de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>, observándose las mayores tasas para ambos sistemas. Los valores obtenidos estuvieron dentro de los rangos encontrados por diferentes autores (Todd et al., 2011; Leytem et al., 2017). No se han detectado en ninguno de los puntos ensayados concentraciones apreciables de óxidos de nitrógeno.

Tabla 1: Resultados obtenidos en muestreos de efluentes y GEI realizado en época estival en dos sistemas de tratamientos de efluentes de predios lecheros.

Punto de muestreo	Temp. laguna	Vel. viento	Temp. ambiental	ST	SV	DQO	pH	Emisión en la interfaz agua-aire			
	°C	Km/h	°C	mg/l	mg/l	mgO <sub>2</sub> /l		gCH <sub>4</sub> /m <sup>2</sup> /h	gCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> /h	kg CH <sub>4</sub> /ha.d	kg CH <sub>4</sub> /VO.d
P1(VMS)	26,2	1,0	36,0	5880	2326	2575	7,6	8,2	2462	1962	654
P2 (VMS)	26,2	2,9	36,3	5464	2108	1970	8,2	0,13	377	32,1	10,7
P3 (VMS)	26,2	1,4	36,5	5468	1948	1764	8,2	1,80	540	433	144
P1 (TR)	26,4	4,4	36,7	7472	1664	1364	7,3	0,42	560	100	58,0
P2 (TR)	26,3	11,4	36,5	7220	1952	927	7,4	0,16	804	37,9	21,9

Temp = temperatura, Vel= velocidad, ST = sólidos totales, DQO = demanda química de oxígeno, SV = sólidos volátiles

## CONSIDERACIONES FINALES

Este trabajo presenta valores preliminares, ya que sólo representa una medición dentro de una serie en un año. A partir del desarrollo del presente trabajo se obtendrán valores de emisiones de GEI en

diferentes períodos del año, bajo diferentes sistemas de tratamiento de efluentes y empleando diferentes metodologías de mediciones, de manera de describir la variabilidad estacional.

## BIBLIOGRAFÍA

- Cheng-Hsien L., R. H. Grant, A. J. Heber, and C.T. Johnston. (2019). Application of open-path Fourier transform infrared spectroscopy (OP-FTIR) to measure greenhouse gas concentrations from agricultural fields. *Atmos. Meas. Tech.*, 12, 3403–3415.
- Fusé, V.S., Priano, M.E., Williams, K. E., Gere, J.I., Guzmán, S.A., Gratton, R., Juliarena, M.P. (2016). Temporal variation in methane emissions in a shallow lake at a southern mid latitude during high and low rainfall periods. *Environmental Monitoring and Assessment* 188(10), 590.
- Henry O. Et al. (2007). INFORMACIÓN TÉCNICA SOBRE GASES DE EFECTO INVERNADERO Y EL CAMBIO CLIMÁTICO.
- Kadlec, R.H., Wallace, S.D., (2009). *Treatment Wetlands*. Second edition. p. 1016.
- Kasak K. Et al. (2019). Experimental harvesting of wetland plants to evaluate trade-offs between reducing methane emissions and removing nutrients accumulated to the biomass in constructed wetlands. *Science of the Total Environment*, 10.
- Leytem, A.B., Bjorneberg, D. L.; Koehn, A. C. ; Moraes, L. E. ; Kebreab, E. and Dungan, R. S. (2017) Methane emissions from dairy lagoons in the western United States. *J. Dairy Sci.* 100:6785–6803  
<https://doi.org/10.3168/jds>
- Matthews, H.S., Hendrickson, C.T., Weber, C.L. (2008). The Importance of Carbon Footprint Estimation Boundaries. *Environ.Sci. Technol.* 42, 5839–5842.
- Mitsch, WJ, Bernal, B., Nahlik, AM, Mander, U., Zhang, L., Anderson, CJ, et al., (2013). *Mojadotierras, carbono y cambio climático*. *Landsc. Ecol.* 28, 583-597.
- Murray, R. M., Bryant, A. M., & Leng, R. A. (1976). Rates of production of methane in the rumen and large intestine of sheep. *British Journal of Nutrition*, 36(1), 1-14.
- Parkin, T.; Mosier, A.; Smith, J.; Venterea, R.; Johnson, J.; Reicosky, D.; Doyle, G.; McCarty, G.; Baker, J. (2003). Chamberbased trace gas flux measurement protocol. USDA-ARS GRACEnet.
- Pratt, C. Et al. (2011). Biofiltration of methane emissions from a dairy farm effluent pond. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 7.
- Todd, R. W., N. A. Cole, K. D. Casey, R. Hagevoort, and B. W. Auvermann (2011). Methane emissions from southern High Plains dairy wastewater lagoons in the summer. *Anim. Feed Sci. Technol.* 166–167:575–580
- Vymazal, J., (2011). Enhancing ecosystem services on the landscape with created, constructed and restored wetlands. *Ecol. Eng.* 37, 1–5.
- Xu, G.M., Li, Y., Wang, S., Kong, F.L., Yu, Z.D., (2019). An overview of methane emissions in constructed wetlands: how do plants influence methane flux during the wastewater treatment? *J. Freshw. Ecol.* 34, 333–350.
- Yan, C., Zhang, H., Li, B., Wang, D., Zhao, Y., Zheng, Z., (2012). Effects of influent C/N ratios on CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> emissions from vertical subsurface flow constructed wetlands treating synthetic municipal wastewater. *J. Hazard. Mater.* 203, 188–194.
- Yu, Z.C., Loisel, J., Brosseau, D.P., Beilman, D.W., Hunt, S.J., (2010). Global peatland dynamics since the Last Glacial Maximum. *Geophys. Res. Lett.* 37.
- Zhang, P. Et al. (2018). An integrated gravity-driven ecological bed for wastewater treatment in subtropical regions: Process design, performance analysis, and greenhouse gas emissions assessment. *Journal of Cleaner Production*, 11.

## **Análisis Comparativo de los Reglamentos Argentino y europeo de las presiones en las cubiertas abovedadas**

### **Comparative Analysis of the Argentine and European Regulations of the pressures in the vaulted roofs**

**Milagros Turino** - Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Rafaela -  
milagrosturino@gmail.com

**Paula Farandato** - Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Rafaela -  
paula.farandato@gmail.com

#### **Resumen.**

La acción del viento en estructuras es analizada por el Reglamento CIRSOC 102. Los coeficientes de presión en cubiertas abovedadas se tratan la Tabla 8 (INTI, 2005: 54-55). Los coeficientes de presión se definen como el resultado de la división de la presión en el punto estructural analizado y la presión dinámica del viento libre (ASCE 7, 2016: 333-336)

De esta manera, conociendo la presión dinámica de referencia podemos determinar la presión en cualquier punto de la cubierta abovedada.

El Eurocódigo presenta valores diferentes de coeficientes de presión para las misma cubiertas (EUROCÓDIGO 1, 2010: 54-55 )

El objetivo de este trabajo es analizar los valores que se obtienen de ambos Reglamentos. Para ello, ambos códigos se aplican a la misma estructura, generando hojas de cálculo que, mediante curvas, permiten visualizar estas diferencias.

**Palabras clave:** acción del viento, Cirsoc 102, Eurocódigo 1

#### **Abstract.**

The wind action on structures is analyzed by Reglamento CIRSOC 102. The pressure coefficients in vaulted ceilings are discussed in Table 8. (INTI, 2005: 54-55). The pressure coefficients are defined as the result of the division of the pressure at the analyzed structural point and the dynamic wind pressure (ASCE 7, 2016: 333-336)



In this way, knowing the reference dynamic pressure, we can determine the pressure at any point on the domed roof.

The Eurocode presents different values of pressure coefficients for the same ceilings (EUROCODE 1, 2010: 54-55)

The objective of this work is to analyze the values that are obtained from both Regulations.

For this, both codes are applied to the same structure, generating spreadsheets that, using curves, allow these differences to be visualized.

Keywords: wind action, Cirsoc 102, Eurocode 1

### **Introducción.**

Para determinar las cargas que el viento produce en una estructura, Argentina posee un Reglamento específico denominado CIRSOC 102.

En este código, se presentan las ecuaciones y tablas necesarias para determinar la presión dinámica ( $q$ ) que el viento aplica sobre una estructura; su valor dependerá de la topografía del terreno circundante, la velocidad del viento, la importancia del edificio, su forma, la densidad del aire, la altura del punto analizado, la frecuencia de la estructura y la permeabilidad de las paredes

Por otra parte, la presión estática de diseño que se genera en la estructura dependerá de la tipología estructural. Su valor se obtiene de multiplicar la presión dinámica ( $q$ ) por el coeficiente de presión ( $c_p$ ) de la estructura analizada.

Para determinar las presiones en una cubierta abovedada, el Reglamento CIRSOC 102, indica los valores de los coeficientes de presión ( $c_p$ ) en la Tabla 8,

Estos coeficientes multiplican a la presión dinámica ( $q$ ) para obtener la presión estática en el punto de la estructura analizada.

La presión estática, es el valor de la carga de viento que genera los esfuerzos que deberá soportar el sistema principal resistente a la fuerza del viento (SPRFV) y los componentes y revestimientos (C&R).

El Reglamento Argentino es una adaptación del Reglamento Americano ASCE 7-98, por lo que podemos afirmar que se analizaron los Reglamentos de aplicación en Argentina, Europa y USA.

### **Desarrollo.**

Para comparar ambos reglamentos, se analizó la misma estructura.

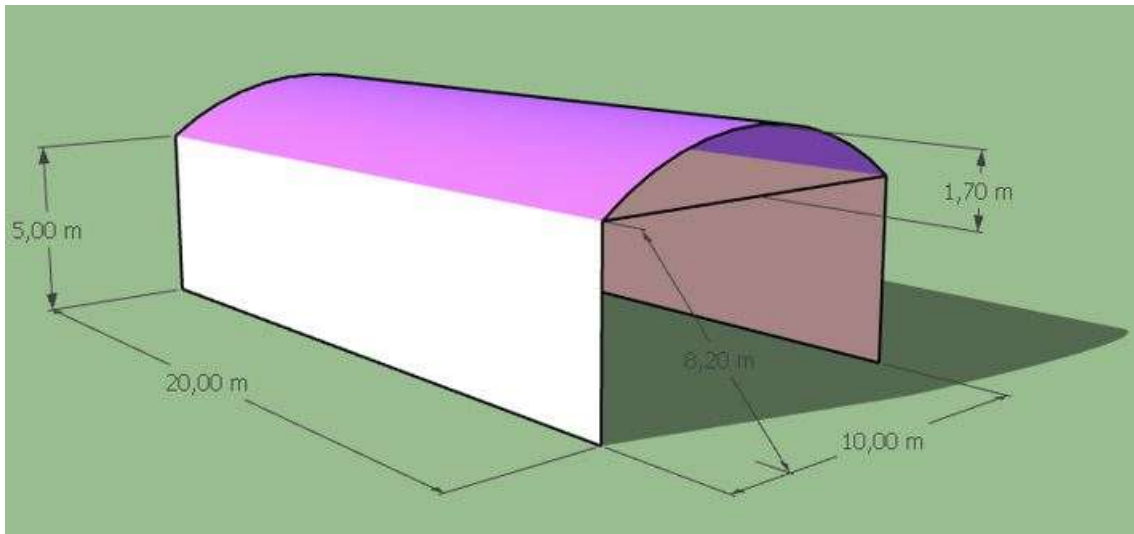


Figura 1: estructura analizada

La geometría analizada fue un galpón de planta rectangular, cuyas dimensiones son: 20 m de largo ( $L=20\text{m}$ ) por 10 m de ancho ( $d=10\text{m}$ ) con una altura sobre el terreno de 5,00 m ( $h=5\text{m}$ ). Con respecto a la cubierta, esta posee una flecha  $f=1,70\text{m}$  conformando un círculo de radio  $R=8,20\text{m}$

Los valores obtenidos de  $C_p$  para la cubierta de la estructura parabólica de la figura 1, son los que se indican en la tabla siguiente:

$f$ (flecha) = 2,00 m	$h$ (altura) = 5,00 m
$d$ (luz de vano) = 10,00 m	$r = f / d = 0,20$

Relación $r = f / d$	$C_p$		
	A	B	C
$0 < r < 0,2$	n/a	n/a	n/a
$0,2 \leq r < 0,3$	0,00	-0,90	-0,50
	-0,90	-0,90	-0,50
$0,3 \leq r < 0,6$	n/a	n/a	n/a

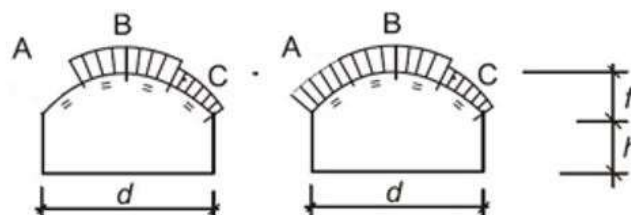


Tabla 1: valores de  $C_p$  según el Reglamento Argentino CIRSOC 102 – Tabla 8

A continuación se muestra el diagrama utilizado en la figura 7.11 del Eurocode 1 y los valores que se obtuvieron para la misma estructura:

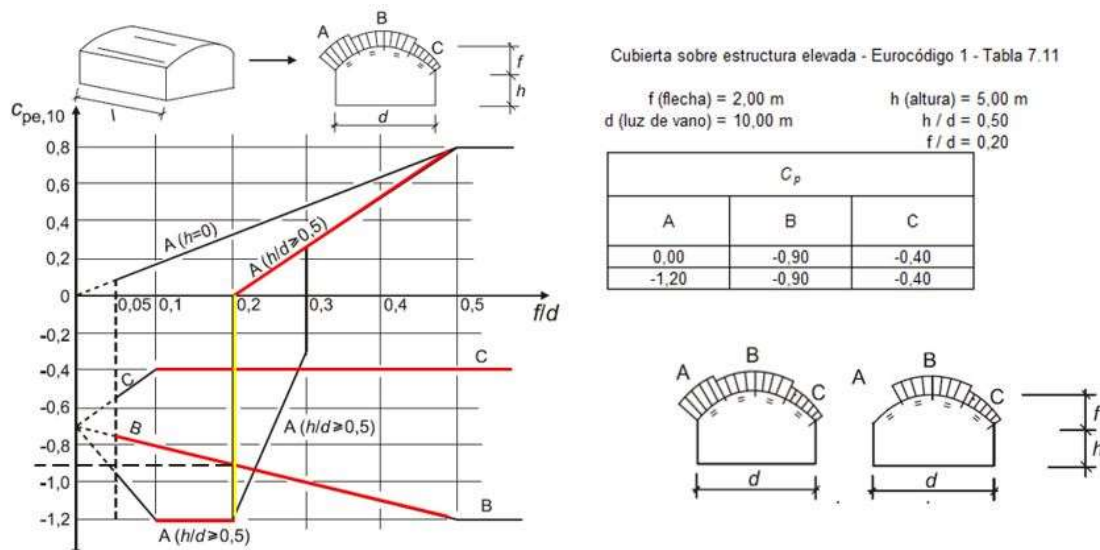


Figura 2: valores de Cpe según el Eurocódigo 1 – Diagrama 7.11

Las cuatro rectas marcadas con rojo representan a los sectores A, B y C respectivamente. La relación  $f/d$  origina en las abscisas el punto de partida de la línea paralela a las abscisas que intersectando las rectas mencionadas anteriormente dan como resultado en ordenadas el valor de  $C_{pe}$  (coeficientes de presión exterior). Vale aclarar que el subíndice 10 indica que el coeficiente es utilizado para la estructura resistente (EUROCODE 1, 2010: 38-39)

### Conclusiones.

Los valores de  $C_p$  obtenidos de ambos Reglamentos para la misma estructura, difieren en algunos casos hasta en un 50%.

El Eurocódigo contempla la afectación del valor de la altura de la cubierta al terreno “h” en los valores de  $C_p$  para la cubierta.

Ambos Reglamentos permiten determinar valores de  $C_p$  para cubiertas apoyadas en el suelo ( $h=0$ )

Para viento paralelo a la directriz de la cumbre, ambos Reglamentos remiten a otras Tablas.

### Referencias.

ASCE7. (2016). *Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures*.

New York: Editorial ASCE.

EUROCÓDIGO. (2010). *Eurocódigo 1: acciones en estructuras*. Madrid: Editorial Ministerio  
España.

INTI. (2005). *CIRSOC 102*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires- Editorial INTI.

## **Bloques de Tierra Comprimida (BTC) estabilizados con cal y adiciones minerales**

### **Compressed Earth Blocks (CEB) stabilized with lime and mineral additions**

**Virginia Clausen**

Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Santa Fe  
vclausen@frsf.utn.edu.ar

**Resumen:** El objetivo de esta investigación es evaluar las propiedades físicas y mecánicas de los Bloques de Tierra Comprimida (BTC) estabilizado con cal y adiciones minerales de fácil obtención en Argentina: puzolanas naturales y polvo de ladrillo. Para ello se moldearon series de probetas con diferentes proporciones de cal y adiciones minerales y se evaluó su resistencia a compresión, resistencia a erosión húmeda y absorción de agua, contrastando los resultados con los de series de control. Los resultados obtenidos permiten afirmar que la incorporación en pequeñas cantidades de ambas adiciones en combinación con cal aérea hidratada en la fabricación de BTC, en comparación con las series de probetas estabilizados únicamente con cal aérea hidratada poseen un efecto negativo en las propiedades físicas y mecánicas de estos bloques.

**Palabras claves:** BTC, cal, adiciones minerales, durabilidad, resistencia

**Abstract:** The objective of this research is to evaluate the physical and mechanical properties of Compressed Earth Blocks (CEB) stabilized with lime and mineral additions easily obtained in Argentina: natural pozzolans and brick dust. For this, series of test tubes with different proportions of lime and mineral additions were molded and their resistance to compression, resistance to wet erosion and water absorption were evaluated, contrasting the results with those of control series. Finally, the results obtained allow us to affirm that the incorporation in small amounts of both additions in combination with hydrated air lime in the manufacture of BTC, in comparison with the series samples of test tubes stabilized only with hydrated air lime have a negative effect on the physical properties. and mechanics of these blocks.

**Keywords:** CEB, lime, mineral additions, durability, resistance

## **INTRODUCCIÓN**

El Bloque de Tierra Comprimida o BTC es un mampuesto resultante de la mezcla de tierra, estabilizantes y agua, comprimida mediante la utilización de máquinas específicamente diseñadas para dicho fin. Los estabilizantes permiten mejorar sus propiedades físicas, aumentando así la resistencia a compresión e intemperismo de los bloques y reduciendo las fisuras provocadas por la retracción de la arcilla (Aranda Jimenez, 2010).

Desde los orígenes de esta tecnología, el estabilizante por excelencia ha sido el cemento portland (Malkanthei et al., 2020). A pesar de las buenas prestaciones que poseen los BTC estabilizados con

cemento, debe considerarse que, además de su elevado costo económico, la fabricación de este aglomerante requiere de elevados procesos de transformación térmica (debe ser calcinado  $1450^{\circ}\text{C}$ ) y una molienda intensiva del clínker (Maddalena et al., 2018), liberando enormes cantidades de  $\text{CO}_2$  a la atmósfera. Se estima que por cada tonelada de cemento portland producidas, son liberadas a la atmósfera 0.86 toneladas de  $\text{CO}_2$  (Miller et al., 2018). Por otro lado, la cal requiere calcinar la piedra caliza a solo  $900^{\circ}\text{C}$  y produce una emisión de  $\text{CO}_2$  equivalente del 50% respecto a la del cemento portland (Maddalena et al., 2018), esto sumado a la capacidad de esta de reabsorber durante su proceso de endurecimiento gran parte del  $\text{CO}_2$  liberado a la atmósfera durante su proceso de fabricación (National Lime Association, 2004), la han convertido en una alternativa ampliamente utilizada en la estabilización de BTC en diferentes países, mejorando su resistencia y durabilidad manera aceptable (Ouedraogo et al., 2020).

El reemplazo parcial de cal por adiciones minerales puzolánicas, “puzolanas”, podría generar productos de mayor resistencia que el  $\text{CaCO}_3$  (cal endurecida), presentando beneficios ambientales que deben ser considerados: la reducción en la utilización de cal - por ser reemplazada de manera parcial por puzolanas- con la consecuente reducción en las emanaciones de  $\text{CO}_2$  y la incorporación de materiales de desecho, como lo son gran parte de los materiales puzolánicos.

## OBJETIVOS

El objetivo general de la investigación es evaluar las propiedades físicas, mecánicas y químicas de los bloques de tierra comprimida estabilizado con materiales de fácil obtención en la provincia de Santa Fe (Argentina), como lo son la cal y algunas adiciones minerales con propiedades puzolánicas. Para ello se proponen evaluar la resistencia a compresión, resistencia a erosión húmeda y absorción de agua de probetas estabilizadas con cal y las adiciones minerales en estudio, contrastando los resultados con los de sus homólogas estabilizadas únicamente con cal o cemento.

## METODOLOGÍA

### Materiales

A continuación, se detallan los materiales utilizados en esta investigación:

- Tierra: Proveniente de una cantera emplazada en la comuna de Monte Vera, provincia de Santa Fe (Argentina) destinada a la extracción de suelo para obras viales. La misma fue clasificada como un limo arcilloso de baja plasticidad CL-ML (ASTM, 2017).
- Arena de sílice: Extraída en la cuenca baja del río Paraná, en la ciudad de Santa Fe.
- Cemento Portland: Tipo CPC 40 (IRAM, 2019) producido por la empresa “Holcim” en la provincia de Mendoza (Argentina).
- Cal aérea hidratada: Marca “Andina”, fabricada por la empresa “Cal FGH” en Los Berros, San Juan (Argentina).
- Polvo de ladrillo: Se adquirió en un corralón de la ciudad de Santa Fe (Argentina), quien lo fabrica triturando ladrillos de descartes proporcionados por diversas ladrilleras próximas a la ciudad.

- Puzolana: Extraída y comercializada por la empresa “Minera del Sur” cuyas canteras se encuentran en Pareditas, Mendoza (Argentina). Tiene una gran disponibilidad comercial en Santa Fe, por ser utilizada en la preparación de hormigones y morteros alivianados.

### Moldeo de probetas

Se moldearon en el Laboratorio de Materiales de la UTN FRSF 8 series de 12 probetas cilíndricas cada una, siguiendo la siguiente dosificación:

**Tabla 1:** Dosificación en peso seco de los materiales de las diferentes series de probetas cilíndricas.

Serie		Tierra (%)	Arena (%)	Cal (%)	Cemento (%)	Puzolana (%)	Polvo de ladrillo (%)
I	Tierra/arena 1	70	30	-	-	-	-
II	Tierra/arena 2	50	50				
III	Cemento. 10%	63	27	-	10	-	-
IV	Cal 10%	63	27	10	-	-	-
V	Puzolana 3%	63	27	7	-	3	-
VI	Puzolana 5%	63	27	5	-	5	-
VII	P. ladrillo 3%	63	27	7	-	-	3

Con el objetivo de generar probetas representativas se adoptaron los siguientes parámetros de diseño: Densidad seca: 1.600 kg/m<sup>3</sup>; Tasa de compresión: 35%; Humedad de la mezcla: 13%; Tamaño del molde: 5 cm de diámetro x 11 cm de alto. Estos parámetros fueron adoptados en función de las características de los BTC producidos con prensas comercialmente disponibles en el mercado nacional.

El procedimiento empleado para la confección de estas probetas fue siguiente: el material requerido para cada serie (según dosificación de la Tabla 1) se mezcló de manera manual, primero en seco y luego incorporando el agua requerida para alcanzar una humedad del 13%. A continuación, se colocó dentro del molde cilíndrico la cantidad requerida para alcanzar la densidad seca establecida (264.2 g de mezcla húmeda), acomodando el material dentro del molde con los dedos. Luego, con ayuda de un pistón hidráulico se comprimió el contenido del molde para llevarlo desde su altura inicial de 11 cm hasta una altura final de 7.10 cm (tasa de compresión del 35%). Finalmente, con la ayuda del mismo pistón se desmolda la probeta, se pesa y miden sus dimensiones. El curado de las series estabilizadas con cemento, cal y adiciones minerales (series III a VIII) se realizó humedeciéndolas con agua y manteniéndolas envueltas en un film de polietileno.

### Ensayos

A continuación, se describen los ensayos realizados sobre las diferentes series de probetas:

- Resistencia a compresión seca: Se adoptaron los protocolos establecidos por la norma VN E33 67 (DNV, 1967).
- Absorción de agua por inmersión: Se realizó según lo detallado en la sección 3.3 de la norma brasilera NBR 8492 (ABNT, 2012).

- Resistencia a compresión saturada: Se siguió el protocolo estipulado por la norma brasilera ABNT 8492 (ABNT, 2012)
- Absorción de agua por capilaridad: Se realizó el ensayo estipulado por la norma española UNE 41410 (AENOR, 2008).
- Resistencia a la erosión húmeda: Se realizó una adaptación del ensayo de pulverizado de agua a presión estipulado por las normas neozelandesa NZS 4298 (NZS, 1998) e india 1725 (IS, 2013).

## RESULTADOS

En las figuras 1 y 2 se presentan los resultados de los ensayos realizados sobre las diferentes series de probetas confeccionadas.

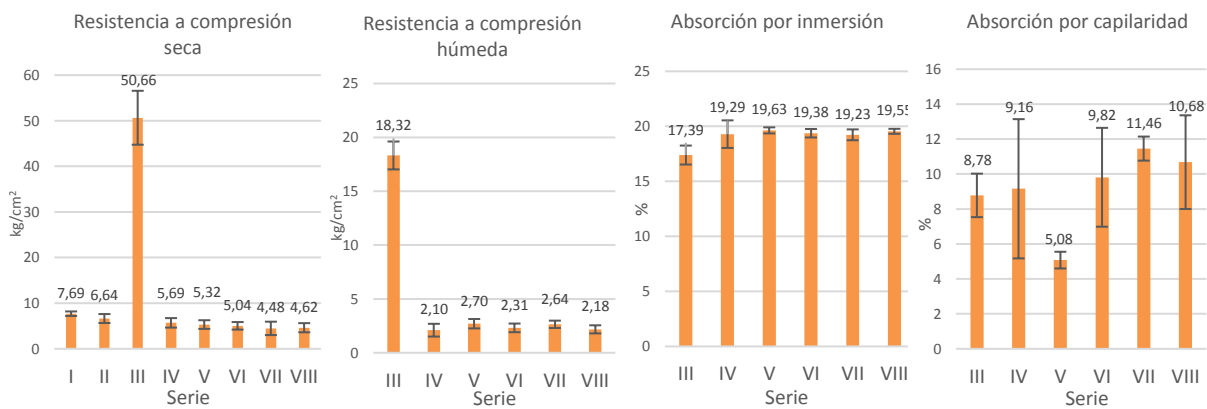


Figura 1: Resultados de los ensayos de resistencia a compresión y absorción de agua

Muestra	Cemento 10%	Cal 10%	Puzolana 3%	Puzolana 5%	Polvo ladrillo 3%	Polvo ladrillo 5%
Pérdida de masa (%)	0.87	0.05	1.31	18.37	7.41	7.16
Profundidad (mm)	1.20	1.6	9.9	20.6	23.5	16.4

Figura 2: Resultados del ensayo de resistencia a erosión húmeda por pulverizado de agua a presión.

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos durante la investigación permiten afirmar que la incorporación en pequeñas cantidades de polvo de ladrillo y puzolanas naturales en combinación con cal aérea hidratada en la fabricación de BTC, en comparación con las muestras estabilizados únicamente con cal aérea hidratada poseen un efecto negativo en las propiedades físicas y mecánicas de estos bloques.

Es significativa además la diferencia que existe entre las resistencias a compresión (seca y saturada) de las probetas estabilizadas con cal y las estabilizadas con cemento, alcanzando estas últimas valores superiores a los 5 MPa, lo cual ratifica la utilización de BTC estabilizados con cemento en la construcción de muros de portantes. Se advierte además que la estabilización con cal generó una



disminución en la resistencia a compresión de las probetas en comparación con la resistencia de las probetas de control. Sin embargo, la incorporación de cal como estabilizante mejoró significativamente la resistencia de las probetas ante los efectos perjudiciales del agua (erosión húmeda y absorción de agua por absorción y capilaridad), presentando incluso mejores resultados que el cemento portland. Esta situación permite pensar en la utilización de BTC estabilizados únicamente con cal para muros de cerramiento exteriores que, sin la necesidad de soportar cargas axiales, cuenten con una elevada resistencia a la erosión ocasionada por el intemperismo.

## REFERENCIAS

- ABNT. (2012). *NBR 8492: Tijolo de solo-cimento. Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água. Método de ensaio.*
- AENOR. (2008). *UNE 41410. Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo.*
- Aranda Jimenez, Y. G. (2010). Estabilizantes utilizados en la elaboración de BTC. In *Los bloques de tierra comprimida (BTC) en las zonas húmedas* (pp. 27–42). Plaza y Valdez S.A.  
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- ASTM. (2017). *ASTM D2487 - 17: Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System).*
- IRAM. (2019). *IRAM 50000: Cementos. Cementos para uso general. Composición y requisitos.*
- IS. (2013). *IS 1725:2013. Specification for soil based blocks used in general building construction.*
- Maddalena, R., Roberts, J. J., & Hamilton, A. (2018). Can Portland cement be replaced by low-carbon alternative materials? A study on the thermal properties and carbon emissions of innovative cements. *Journal of Cleaner Production*, 186, 933–942.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.138>
- Malkanathi, S. N., Balthazaar, N., & Perera, A. A. D. A. J. (2020). Lime stabilization for compressed stabilized earth blocks with reduced clay and silt. *Case Studies in Construction Materials*, 12.
- Miller, S. A., John, V. M., Pacca, S. A., & Horvath, A. (2018). Carbon dioxide reduction potential in the global cement industry by 2050. *Cement and Concrete Research*, 114, 115–124.  
<https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.08.026>
- National Lime Association. (2004). Lime-Treated Soil Construction Manual: Lime Stabilization & Lime Modification. In *National Lime Association* (Issue January).
- NZS. (1998). *NZS 4298:98. Materials and workmanship for earth buildings.*
- Ouedraogo, K. A. J., Aubert, J.-E., Tribout, C., & Escadeilas, G. (2020). Is stabilization of earth bricks using low cement or lime contents relevant? *Construction and Building Materials*, 236.

## **Simulación del equilibrio Líquido-Vapor de la mezcla NH<sub>3</sub>-CO<sub>2</sub>-NaCl-H<sub>2</sub>O.**

### **Simulation of the liquid-vapor equilibrium of the NH<sub>3</sub>-CO<sub>2</sub>-NaCl mixture.**

Martina A. Serra

Centro de Aplicaciones Informáticas y Modelado en Ingeniería (CAIMI), Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Rosario.

[martuserra72@gmail.com](mailto:martuserra72@gmail.com)

#### **Resumen**

En este trabajo se realizó la simulación del equilibrio líquido-vapor de la mezcla NH<sub>3</sub>-CO<sub>2</sub>-NaCl-H<sub>2</sub>O en Aspen Plus mediante el uso de un separador flash y el paquete termodinámico NRTL, a concentraciones de entrada constantes de NaCl y NH<sub>3</sub>, variando la concentración de CO<sub>2</sub> de forma paramétrica. Como resultado se obtuvo que la simulación ajusta correctamente con datos experimentales. Por lo tanto, se utilizó el simulador para estudiar el comportamiento del equilibrio para un caso típico de concentración salmuera de rechazo de una planta potabilizadora.

#### **Palabras claves**

Equilibrio líquido-vapor; captura de CO<sub>2</sub>; salmuera de rechazo.

#### **Abstract**

In this work, it was made the simulation of the liquid-vapor equilibrium of the NH<sub>3</sub>-CO<sub>2</sub>-NaCl-H<sub>2</sub>O mixture with Aspen Plus, using NRTL thermodynamic package and constant inlet concentrations of NaCl and NH<sub>3</sub>, changing the CO<sub>2</sub> concentration parametrically. As a result, the simulation provided values that fit properly to experimental data. Therefore, the simulator was used to study the equilibrium behavior for a typical case of reject brine concentration from a water treatment plant.

#### **Keywords**

Vapor-liquid equilibrium; CO<sub>2</sub> capture; reject brine.

#### **Introducción**

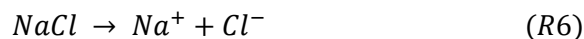
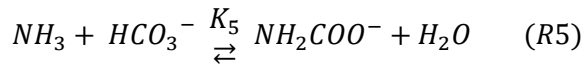
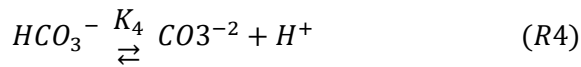
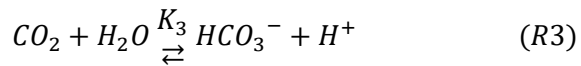
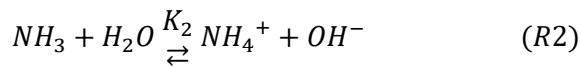
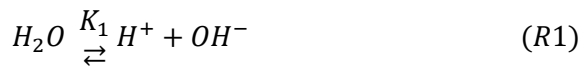
Las plantas de doble propósito para la generación de energía eléctrica y producción de agua potable han demostrado ser una opción ventajosa desde el punto de vista energético para las zonas costeras con bajo acceso a agua dulce (Rodríguez, 2015). Sin embargo, estas plantas generan residuos que pueden impactar de forma negativa en el ecosistema. El CO<sub>2</sub>, asociado a las reacciones de combustión en la planta de generación de energía, tiene una importante influencia en el cambio climático global por ser un gas de efecto invernadero. Por otro lado, la salmuera de rechazo producida durante la potabilización de agua de mar modifica la salinidad y temperatura del curso en la que se descarga, afectando la vida acuática. Para abordar esta problemática se empezaron a estudiar diferentes alternativas para el tratamiento de estos residuos. En este trabajo se evalúa la posibilidad de utilizar el proceso Solvay Tradicional para obtener NaHCO<sub>3</sub> a partir de los efluentes de una planta de doble propósito, donde el amoníaco actúa como catalizador para facilitar la reacción entre el dióxido de carbono y el cloruro de sodio. Si bien el objetivo final es el modelado

basado en programación matemática y la optimización del proceso, este trabajo centra su atención en el modelado y simulación del equilibrio líquido-vapor de la mezcla CO<sub>2</sub>-NH<sub>3</sub>-NaCl-H<sub>2</sub>O, como punto de partida. La solubilidad de CO<sub>2</sub> en el sistema planteado ha sido estudiado experimentalmente por algunos autores (Kurz et al., 1996; Jaworski et al., 2011), considerando diversas composiciones de solvente, temperaturas y cargas de CO<sub>2</sub>.

En este trabajo se busca verificar la representatividad del modelo NRTL implementado en Aspen Plus al comparar los valores de presiones parciales de CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> y H<sub>2</sub>O con las determinaciones experimentales reportadas por (Kurz et al., 1996). Finalmente, se analizan los resultados obtenidos por el simulador en las condiciones de las corrientes de salida de una planta doble propósito.

### Metodología.

Descripción del modelo de equilibrio líquido-vapor: desde el punto de vista del fenómeno, la absorción química de CO<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub> en soluciones acuosas de NaCl implica un sistema complejo de reacciones (R1 a R6) que se producen en la fase líquida en forma paralela y consecutiva, y en donde la distribución de concentraciones de las especies en las fases fluidas está fuertemente influenciada por las condiciones de operación (temperatura, composición inicial, presión). En la fase líquida el CO<sub>2</sub> y el NH<sub>3</sub> están presentes en forma molecular y como especies iónicas no volátiles (NH<sub>2</sub>COO<sup>-</sup>; CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>; HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>; NH<sub>4</sub><sup>+</sup>). Por otro lado, se asume que el NaCl se encuentra totalmente disociado.



Las Ec. 1 a 4 representan los balances de masa y cargas expresados en función de las concentraciones molares ( $m_i$ ) de las "i" especies en solución y las concentraciones iniciales de CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> y H<sub>2</sub>O ( $m_{CO_2}^0$ ;  $m_{NH_3}^0$ ;  $m_{NaCl}^0$ ).

$$m_{CO_2}^0 = m_{CO_2} + m_{NH_2COO^-} + m_{CO_3^{2-}} + m_{HCO_3^-} \quad (1)$$

$$m_{NH_3}^0 = m_{NH_3} + m_{NH_2COO^-} + m_{NH_4^+} \quad (2)$$

$$m_{NaCl}^0 = m_{Cl^-} + m_{Na^+} \quad (3)$$

$$m_{NH_2COO^-} + m_{CO_3^{2-}} + m_{HCO_3^-} + m_{OH^-} + m_{Cl^-} = m_{NH_4^+} + m_{Na^+} + m_{H^+} \quad (4)$$

Por otro lado, en las reacciones reversibles (R1 a R5) se establece un equilibrio químico gobernado por la constante de equilibrio ( $K_R$ ), la cual depende de la concentración de las especies en solución,

el coeficiente de actividad ( $\gamma_i$ ) y su coeficiente estequiométrico ( $\nu_i$ ), ya que la solución es altamente no ideal por la presencia de iones (Ec. 5).

$$K_R = \prod_i (m_i \gamma_i)^{\nu_i R} \quad (5)$$

Existen diferentes modelos para la estimación de los coeficientes de actividad (Debye –Hückel; Truesdell-Jones; Pitzer; UNIQUAC extendido; NRTL; MSE; etc.). Cada modelo requiere la estimación de parámetros y es sabido que mientras más riguroso es el modelo mayor es la cantidad de parámetros a estimar (Behroozi et al., 2021; Jaworski et al., 2011). Por otro lado, el rango de aplicación de cada modelo está relacionado con la fuerza iónica ( $I$ ) de la solución. La misma se estima mediante la Ec. 6 donde  $z_i$  es la carga del ión.

$$I = \sum_i z_i^2 m_i \quad (6)$$

Finalmente, la presión parcial de cada especie molecular ( $p_i$ ) es proporcional a su concentración en la solución, según se indica en la Ec. (7) donde  $H_i$  (constante de Henry) representa la solubilidad de la especie en la solución.

$$p_i = m_i \gamma_i H_i \quad (7)$$

En este trabajo se adopta el modelo NRTL y el paquete de electrolitos para simular mediante un separador flash el equilibrio líquido vapor en el software Aspen Plus. En una primera etapa se comparan los datos experimentales reportados por (Kurz et al., 1996) con los resultados de simulaciones en términos de presiones parciales para 7 casos. Cabe destacar aquí que los datos experimentales reportados corresponden a concentraciones iniciales elevadas de NaCl (~4 m) y que no son representativas de las salmueras de rechazo (~0.8 m). De esta manera, se adopta esta última y se asumen las mismas relaciones de concentración para las especies restantes que en el trabajo de (Kurz et al., 1996) con el objeto de analizar no solo los valores de las presiones parciales sino también la distribución de las especies en solución. Conocer estas concentraciones es fundamental para determinar las condiciones en las que pueden precipitar  $\text{NaHCO}_3$  y/o  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Si bien el equilibrio L-V-S no se considera en este estudio, será clave para avanzar con el modelado del proceso completo.

## Resultados y conclusiones.

### Comparación de la simulación en Aspen con resultados experimentales.

Inicialmente, al comparar los resultados arrojados por Aspen Plus con los resultados experimentales descritos en (Kurz et al., 1996) se busca corroborar de qué forma se ajusta la simulación a la experiencia real. Para esto se trabaja con un separador flash, utilizando el paquete NRTL, a una temperatura de 313 K, concentraciones iniciales de 4.078 mol/kg  $\text{H}_2\text{O}$  para el  $\text{NH}_3$  y 4.014 mol/kg  $\text{H}_2\text{O}$  para el NaCl y concentraciones  $\text{CO}_2$  entre 0.30 y 0.85 mol/kg  $\text{H}_2\text{O}$  (según lo indicado en el trabajo de referencia). En la Figura 1 se muestran las presiones parciales de  $\text{CO}_2$  y  $\text{NH}_3$  en función de la carga de  $\text{CO}_2$  (CR). Esta última es una variable característica en el proceso de absorción y se define como la relación entre la concentración inicial de  $\text{CO}_2$  y la de  $\text{NH}_3$ . Se puede observar que las tendencias presentadas por las curvas obtenidas con el simulador (líneas continuas) mantienen las tendencias presentadas en los resultados experimentales detallados por (Kurz et al., 1996). Por otro lado, en la Tabla 1 se comparan los errores relativos para un caso específico ( $m_{\text{CO}_2}^0 \approx 1.255 \frac{\text{mol}}{\text{kg H}_2\text{O}}$ ;  $m_{\text{NaCl}}^0 =$

$m_{NH_3}^0 \approx 4 \frac{mol}{kg H_2O}$ ) a dos temperaturas diferentes (313 K y 353 K), notando que para el caso analizado los errores relativos se incrementan con la temperatura.

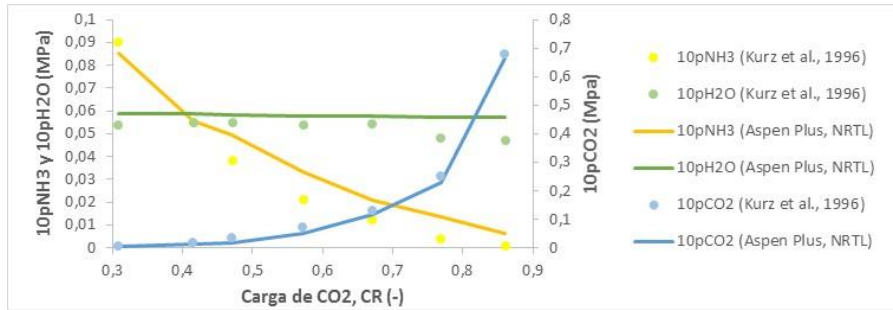


Figura 1. Comparación de datos experimentales vs. resultados de la simulación

	313 K			353 K		
	Kurzt et al., 1996	Aspen Plus	Error	Kurzt et al., 1996	Aspen Plus	Error
10pNH3 (MPa)	0,09	0,085	-6%	0,359	0,38	6%
10pCO2 (MPa)	0,004	0,004	0%	0,122	0,093	-24%
10pH2O (MPa)	0,054	0,059	9%	0,372	0,38	2%

Tabla 1. Comparación de presiones parciales a dos temperaturas.

En función de los resultados presentados hasta aquí, se puede concluir que las discrepancias entre los datos reales y los simulados están en un rango aceptable de error, sobre todo si se trabaja a 313 K. De esta manera, es factible definir un caso de estudio con concentraciones iniciales menores ya que el efecto iónico se vería disminuido minimizando los errores de la simulación.

### Simulación de una corriente con concentración de NaCl característica de salmueras de rechazo.

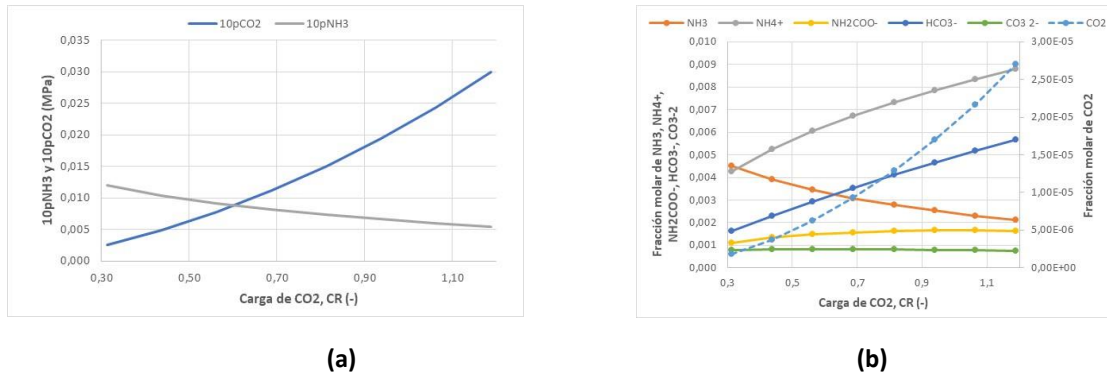
Una vez verificada la representatividad del modelo NRTL se procede a simular las condiciones típicas de salmuera de rechazo de plantas de desalinización por múltiple efecto (Rodríguez, 2015).

Como se mencionó en la metodología, con el objeto de trabajar con un sistema equivalente al reportado por (Kurzt et al., 1996), la concentración de NH<sub>3</sub> se asume igual a la de NaCl (0,8 m) mientras que la concentración de CO<sub>2</sub> se varía paramétricamente entre 0.25 y 0.85 m. En todos los casos se asume una fracción de vapor constante de 3%.

En las Figura 2 se presentan las presiones parciales y la distribución de las principales especies en equilibrio para diferentes cargas de CO<sub>2</sub>.

Como es de esperar, a medida que aumenta CR aumenta la presión parcial de CO<sub>2</sub> mientras que la presión parcial de NH<sub>3</sub> disminuye ya que la fracción de vapor se asume constante (Figura 2 (a)). La presión parcial de agua (no representada) permanece prácticamente constante (~ 0.071 MPa).

En la Figura 2 (b) se puede observar que el CO<sub>2</sub> se encuentra fundamentalmente en su forma iónica, principalmente como HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> y como NH<sub>2</sub>COO<sup>-</sup> mientras que el NH<sub>3</sub> está presente fundamentalmente como NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Por otro lado, y como es de esperar, se observa que las concentraciones de estos iones aumentan con CR.



**Figura 2. Resultados de la simulación de una corriente de salmuera de rechazo característica. (a) Presiones parciales de  $\text{NH}_3$  y  $\text{CO}_2$ . (b) Concentración molar de las especies en equilibrio en la fase líquida.**

Por último, la fuerza iónica en la solución se incrementa de 1.1 a 1.4 conforme aumenta CR. Estos valores sugieren que es posible aplicar el modelo de Truesdell-Jones para estimar los coeficientes de actividad. Este modelo, utilizado en la bibliografía para caracterizar soluciones salinas naturales con fuerzas iónicas menores a 2 m, es uno de los modelos más simples y requeriría un menor número de parámetros.

### Trabajos futuros.

A partir de los resultados obtenidos se prevé la implementación del modelo de equilibrio descrito en el software GAMS, basado en programación matemática, con el objeto de evaluar la validez del modelo de Truesdell-Jones para la estimación de las concentraciones de las especies en el equilibrio.

### Reconocimientos.

Este trabajo fue desarrollado en el marco de una beca para el desarrollo de tareas de investigación otorgada por la Secretaría de Asuntos Universitarios de la Facultad Regional Rosario, se agradece a las directoras Ana M. Arias y Patricia L. Mores por el acompañamiento en el desarrollo del mismo.

### Referencias.

- Behroozi, A. H., Saeidi, M., Ghaemi, A., Hemmati, A., & Akbarzad, N. (2021). Electrolyte solution of MDEA–PZ–TMS for  $\text{CO}_2$  absorption; response surface methodology and equilibrium modeling. *Environmental Technology & Innovation*, 23, 101619.
- Jaworski, Z., Czernuszewicz, M., & Gralla, Ł. (2011). A comparative study of thermodynamic electrolyte models applied to the Solvay soda system. *Chemical and Process Engineering*, 32(2), 135-154.
- Kurz, F., Rumpf, B., Sing, R., & Maurer, G. (1996). Vapor– liquid and vapor– liquid– solid equilibria in the system ammonia– carbon dioxide– sodium chloride– water at temperatures from 313 to 393 K and pressures up to 3 MPa. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 35(10), 3795-3802.
- Rodríguez, N. H., “Síntesis de Procesos Complejos Minimizando el Impacto Ambiental por Captura de  $\text{CO}_2$ . Aplicación a Procesos de Cogeneración de Vapor y Energía Eléctrica Acoplados a Sistemas de Desalación de Aguas de Mar por Evaporación Flash Múltiple Etapa (EFME)”, tesis doctoral, UTN FRC, Córdoba, 298, (2015).

## **Métodos probabilísticos para el estudio de vibraciones libres de entramados planos con parámetros inciertos.**

### **Probabilistic method for the study of free vibrations of plane frames with uncertain parameters.**

Nicolás Martín Gutbrod

Grupo de Diseño Mecánico, Universidad Tecnológica Nacional, FR Reconquista  
nmartin1433@comunidad.frrq.utn.edu.ar

Marcos Pereson Lugo

Grupo de Diseño Mecánico, Universidad Tecnológica Nacional, FR Reconquista  
mpereson1700@comunidad.frrq.utn.edu.ar

**Resumen:** En este artículo se estudia la propagación de incertidumbre en la respuesta vibratoria de entramados planos debida a la variación de parámetros materiales y geométricos. Se emplea un modelo estructural clásico para construir los reticulados. A los parámetros considerados inciertos se asocian variables aleatorias cuyas funciones de distribuciones de probabilidades se adoptan en base a cierta información a priori, o bien se deducen empleando el principio de máxima entropía. Se emplea el método Monte Carlo para calcular realizaciones independientes aceptando variabilidad en un conjunto de parámetros materiales y constructivos de los miembros del entramado. Los modelos determinístico y probabilístico se construyen a partir de la solución exacta de la dinámica de cada barra a través del método de series de potencias. Se presentan estudios numéricos para evidenciar la influencia de algunos parámetros en cuanto a la propagación de incertidumbre en los patrones de vibración libres en entramados planos típicos.

**Palabras Clave:** Incertidumbre paramétrica, entramados planos, series de potencia.

**Abstract:** This article studies the propagation of uncertainty in the vibratory response of plane frames due to the variation of material and geometric parameters. A classic beam model is employed to construct the frames. The uncertain parameters are associated to random variables whose probability distribution functions are adopted based on some known information, or they are deduced by means of the Maximum Entropy Principle. The Monte Carlo method is employed to perform independent realizations taking into account a set of uncertain material and geometric parameters of the frame members. The deterministic and probabilistic models are constructed from the exact solutions of the frame dynamics calculated with power-series. A set of numerical studies are presented in order to show the influence of some parameters in the uncertain propagation of the free-vibration patterns of planar frames.

**Keywords:** Parametric uncertainty, planar frames, power series.

## Introducción

Las ingenierías emplean desde hace varias décadas programas de cálculo que utilizan el método de la rigidez para resolver entramados de barras; este método divide el dominio en pequeños elementos y adopta incógnitas cinemáticas en cada una de las uniones nodales de dos o más barras. Al utilizar series de potencias, para resolver las ecuaciones diferenciales, se reduce considerablemente la cantidad de incógnitas, lo que hace más veloz el proceso de cálculo, pudiendo aplicar el método de Monte Carlo variando un conjunto específico de parámetros.

Si los parámetros de las ecuaciones que definen las vibraciones de los pórticos son perfectamente conocidos, lo que implica un problema determinístico, el cálculo y el análisis dinámico de los pórticos no revestiría mayor dificultad. Ahora bien, los componentes estructurales pueden tener variaciones aleatorias en sus dimensiones, en las propiedades elásticas y/o del material, entre otras; debidas a alteraciones en los procesos constructivos o bien de montaje de los pórticos. La variabilidad aleatoria en los parámetros de un modelo de pórticos puede alterar sustancialmente la respuesta dinámica de los pórticos, en consecuencia es necesario cuantificar la incertidumbre asociada a estos parámetros y como se propaga.

Una manera de encarar este problema es mediante el Enfoque Probabilístico Paramétrico (Soize C. 109(5):1979–1996, 2001) que consiste en asociar variables aleatorias a los parámetros inciertos del modelo, definir las funciones de distribución de probabilidades de tales variables a partir de la información certera disponible y simular una cantidad suficientemente grande de realizaciones y luego evaluarlas estadísticamente.

### Modelo Determinístico de Pórticos en el Plano

La metodología básica consiste en, conocidas las formas de los corrimientos axiales y flexionales, hallar la respuesta dinámica, mediante la resolución de las ecuaciones diferenciales gobernantes por una propuesta en series de potencias enteras.

### Modelo Estadístico para entramados planos

Entendiendo que existen parámetros de las barras de los entramados que son pasibles de tener una importante variabilidad aleatoria; se establecen algunas especificaciones para cuantificar los aspectos de incertidumbre de la respuesta del modelo matemático. Así pues, para este problema se seleccionan algunos parámetros a los cuales se les asigna una variable aleatoria. Las funciones de distribución de probabilidades de tales variables aleatorias se seleccionan en virtud de evidencia experimental clara o bien se deducen en función de algunas restricciones impuestas de valores estadísticos (p.e., estimado del valor medio y alguna norma de dispersión, etc.) y con ellas aplicar métodos variacionales de acuerdo con el Principio de Máxima Entropía.

Para construir el modelo estadístico se selecciona como variable aleatoria a los siguientes parámetros: (a) Módulo de elasticidad y densidad del material, (b) geometría seccional. Se emplearán dos alternativas basadas en las siguientes hipótesis:

- Caso A: Los parámetros son entidades físicas reales, con ello son positivas. Se acepta que varían entre un mínimo y un máximo estipulados a partir de una moda conocida y se conocen pocos datos de muestras estadísticas reales.
- Caso B: Como en el Caso A, son entidades físicas reales, se conocen los límites extremos y se acepta que el valor medio o expectativa coincide con la respuesta determinística.

En ambos casos las variables aleatorias se consideran estadísticamente independientes. En el Caso A, sin mediar aplicación de otro criterio de auxilio, se admite el uso de una distribución triangular. En tanto que para el Caso B, la aplicación del Principio de Máxima Entropía, entendida en el sentido informativo, conduce a una distribución uniforme, M.T. Piován et al. 95–106 (2015).



De esta manera, las funciones de distribución de probabilidad de las variables aleatorias tomarán la forma (1) para la distribución triangular simétrica y la forma (2) para la distribución uniforme.

$$p(V_i) = \begin{cases} S_{T[L_i, U_i]}(V_i) \frac{V_i - L_i (1 - CV_i \sqrt{6})}{6(L_i CV_i)^2}, \forall V_i \leq L_i \\ S_{T[L_i, U_i]}(V_i) \frac{U_i (1 + CV_i \sqrt{6}) - V_i}{6(L_i CV_i)^2}, \forall V_i > L_i \end{cases}, i = 1, \dots, 4 \quad (1)$$

$$p(V_i) = S_{U[L_i, U_i]}(V_i) \frac{1}{2\sqrt{3} L_i CV_i}, i = 1, \dots, 4 \quad (2)$$

Siendo  $S_{T[L_i, U_i]}$  y  $S_{U[L_i, U_i]}$ ,  $i=1, \dots, 4$ , las funciones de soporte de las distribuciones triangular y uniforme, respectivamente, mientras que  $L_i$  y  $U_i$ ,  $i=1, \dots, 4$  son los límites inferior y superior de la distribución de cada variable aleatoria;  $V_i$ ,  $i=1, \dots, 4$  el valor medio de las variables aleatorias asociadas a los parámetros inciertos, mientras que  $CV_i$ ,  $i=1, \dots, 4$  es el coeficiente de variación definido como la razón entre el desvío estándar y el valor medio de la variable aleatoria.

El procedimiento de cálculo asociado al modelo estocástico recurre al empleo del método Monte Carlo para la ejecución de la gran cantidad de realizaciones que luego serán evaluadas estadísticamente.

### Ejemplo

En la figura 1-a se muestra el pórtico de 6 barras doblemente empotrado, utilizado como caso base. Para el cálculo se han utilizado desarrollos en series de potencias de grado 35 para todas sus barras.

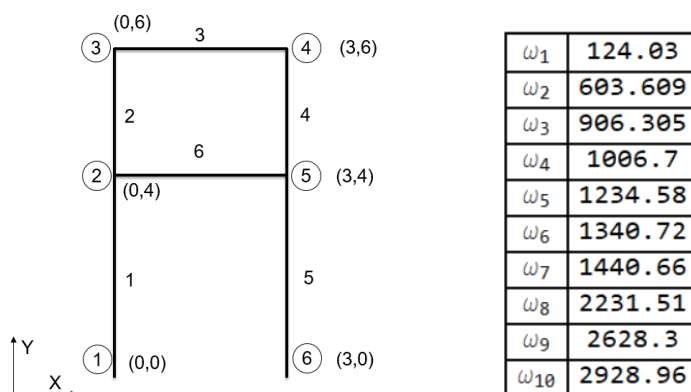


Figura 1: (a) Ejemplo de un pórtico, (b) primeras 10 frecuencias del pórtico de ejemplo.

Es posible elegir barras con diferentes características geométricas y físicas. Para simplificar la carga de datos se adoptan todas las barras iguales, de sección uniforme, con valor medio  $F = 0,12 \text{ m}^2$ , con módulo de elasticidad medio  $E = 2,1 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$ , las longitudes de las barras se toman en metros, el momento de inercia medio  $J = 0,0036 \text{ m}^4$  y peso específico medio  $\rho = 7850 \text{ Kg/m}^3$ . Se utilizó el programa Autodesk® Algor® Simulation solamente para verificar los valores de las frecuencias naturales halladas que figuran en la Figura 1-b; y el programa Wolfram® Mathematica se ha empleado para realizar todos los demás cálculos con los modelos estadísticos de distribuciones triangular y uniforme.

A continuación se efectúa una evaluación de la propagación de incertidumbre en la determinación de las frecuencias de vibración, tomando como referencia las correspondientes al modelo determinístico y cotejando la dispersión en términos del coeficiente de variación de

la respuesta  $CV(\omega)$  y el coeficiente de variación impuesto en las variables aleatorias  $CV(V_i)$ . Se han seleccionado como parámetros inciertos al módulo de elasticidad longitudinal de las barras, la densidad, el área seccional y el momento de inercia. A cada uno de ellos se le asigna una variable aleatoria y en consecuencia su correspondiente distribución. Se han realizado cálculos de las primeras 10 frecuencias variando cada uno de los 4 parámetros por separado para la distribución triangular y uniforme, obteniendo en cada modelo 1000 valores. Luego se variaron los parámetros agrupándolos en pares. Dada la gran cantidad de resultados y el límite de este trabajo solo presentan algunas de las graficas.

En la Figura 2 se muestra una comparación de las respuestas obtenidas con dos clases de distribución para dos modos de vibración particulares. En cada caso se considera solo uno de los parámetros como incierto, mientras que los restantes se consideran determinísticos y constantes. Nótese que en la medida que va aumentando el coeficiente de variación impuesto en las variables aleatorias de entrada, el coeficiente de variación de la respuesta (es decir de la frecuencia natural) también va aumentando. En la figura también se incorpora la forma modal de la 1ª y la 7ª frecuencia.

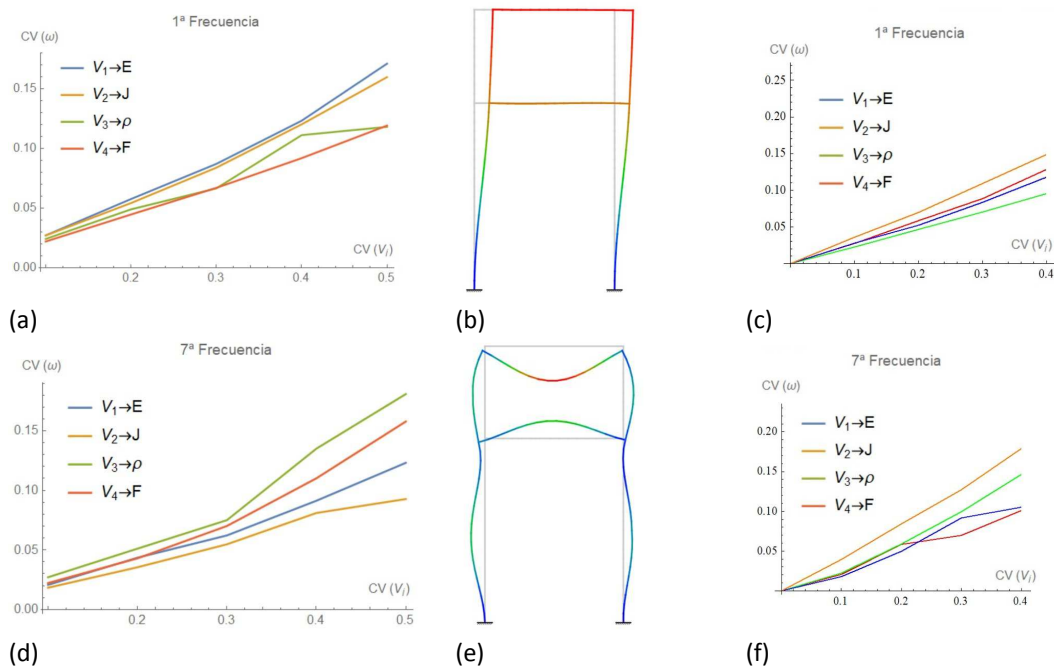


Figura 2: Efecto de cada componente en forma independiente en la 1ª y 7ª frecuencias. (a) y (d) con distribución uniforme, (c) y (f) con distribución triangular, (b) y (e) los respectivos modos.

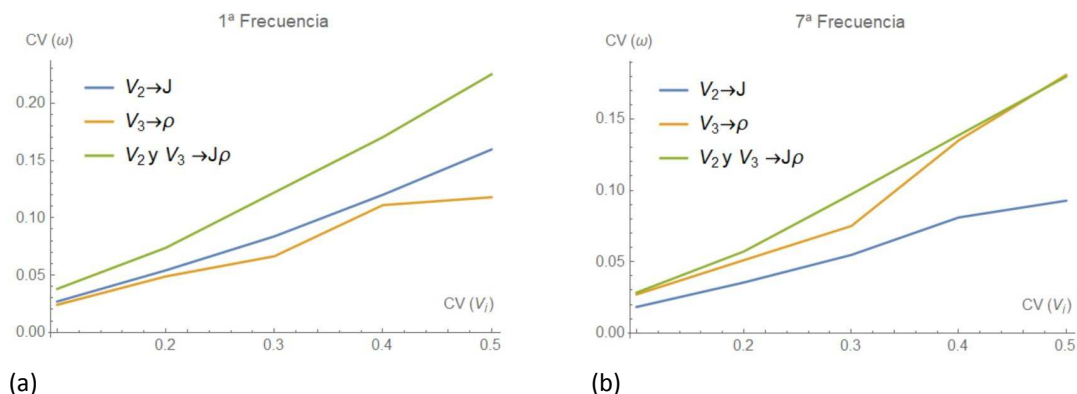


Figura 3: Efectos de la variación de la densidad y el momento de inercia por separado y combinados en una distribución uniforme. (a) Para el primer modo (b) Para el séptimo modo.

En la Figura 3 se muestra una comparación de los efectos de la propagación de incertidumbre de un par de parámetros en forma independiente y combinada, en este caso solo para la distribución uniforme. Nótese como la incertidumbre en dos parámetros combinados es netamente mayor que la de cada uno en forma independiente en el caso del primer modo, mientras que en el caso del séptimo modo no es tan marcado. Esto se debe a que la forma del modo en el caso del pórtico influye (magnificando o conteniendo) en la propagación de incertidumbre.

### Conclusiones

Se efectuó un estudio de propagación de incertidumbre de parámetros de estructuras de pórticos recurriendo al Enfoque Probabilístico Paramétrico y al método de series de potencias para resolver las ecuaciones que rigen el problema de autovalores dinámicos de tales estructuras. Se han seleccionado 4 parámetros distintivos de las barras y se ha evaluado su influencia en la propagación de incertidumbre en forma independiente y combinada en el cálculo de las frecuencias naturales, a través de la relación entre coeficientes de variación de las variables aleatorias y de los homónimos de las distribuciones estadísticas de las frecuencias naturales.

En los gráficos que aquí se presentan se observa que la incertidumbre de los parámetros materiales ( $E$  y  $\rho$ ) tienen mayor influencia que los parámetros geométricos ( $F$  y  $J$ ) en la propagación de incertidumbre de la respuesta de los autovalores, al menos en forma independiente de cada parámetro. A su vez la combinación de incertidumbre de varios parámetros magnifica sustancialmente o no la propagación de incertidumbre, dependiendo del tipo de modo. Comparando otros de los tantos gráficos omitidos, por falta de espacio; se arriba a conclusiones similares. Si bien este es un estudio preliminar para evidenciar algunos aspectos de incertidumbre en la dinámica de pórticos y/o entramados, a futuro se pretende ampliar este enfoque incorporando mayores detalles en las variables aleatorias y en la detección de frecuencias y modos que sean más sensibles a la presencia de parámetros inciertos. A futuro se pretende analizar también las inestabilidades de los pórticos.

### Referencias

- Piován, M., & Sampaio, R. (2015). Parametric and non-parametric probabilistic approaches in the mechanics of thin-walled composite curved beams. *Thin-Walled Structures* 90, 95-106.
- Soize, C. (2001, Junio 9). Maximum entropy approach for modeling random uncertainties in transient elastodynamics. *The Journal of the Acoustical Society of America* 109(5), 1979-1996.

## **Mejoras del proceso e instalación de un laboratorio de ensayos para la empresa GS Block**

### **Process improvements and installation of a test laboratory for the company GS Block**

**Cristian Benvenuto <sup>(1)</sup> ; Gonzalo Darras <sup>(2)</sup>**

Grupo de Investigación y Desarrollo en Técnicas de Construcción con Tierra. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe. [crisbenvenuto@hotmail.com](mailto:crisbenvenuto@hotmail.com)

Grupo de Investigación y Desarrollo en Técnicas de Construcción con Tierra. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe. [gonzalo.darras@gmail.com](mailto:gonzalo.darras@gmail.com)

#### **Resumen**

Este trabajo tiene por objeto desarrollar un laboratorio de ensayos y propuestas de mejoras para el proceso de producción de Bloques de Tierra Comprimida (BTC) de la empresa GS Block, el cual permita alcanzar objetivos de mejora continua y cumplir con los requisitos y especificaciones de clientes, proveedores y demás grupos de interés. Actualmente la Organización no lleva registro de cuantificación de calidad y es por eso que se realizó un análisis de la situación actual que permita diagnosticar a la empresa, buscando herramientas de calidad que puedan aplicarse para la solución de problemas y la mejora en los procesos y producto. En una segunda instancia, se llevó a cabo la implementación de mejoras en el proceso de fabricación y la propuesta de instalación de un laboratorio de ensayos in situ para realizar pruebas físicas y mecánicas. Además, el trabajo busca ser un punto de partida para una futura certificación de metodología de producción.

#### **Palabras Clave:**

*BTC, calidad, procesos, laboratorio.*

#### **Abstract**

The main objective of this report is to develop a Quality Management System for the production process of Compressed Earth Blocks (CEB) of the company GS Block, which allows to achieve continuous improvement aims and meet the requirements and specifications of customers, suppliers and other stakeholders. Currently, the Organization does not keep a record of quality quantification and that is why an analysis of the current situation was carried out to diagnose the company, looking for quality tools that can be applied to solve problems and improve processes and products. In a second instance, the implementation of improvements in the manufacturing process and the proposal to install an on-site testing laboratory to perform physical and mechanical tests was carried out. In addition, the work seeks to be a starting point for a future certification of production methodology.

#### **Keywords**

*CEB, quality, process, laboratory.*

#### **Introducción**

El presente trabajo se llevó a cabo en la empresa GS Block S.R.L. en el marco del convenio firmado con el Grupo Spaggiari S.R.L. y el Grupo de Investigación y Desarrollo en Técnicas de Construcción con Tierra (TIERRA FIRME) de la UTN FRSF. La organización fabrica Bloques de Tierra Comprimida (BTC) para abastecer la demanda de mampuestos destinados a proyectos propios llevados a cabo por la desarrolladora inmobiliaria del Grupo Spaggiari, y en menor

medida a la venta de bloques al público. Se encuentra ubicada en la ciudad de Egusquiza, Santa Fe.

Debido a que la Organización fabrica un producto innovador, éste todavía se encuentra en fase de crecimiento y requiere superar ciertas barreras de mercado, especialmente la competencia de los ladrillos convencionales, y para esto es necesario obtener un bloque que cumpla ciertos estándares de calidad. A partir del trabajo conjunto entre la organización y el Grupo de Investigación se pudo detectar el interés de los directivos de trabajar en la mejora continua e implementar sistemas de control de calidad que permitan estandarizar y mejorar sus procesos y productos. Además, el diseño de este sistema de gestión de calidad busca ser un punto de partida para la futura certificación de procesos según la Norma ISO 9001:2015.

## **Desarrollo**

Luego de relevar la planta y utilizar herramientas de análisis (entrevistas al personal, toma de datos, Layout; entre otros) se generaron diagramas de flujo de proceso que representan cada una de las etapas del proceso de producción de bloques, permitiendo de esta forma estudiar e identificar puntos de mejoras.

A partir de la información recolectada y procesada, se prosiguió con la interpretación de las necesidades y puntos de análisis a considerar, algunos de ellos mencionados por el personal y otros, identificados a partir de la visualización y análisis del proceso. En la etapa de análisis, se implementaron herramientas de calidad que buscan cuantificar la magnitud de ciertas situaciones encontradas.

A continuación, se describen las acciones propuestas a la organización en busca de implementar mejoras en el proceso productivo, las cuales se basan en el diagnóstico organizacional previamente elaborado. Estas mejoras se clasifican en 3 tipos:

- *Sugerencias y procedimientos:* Se lograron identificar ciertos puntos en diferentes etapas del proceso que pueden ser optimizadas. Desde el punto de vista de la calidad se trata de la prevención y control de los materiales a utilizar; condiciones de estos; metodologías de procesamiento; tiempos; etc. La implementación de estas sugerencias permitirá prevenir o detectar de manera temprana fallas y promover la estandarización del proceso y el producto.
- *Mejora continua del proceso de producción y el producto final:* Consiste en la propuesta de implementación de ensayos mecánicos y procedimientos que permitan optimizar de manera continua las características tanto de la materia prima como del producto final. Para ello, se propone la realización periódica de ensayos de laboratorio a fin de lograr un salto de calidad en el bloque, cumpliendo los requerimientos del cliente y los demás grupos de interés.
- *Fallas en el proceso:* Se detectaron dos problemas de calidad en el proceso de manufactura del bloque.

Respecto al último punto, se implementaron hojas de inspección como herramientas que permitan medir la magnitud de estos problemas, de manera que, de verificarse estas fallas, se realizará un análisis de las posibles causas y soluciones que permitan minimizarlos o evitarlos.

A continuación, se enumeran las principales propuestas de mejora de proceso y cambios en los procedimientos de trabajo, en pos de lograr los objetivos mencionados, considerando la instalación del laboratorio de ensayos propio dentro de la organización.

### **Modificación del proceso de producción: cambios de orden de actividades en la etapa de Tamizado.**

Actualmente se realiza un Tamizado de la tierra proveniente del acopio, y lo que se descarta pasa por la Molienda para luego ser Tamizado por segunda vez. Esta sugerencia consiste en eliminar una actividad de tamizado con la finalidad de reducir la variabilidad en la composición

de las partidas de tierra (la tierra proveniente del 2° Tamizado contiene mayor cantidad de arcilla que la proveniente del 1° Tamizado).

Esta propuesta garantiza una metodología de trabajo estandarizada, operando siempre con el mismo tipo de materia prima (composición de la tierra uniforme) y a su vez, optimizar la etapa suprimiendo una actividad de tamizado (considerado retrabajo), lo cual influye directamente en la calidad final del BTC, en la eficiencia del proceso y en el trabajo de los operarios. En síntesis, se propone moler toda la tierra, luego pasarla por la zaranda y almacenarla nuevamente, de manera de que toda la tierra que se utilizará en el proceso sea molida y tamizada previamente.

### Mejoras en el almacenamiento de materia prima

Actualmente la tierra y la arena gruesa sin procesar se encuentran almacenadas al aire libre, estas condiciones de almacenamiento pueden generar inconvenientes a la producción los días afectados por las condiciones climáticas adversas.

Los beneficios que genera el resguardo de la materia prima bajo un techo o dentro de un silo son los siguientes:

- Nivel óptimo de humedad para ingresar al proceso productivo: la materia prima debe estar lo más seca posible tanto para lograr un mejor tamizado y/o molido, como así también para optimizar el mezclado con los aglomerantes.
- Mejor organización para el proceso de tamizado: si se establece un espacio permanente para esta actividad, sería posible planificar y realizar esta tarea eficientemente.
- Mayor productividad: relacionado al ítem anterior y al ahorro de tiempo en tareas de tapado y movimiento, se lograría obtener más tiempo para dedicar a otras actividades del proceso.
- La vida útil de la malla metálica utilizada en el proceso de tamizado aumentaría debido a que no se deterioraría por oxidación o por alto grado de manipulación (el deterioro ocurre cuando el nivel de humedad es tal que los granos de tierra no pasan por la malla)
- Menor desgaste del personal: se torna tedioso el hecho de depender constantemente de las condiciones de clima para cubrir el material, realizar movimientos y en ciertas oportunidades tamizar o moler material húmedo.

### Implementación de ensayos de laboratorio.

Se desarrolló un Manual de Procedimientos para la realización periódica de ensayos de laboratorio a los BTC producidos.

Ensayos sobre materia prima	Análisis Granulométrico	Determinación del contenido de humedad Tierra	Determinación del material fino que pasa el tamiz IRAM #200 por lavado	Determinación del límite líquido (LL), límite plástico (LP) e índice de plasticidad (IP) de una muestra de suelo			
Ensayos sobre la mezcla	Humedad óptima para mezclas de BTC						
Ensayos sobre producto final	Resistencia a compresión	Resistencia a compresión saturada	Resistencia a erosión húmeda por pulverizado de agua a presión	Resistencia a la abrasión	Ciclos de humedecimiento y secado	Resistencia a tracción por flexión - módulo de rotura	Ensayo de caída de un ladrillo completo

**Tabla 1: Ensayos a realizar en el nuevo laboratorio**

### **Optimización del uso de los aglomerantes y su resguardo intermedio.**

Se propone optimizar el almacenamiento (inicial e intermedio) de cal y cemento, y evaluar de manera periódica de la calidad de la cal y el agua empleadas. Esto acarrearía los siguientes beneficios:

- Evitar usar cal envejecida que haya perdido sus propiedades y afecte la calidad de bloque una vez curado.
- Evitar la presencia de grumos de cal dentro de la masa del bloque, mejorando su calidad y aspecto visual
- Optimizar el proceso de mezclado incorporando la cal con la menor cantidad de humedad posible.

### **Mejora en la etapa de Tamizado**

En el proceso de tamizado se recomienda el cambio de la malla utilizada (2 mm) por una de menor tamaño (idealmente 0,4 mm). Esto se debe a que, disminuyendo el tamaño de la malla metálica se reduce la cantidad y el tamaño de grumos que pasan por ella, y, en consecuencia, se obtiene una mejor granulometría de la tierra que se utiliza. Vale destacar que dicha propuesta aumentará también los tiempos de procesamiento.

### **Optimización de la etapa de mezclado.**

Se propone realizar las siguientes actividades en dicha etapa:

- Verificación de niveles de humedad en los materiales para el mezclado
- Los bloques que ya fueron sometidos a curado con suministro de riego y se rompen por inconvenientes de manipulación, no deben ser procesados e incorporados en el mezclado.
- Control de los tiempos de mezclado.
- Respetar el orden correcto de incorporación de materiales.

Beneficios:

- Óptima homogeneidad de la mezcla
- Evitar formación de grumos

### **Mejoras en la etapa de curado**

Se deben optimizar y estandarizar los períodos de riego manual durante la jornada diaria (cuando el sistema de riego automático no se encuentra activado), debiendo realizarse cada 1 hs. Una vez finalizada la jornada laboral, encender el sistema de riego automático que suministra agua en forma de lluvia durante 20 min, con una pausa de 40 min, en forma de ciclo.

Beneficios:

- Evitar que se generen heterogeneidades en el tiempo de curado de los bloques.
- Optimizar los tiempos de curado.

### **Identificación y protección adecuada de los pallets en Almacenamiento Final.**

Se debe procurar que la identificación de los pallets en el almacenamiento final se realice en todos los casos, favoreciendo el uso de las planillas de control implementadas. A partir de los ensayos de materia prima planteados, se propone lograr una adecuada trazabilidad que permita identificar con qué partidas fueron producidos los diferentes bloques almacenados.

Beneficios:

- Optimizar el control de los pallets almacenados en el exterior.
- Favorecer la identificación de causas en fallas que pueden surgir, promoviendo la mejora continua.

### **Evaluación y optimización de la dosificación utilizada**

La dosificación de los materiales influye de manera directa tanto en el costo del producto como en su calidad final. Se deberán confeccionar diferentes series de prueba modificando las cantidades de materia prima y, mediante la realización de ensayos físicos y mecánicos se podrá cuantificar el efecto de las nuevas dosificaciones en las propiedades finales de los bloques.

### **Evaluación de la disposición de los bloques en la cámara de curado**

El curado debe ser un proceso controlado que garantice que las propiedades finales de todos los bloques sean homogéneas. Además, el tiempo de permanencia del producto en la cámara afecta la capacidad y costos de producción.

De manera similar a lo propuesto con las dosificaciones, se sugiere realizar ensayos que permitan cuantificar los efectos del tiempo de curado en las características del bloque en pos de optimizar dicha etapa.

### **Conclusión**

Este trabajo resulto fundamental para la organización en vistas a la formalización y la mejora del proceso productivo de los BTC, sirviendo como base para posteriores estudios enfocados en la optimización y estandarización de procesos. Además, se dio un gran paso hacia la futura certificación de procesos según la Norma ISO 9001:2015, la cual pretende alcanzar la organización a través de un enfoque basado en procesos y no conformidades. El proceso de certificación debe ser progresivo y requiere un alto compromiso por parte de la alta dirección para poder ser transmitido desde allí hacia toda la organización. Como segunda etapa del trabajo realizado, se formaron nuevos vínculos con la empresa (firma de un nuevo convenio) para continuar avanzando en el logro de los objetivos.

### **Referencias**

BESTERFIELD, Dale H. (1995) Control de Calidad. México: Prentice Hall.

DEMING, Edwards W. (1989). Calidad, Productividad y Competitividad. La salida de la crisis. Madrid: Díaz de Santos.

GALGANO, Alberto (1995). Los Siete instrumentos de la calidad total: manual operativo Madrid: Díaz de Santos.

Norma Internacional ISO 9000:2015.

TOMPKINS, James; WILEY, John & Sons (2003). Planeación de Instalaciones.

### **Reconocimientos**

Agradecemos al Grupo de Investigación y Desarrollo en Técnicas de Construcción con Tierra "TIERRA FIRME" de la UTN FRSF y a todo el capital humano de la empresa GS BLOCK por su excelente predisposición para colaborar en las actividades desarrolladas.



## TRATAMIENTO TERCIARIO DE EFLUENTES DE UN PREDIO LECHERO APLICANDO HUMEDALES CONSTRUIDOS

## CONSTRUCTED WETLANDS FOR TERTIARY TREATMENT OF DAIRY WASTEWATER

Autor: Lorenzo Boschetto

Institución: Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Rafaela

E-mail de contacto: [boschettololo@gmail.com](mailto:boschettololo@gmail.com)

Autor: Sabrina Monay

Institución: Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Rafaela

E-mail de contacto: [sabrinamon00@gmail.com](mailto:sabrinamon00@gmail.com)

Autor: Alejo Pagaburu

Institución: Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Rafaela

E-mail de contacto: [alejopagaburu@gmail.com](mailto:alejopagaburu@gmail.com)

### Resumen:

La ciudad de Rafaela se encuentra rodeada por numerosos predios lecheros, estos generan un gran volumen de efluentes. Para dar respuesta a este problema, se propone la aplicación de humedales construidos (HCs), que constituyen una alternativa natural a los sistemas de tratamiento convencionales. Previamente, se realizaron ensayos a escala laboratorio empleando un invernadero donde se dispusieron microcosmos simulando HCs. Se utilizaron efluentes reales, se determinó la combinación sustrato-macrófitas más eficiente para la remoción de contaminantes. En 2019, se construyó un HC a escala piloto en el mismo predio lechero, en 2021, se diseñó y construyó un segundo HC en serie. En ambos se plantó la totora (*Typha domingensis*) y, como sustrato, se utilizaron canto rodado y leca plástica. El objetivo del trabajo es hacer una reseña sobre la aplicación de HCs para el tratamiento de efluentes de tambo, presentando el grado de avance del grupo de investigación en la temática.

**Palabras claves:** humedal, *T. domingensis*, efluente, predio lechero.

### Abstract:

Around the city of Rafaela there are many dairy farms. These facilities generate a high volume of effluents which is an environmental concern. In response to this, constructed wetlands (CW's) are proposed as a natural alternative to conventional treatment systems. Laboratory scale experiments were conducted previously. Microcosms simulating CW were arranged in a greenhouse. Real effluents were used and optimal "macrophyte-substrate" combination for contaminants removal was determined. A pilot scale CW was built in 2019 and subsequently, in 2021, a second CW was designed and built in series with pilot CW. Both wetlands were planted with Totora (*Typha*

domingensis). River gravel and plastic leca (Arqlite) were used. The aim of this work is to present a brief review of CWs application for dairy farm effluents treatment and to submit the research group progress level in this subject.

**Keywords:** wetland, *T. domingensis*, effluent, dairy farm

---

## Introducción

La ciudad de Rafaela se localiza en una de las cuencas lecheras más importantes del país, contando con la presencia de una numerosa cantidad tanto de predios lecheros como de industrias lácteas. El sector primario requiere una gran cantidad de agua para su funcionamiento y genera elevados volúmenes de efluentes de diversa composición, donde el tratamiento de los mismos es fundamental para la protección del medio ambiente. A pesar de la existencia de diferentes métodos de tratamiento, los mismos no siempre son implementados o muchas veces no se logran los límites de volcamiento establecidos por la normativa vigente.

Asimismo, actualmente se introduce el concepto de economía circular, en la cual, ciertos recursos que normalmente serían considerados desechos, pueden ser utilizados como insumos para la obtención de productos o servicios con valor agregado. Para dar respuesta al problema de los efluentes generados en los predios lecheros, y relacionándolo con el concepto de economía circular, se propone la aplicación de un humedal construido (HC) como tratamiento terciario con el fin de remover contaminantes típicos de estos efluentes (tales como fósforo, sólidos suspendidos, nitrógeno, materia orgánica y microorganismos), de modo que el agua obtenida se pueda reutilizar en el mismo predio para operaciones de limpieza.

Los HCs, se caracterizan por su simplicidad de operación, bajo - nulo consumo energético, baja producción de residuos, bajo impacto ambiental sonoro y buena integración al medio ambiente (Wu et al., 2015). En los mismos, los contaminantes y la materia orgánica son eliminados del agua residual por diferentes mecanismos: adsorción, absorción por las plantas y degradación por parte de las bacterias que crecen en la superficie de las partículas de sustrato y en las raíces de las plantas.

Los HCs pueden clasificarse de acuerdo al régimen de flujo en humedales de flujo superficial o de agua libre (HFS) y de flujo subsuperficial (HFSS). Estos últimos, a su vez, se dividen en flujo horizontal (HFSSH) y flujo vertical (HFSSV), de acuerdo a cómo el agua los atraviesa (Kadlec y Wallace, 2009). Estos sistemas poseen un sustrato, por donde escurre el efluente a tratar y donde se encuentran las raíces de los vegetales. En estos sistemas el agua residual fluye lentamente a través del medio poroso por debajo de la superficie del lecho en una trayectoria horizontal hasta llegar a la zona de salida.

## Experiencias previas

En experiencias previas realizadas a escala laboratorio y piloto se estudió el empleo de HFSSH's para tratamiento de efluentes de tambo (Schierano et al., 2017, 2018) con muy buenos resultados. En el caso del laboratorio, se dispusieron microcosmos en un invernadero y se trabajó con LECA (arcilla expandida) como sustrato y totora (*Typha domingensis*) como macrófita. La misma es una especie autóctona de amplia distribución en el litoral santafesino cuya eficiencia en la remoción de contaminantes ha sido verificada previamente (Vymazal, 2011). Se midieron concentraciones de contaminantes antes y después del tratamiento de un efluente real de tambo con tratamiento previo (lagunas de estabilización), luego de un tiempo de residencia de 7 días. Las eficiencias medias de remoción obtenidas fueron 78,3% para demanda química de oxígeno (DQO), 95,6% para sólidos suspendidos totales (SST), 95,9% para amonio, 17,1% para nitratos y 77,7% para fósforo total (PT). Además, las bacterias coliformes totales y fecales disminuyeron siete y ocho órdenes de magnitud, respectivamente. Luego de obtener estos resultados favorables se construyó un humedal a escala piloto de 2 m de ancho, 6 m de largo y 0,7 m de profundidad, junto a las lagunas de estabilización del tambo en estudio. Se sembró el HC con *T. domingensis* y se utilizó canto rodado como sustrato,

debido a que en ese momento, la LECA no estaba disponible a un costo conveniente. Se recolectaron y analizaron 20 muestras semanalmente y se obtuvieron las siguientes eficiencias de remoción: 48,0% para DQO, 71,5% para SST, 41,2% para amonio, 35,8% para nitratos y 27,6% para PT. Uno de los inconvenientes observados en verano, fueron las altas tasas de evapotranspiración obtenidas, lo que representó un problema en términos de volumen disponible de efluentes para su posterior reutilización. El objetivo del trabajo es hacer una breve reseña sobre la aplicación de HCs para el tratamiento de efluentes de tambo, presentando el grado de avance del grupo de investigación en la temática.

### Metodología

El tambo en estudio, cuenta actualmente con dos lagunas de estabilización, siendo la primera anaeróbica y la segunda facultativa. Como ya se mencionó, se ha construido un wetland piloto adyacente a este sistema de tratamiento y en el año 2020 se proyectó la ampliación del mismo. Teniendo en cuenta los caudales y el tiempo de retención hidráulico (7 días), se diseñó un humedal de 4 m de ancho, 6 m de largo y 0,7 m de profundidad, conectado a un canal de 1 m de ancho, 16 de largo y 0,7 de profundidad (Figura 1). Luego del canal se proyectó un depósito de 2,7 m de ancho, 2,9 m de largo y 2 m de profundidad, donde ingresará el efluente tratado y desde donde, por medio de una bomba, se recirculará hacia las instalaciones lecheras.

Tanto el HC como el canal y el depósito fueron recubiertos con membrana impermeabilizante, de manera de evitar percolación del efluente a través del suelo y en consecuencia contaminación de aguas subterráneas. Una vez finalizada la construcción del sistema se lo llenó con 0,5 m de canto rodado y 0,1 m de Leca Plástica (Arqlite). Este último, es un material obtenido íntegramente del reciclado de residuos plásticos. En comparación a los sustratos tradicionales, presenta la ventaja de poseer menor peso, costo y niveles de evapotranspiración. Así mismo, contribuye con la economía circular utilizando el residuo de materiales plásticos.

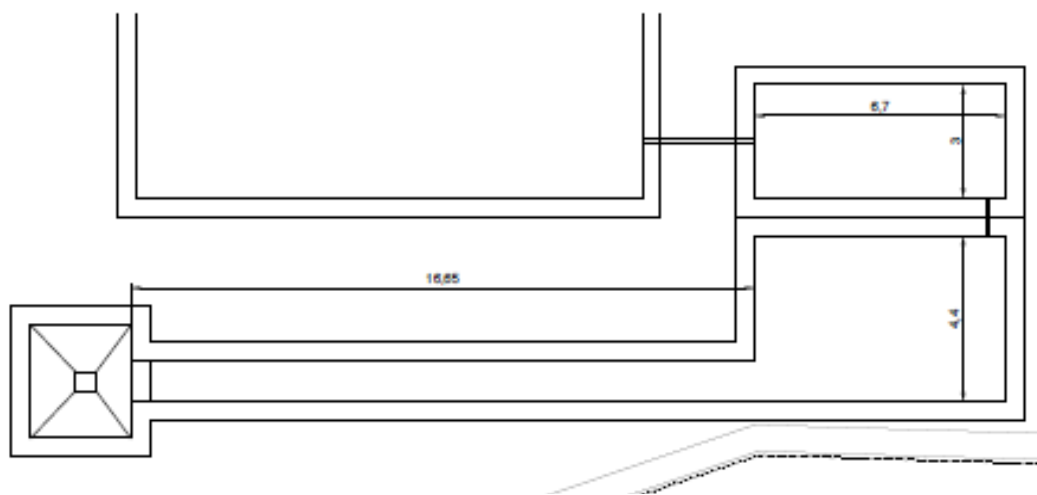


Figura 1. Plano Humedal Construido



Figura 2. Macrófitas en adaptación en el HC

### Recolección y aclimatización de macrófitas

Una vez construido y armado el humedal, se recolectaron de un canal natural ejemplares de la macrófita *Typha domingensis*. Las mismas se plantaron en el humedal, disponiendo aproximadamente una macrófita por m<sup>2</sup> de superficie. En una primera etapa se realizó la aclimatización de las mismas a las condiciones actuales, regándolas con agua de pozo, y seguidamente se regaron con el efluente proveniente de la laguna facultativa.

### Monitoreo del sistema

En cuanto al período de monitoreo, toma de muestras y análisis de diferentes parámetros (pH, DQO, DBO, sólidos suspendidos, nitrato, nitrito, amonio, Nitrógeno Total kjeldahl, fósforo total) se prevé comenzar en Septiembre-Octubre del 2021. Se estudiará la eficiencia de tratamiento del HC teniendo en cuenta la posibilidad de reutilización del agua residual tratada, analizando la calidad del efluente a la entrada y salida del sistema propuesto.

### Consideraciones finales

Debido al aislamiento obligatorio como consecuencia de la pandemia por Covid 19, recientemente se reactivaron las tareas de investigación por lo que aún no se disponen de resultados. La aplicación de HC's tiene un gran potencial para brindar una solución atractiva y económica para las necesidades y condiciones en la que se encuentran la mayoría de los tambos de la región. La mejora en la calidad del efluente final de estas instalaciones, implicaría no sólo la protección de los recursos hídricos sino también la reducción del consumo de agua pensando en el potencial reúso de la misma, apuntando al concepto de economía circular.

### Bibliografía:

Gutierrez, G. Lopez, A., Vianco, G., Walter G. (2018). Tratamiento terciario de efluentes de una industria láctea aplicando wetlands construidos. Universidad Tecnológica Nacional. Rafaela. Santa Fe. Argentina, 1,2-4.

- Vymazal, J. (2011). Plants used in constructed wetlands with horizontal subsurface flow: a review. *Hydrobiologia*, 674(1), 133-156.
- Wu, S., Carvalho, P. N., Müller, J. A., Manoj, V. R., & Dong, R. (2016). Sanitation in constructed wetlands: a review on the removal of human pathogens and fecal indicators. *Science of the Total Environment*, 541, 8-22
- Di Luca, G.A., Maine, M.A., Mufarrege, M.M., Hadad, H.R., Bonetto, C.A. (2015). Influence of *Typha domingensis* in the removal on high P concentrations from water. *Chemosphere*, 138, 405–411.
- Schierano, M. C., Panigatti, M. C., & Maine, M. A. (2018). Horizontal subsurface flow constructed wetlands for tertiary treatment of dairy wastewater. *International journal of phytoremediation*, 20(9), 895-900. Publicado online: 06 de Junio de 2018.
- Schierano, M. C., Maine, M. A., & Panigatti, M. C. (2017). Dairy farm wastewater treatment using horizontal subsurface flow wetlands with *Typha domingensis* and different substrates. *Environmental technology*, 38(2), 192-198.
- Kadlec, R. H., Wallace, S. D. (2009). *Treatment Wetlands*, 2<sup>nd</sup>edn. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Wu, H., Zhang, J., Ngo, H. H., Guo, W., Hu, Z., Liang, S. & Liu, H. (2015). A review on the sustainability of constructed wetlands for wastewater treatment: design and operation. *Bioresource technology*, 175, 594-601.

## **“Evaluación de la incidencia de la longitud de la varilla del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) en el funcionamiento del equipo y las correlaciones asociadas al ensayo”**

### **“Evaluation of the impact of Dynamic Cone Penetrometer (DCP) rod length on equipment performance and associated test correlations”**

**María Emilia Ferreras** – Centro de Investigación y Desarrollo para la Construcción y la Vivienda – [meferreras@frsf.utn.edu.ar](mailto:meferreras@frsf.utn.edu.ar)

**Joel Agüero** – Centro de Investigación y Desarrollo para la Construcción y la Vivienda – [jaguero@frsf.utn.edu.ar](mailto:jaguero@frsf.utn.edu.ar)

**Brenda Monci** – Centro de Investigación y Desarrollo para la Construcción y la Vivienda – [bmonci@frsf.utn.edu.ar](mailto:bmonci@frsf.utn.edu.ar)

#### **Resumen**

La normativa vigente para el ensayo DCP (Penetrómetro Dinámico de Cono) permite incrementar la longitud de la varilla de penetración mediante suplementos, pero no establece pautas respecto al tratamiento de los resultados obtenidos como si lo hace para la varilla standard, poniendo en duda además la validez de las correlaciones existentes con el CBR (California Bearing Ratio) o el Módulo Resiliente.

La experiencia dentro del Centro de Investigación y Desarrollo para la Construcción y la Vivienda (CECOVI) ha demostrado que la ejecución del ensayo en orificios remanentes del calado de testigos imposibilita la introducción de la barra superior del equipo, resultando en un déficit de la profundidad de auscultación.

Se pretende entonces, estudiar los efectos derivados de incrementar la longitud de la varilla en diferentes magnitudes, para diferentes tipos de suelo, humedades y densidades, en la respuesta del equipo en términos de la relación entre la profundidad de la penetración y el número de golpes asociado, así como en las correlaciones del índice de penetración con el CBR.

#### **Palabras clave**

DCP, varilla, suelo, vialidad

#### **Abstract**

Current regulations for the DCP test allow to increase the length of the penetration rod by adding supplements, but do not establish guidelines regarding the treatment of the results obtained as they do for the standard rod, casting doubts on the validity of the existing correlations with the CBR or the Resilient Modulus.

Experience within CECOVI has shown that the execution of the test in the holes remaining from the core drilling makes it impossible to introduce the upper rod of the equipment, resulting in a deficit in the depth of auscultation.

It is therefore intended to study the effects of increasing the length of the rod in different magnitudes, for different soil types, humidity and densities, on the response of the equipment in terms of the relationship between the depth of penetration and the associated number of blows, as well on the correlations of the penetration rate with the CBR.

## Keywords

DCP, rod, soils, roads

## Introducción

La técnica de ensayo de DCP (Penetrómetro Dinámico de Cono) posibilita obtener un parámetro directo para alcanzar luego una estimación de la capacidad de aporte estructural del suelo. Es directo en tanto su aplicación se materializa básicamente como un ensayo de campo sencillo. Su utilidad viene dada por la posibilidad de correlacionar el resultado obtenido en este ensayo de campo con otro, básicamente de laboratorio, que es el de CBR y el Módulo Resiliente.

La alternativa de prolongar el alcance del método ya normalizado y ampliamente utilizado, proporcionará una mejora al medio fortaleciendo la herramienta de determinación de parámetros básicos, que son esenciales principalmente cuando se trata de estimaciones de refuerzos estructurales en pavimentos.

Por otra parte, la metodología planteada posibilitará vincular varias alternativas que, de acuerdo a lo detallado en el estado del arte actual, quedaron orientadas como posibilidades abiertas a explorar, entendiendo que podrían ofrecer soluciones a casos particulares, no profundizadas tal vez, porque el nivel alcanzado permitía cubrir la demanda más urgente o usual que, tal como se ha visto, el paso del tiempo ha ido acotando un poco, generando la necesidad de explorarlas.

## Estado del arte

El Penetrómetro Dinámico de Cono se estableció como dispositivo definitivo para la evaluación de la resistencia de los suelos en Sudáfrica en 1970. Con pequeñas variaciones, el US Corps of Engineers (USACE) patentó en 1992 (Webster and Thomas, 1992) la que sería la versión de referencia dentro del ámbito de la Geotecnia Vial y la Ingeniería de Pavimentos.

A partir del formato mencionado se desarrolló la Norma ASTM 6951, referencia universal tanto en términos de características del equipamiento, como del proceso de ensayo. La versión de 2003 de la norma mencionada (ASTM D6951-03) establece entre sus consideraciones que “Este instrumento se usa comúnmente para evaluar las propiedades de materiales ubicados hasta 1000 mm (39”) por debajo de la superficie. La profundidad de penetración puede ser aumentada usando extensiones de barras. Sin embargo, en caso que se usen extensiones de barras, debe tenerse cuidado a la hora de utilizar los cuadros de correlación para estimar otros parámetros, ya que estas correlaciones sólo son aptas para configuraciones específicas de DCP. La masa y la inercia del dispositivo cambiarán y se producirá fricción por contacto superficial de las extensiones de las barras” (Barquero y Fernández, 2003). La versión actualizada de la Norma, la ASTM 6951M 18, registrada on line en el sitio web de ASTM, reproduce en los mismos términos, sin variaciones, la sentencia antes mencionada (ASTM International, 2003). De hecho, las consideraciones mencionadas, si bien implican la posibilidad de incrementar la longitud de la varilla, no establecen pautas específicas respecto al tratamiento de los resultados que pudiesen obtenerse de dicha adaptación.

Dentro de este contexto, prestigiosas instituciones tales como la Federal Highway Administration (FHWA) y la Guía Empírico Mecánica (MEPDG) desarrollada y publicada por la National Cooperative Highway Research Program (NCHRP), avalan la utilización del equipo y el procedimiento, pero al momento de establecer correlaciones, hace una referencia directa a la

Norma ASTM antes mencionada (NCHRP, 2004). Algunos trabajos publicados en los últimos años que refieren a la longitud de la varilla de penetración, indican longitudes de trabajo de la misma de entre 800 y 950 mm (Hossain y Palit, 2017), o bien de 800 mm, bajo el argumento de que las tensiones generadas por las cargas de ejes se tornan despreciables por debajo de esa profundidad (Gill et al., 2010).

Esta última aseveración puede considerarse opinable según el ámbito de aplicación del equipo. Efectivamente para el caso de penetraciones en orificios de calados de testigos, parte de la longitud de la varilla se torna ociosa debido a la imposibilidad de introducir la barra superior con el martillo dentro de dicho orificio (parte de la longitud de la barra de penetración queda comprendida en la capa de material que se encuentra sobre la subrasante de suelo a ensayar u sobre la cual se perfora con la extracción del testigo). Adicionalmente para el caso de auscultaciones vinculadas a estructuras de pavimentos de aeropistas, los requerimientos de investigación involucran mayores profundidades que en las carreteras. Desde este último punto de vista la Federal Aviation Administration (FAA) indica, por ejemplo, que para los casos en que se han extraído testigos, el ensayo DCP debe realizarse dentro del orificio remanente atravesando las capas no ligadas de bases y adentrarse en la subrasante en una profundidad de 45cm (US Department of Transportation, Federal Aviation Administration, 2009).

El ensayo DCP originalmente tuvo como objetivo aportar correlaciones entre determinaciones in situ y el parámetro CBR. Posteriormente el advenimiento de parámetros más racionales como el Módulo Resiliente implicaron también el estudio de potenciales correlaciones. Dentro del ámbito del CECOVI, el uso del DCP, en especial aplicado a la auscultación de perfiles de capas no ligadas y/o suelos de subrasantes en orificios de testigos calados, tanto en carreteras como en aeropistas, ha puesto de manifiesto la necesidad de estudiar en detalle los efectos de un eventual suplemento de la varilla de penetración, a los fines de incrementar la longitud de estudio.

## **Desarrollo**

En líneas generales, en el primer año del proyecto (ASUTNFE0005431 - Incidencia de la longitud de la varilla de penetración del Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) en la respuesta del equipo y en sus correlaciones asociadas - CECOVI, FRSF, UTN. Director: Hillar, Pablo - 2019), se diseñó un nuevo equipo de DCP, considerando también las extensiones necesarias para poder cumplimentar los objetivos del mismo. Esto se efectuó de modo de que haya dos iguales para poder combinar con una extensión (1,5 m de lanza) y con dos extensiones (2 m de lanza).

Además, en la fabricación del equipo, se pretendió superar algunos inconvenientes que tenía el diseño anterior, comentados por los usuarios del equipo en diferentes situaciones (tipos de trabajos, tipos de suelos, tipos de usuarios). Se efectuaron pruebas de campo con ese equipo para ajustarlo y para poder capacitar a los nuevos integrantes del proyecto que no tenían experiencia con el mismo.

A su vez, se avanzó en el diseño y fabricación de la estructura de una cuba regulable, cuya función sería contener un determinado volumen de suelo y permitir la realización de ensayos en laboratorio, sin salir a campaña. Sus características más importantes serían la posibilidad de regular su altura durante la compactación del suelo, y que pudiera maniobrarse en las instalaciones de la Planta Piloto del CECOVI utilizando un puente grúa.



A partir de esas actividades efectuadas es que se pretendía continuar con las tareas en 2020. Durante los meses de aislamiento impuesto por la pandemia, se reformularon algunas cuestiones del proyecto. Contando ya con el nuevo equipo de DCP (Figura 1 y Figura 2), se desestimó la utilización de la cuba regulable, dado que su construcción no sería factible, su operación no sería sencilla comparado con trabajar en terreno natural y que era probable que no pudiera representar las condiciones naturales como se esperaba. Se decidió un nuevo plan de trabajo, que consiste en:

- Una primera etapa de ensayos DCP sobre terreno natural, dentro de los terrenos de la Facultad, utilizando tanto la varilla de longitud standard como los suplementos. A su vez, se extraerán muestras de los puntos auscultados para realizar ensayos CBR y determinar densidad, humedad natural y clasificación por método HRB.
- Una segunda etapa que consiste en la excavación de una calicata en el lugar donde se realizó la primera etapa, para observar conformación de los estratos analizados. La misma tendrá unas dimensiones aproximadas de 1,20 x 1,20 x 1,00 m de profundidad.
- En dicha calicata, se colocarán capas de 20 a 30 centímetros de suelo de aporte, previamente clasificado mediante HRB. Se compactará con pisón de mano. Se controlarán los requisitos de densidad Proctor para cada capa, mediante cono de arena (dos puntos), y se tomarán muestras para CBR y humedad. Luego, se efectuarán dos ensayos DCP hasta profundidades variables (1,00 m, 1,50 m y 2,00 m). El ensayo CBR se realizará considerando una sobrecarga similar a la existente dentro de la excavación.
- De forma paralela, se identificarán dos a tres sectores fuera de la Facultad. En ellos, se efectuarán las mismas determinaciones mencionadas en los puntos anteriores.



**Figura 1 (izquierda): equipo DCP desmontado (varilla de 1,00 m, martillo y suplementos de 0,50 m).**

**Figura 2 (derecha): equipo DCP ensamblado completamente.**

Una vez finalizadas todas las etapas prácticas, se realizará un compendio de los datos obtenidos para su análisis. Mediante el mismo, se buscará correlacionar la curva profundidad de penetración – número de golpes entre la longitud de varilla standard y las longitudes de varilla incrementadas, para cada una de las locaciones establecidas.

Por otra parte, se realizará una correlación comparativa de los valores del índice de penetración DN y el CBR de laboratorio, con el fin de encuadrar el resultado dentro del universo de correlaciones preexistentes.

Por último, el trabajo se complementará con un análisis global tanto de la relación entre la profundidad de penetración y el número de golpes para las distintas longitudes de varilla respecto de la estándar, así como con un análisis global de la correlación entre el índice de penetración DN y el CBR tomando como referencia las correlaciones preexistentes, evaluando el potencial impacto en la modificación de la longitud de la varilla.

## Resultados y conclusiones esperados

Lamentablemente, las restricciones impuestas por la pandemia originada por el COVID-19, impidieron que se pudiera avanzar en el proyecto por no tener presencialidad permitida en las instalaciones del laboratorio. Este trabajo posee un alto porcentaje de actividades que requieren ser realizadas exclusivamente de manera presencial. Es por ello que se decide listar una serie de resultados que se desea obtener, y conclusiones alcanzadas hasta el momento:

- La técnica de ensayo de DCP posibilita obtener un parámetro directo para alcanzar una estimación de la capacidad de aporte estructural del suelo, por lo que evaluar la incidencia de la longitud de la varilla da un amplio marco de actuación en el ámbito de utilización en estructuras en servicio, como son las del campo vial.
- Además, el trabajo aportará conocimiento a los métodos ya establecidos y normalizados, como mejora sobre todo en estructuras que deban ser reforzadas.
- El aporte de los usuarios del equipo, resultó fundamental para las correcciones realizadas y la determinación de los diferentes parámetros de evaluación.

## Referencias

- Webster Steve & Williams Thomas, assignee to the United States of America represented by de Secretary of the Army, "Dual Mass Dynamic Cone Penetrometer", Patent 005313825A - United States Patents – 1994.
- E. Barquero, I. Fernández, "Designación D6951-03. Traducción: Proyecto MOPT/GTZ", ASTM International.
- "ASTM D6951 / D6951M – 18. Standard Test Method for Use of the Dynamic Cone Penetrometer in Shallow Pavement Applications", ASTM International. Disponible en <<https://www.astm.org/Standards/D6951.html>>.
- U.S.Department of Transportation. Federal Highway Administration. Pavement Testing Facility Overview. Disponible en <<https://www.fhwa.dot.gov/research/tfhrc/labs/pavement/#testing>>.
- Cooperative Highway Research Program 1-37A (2004). "Guide for mechanistic – empirical design of new and rehabilitated pavement structures. Part 2 Design Input. Chapter 1 Subgrade/Foundations Design Inputs".
- Mohammad Altaf Hossain, Swapan Kumar Palit (2017). "Evaluation of Road Pavement using Dynamic Cone Penetrometer". SSRG International Journal of Civil Engineering (SSRG-IJCE) — September 2017. ISSN: 2348 – 8352 – volume 4 Issue 9.
- Gill K.S., Jha J.N. & Choudhary A.K (2010). "CBR Value Estimation Using Dynamic Cone Penetrometer". Indian Geotechnical Conference – 2010, GEOTrendz December 16–18, 2010 IGS Mumbai Chapter & IIT Bombay.
- US Department of Transportation, Federal Aviation Administration (2009). "Advisory Circular 150/5370-11B Use of Non-destructive Testing in the Evaluation of Airport Pavements".
- US Department of Transportation, Federal Aviation Administration (2011). "Advisory Circular 150/5320-6F. Airport Pavement Design and Evaluation".

## Estudio de estructuras de trans–estilbeno mediante microscopía de efecto túnel

### Study of trans-stilbene structures by scanning tunneling microscope

**Brian Zorzon**

Laboratorio de Materiales Avanzados, Facultad Regional Reconquista, Universidad Tecnológica Nacional.

zorzon-utn@outlook.com

**Javier Vitti**

Laboratorio de Materiales Avanzados, Facultad Regional Reconquista, Universidad Tecnológica Nacional.

javier.vitti@gmail.com

**Resumen:** Mediante el microscopio de efecto túnel o STM (Scanning Tunneling Microscope) es posible obtener imágenes con resolución atómica de superficies de materiales conductores. En parte gracias a esto, el estudio de fenómenos a escala nanométrica ha tenido un gran desarrollo en las últimas décadas. Estudios previos muestran que es posible observar moléculas poco conductoras formando estructuras ordenadas sobre superficies de HOPG. Este trabajo presenta resultados preliminares obtenidos al analizar trans–estilbeno sobre una superficie de HOPG mediante STM. El objetivo es conocer si existe una disposición particular de las moléculas sobre el sustrato a temperatura ambiente. Las primeras conclusiones indican que las moléculas de trans–estilbeno se disponen sobre HOPG siguiendo una estructura cristalina pseudo–rectangular a escala nanométrica. El plan de trabajo corresponde a la beca de Estímulo a las Vocaciones Científicas del Consejo Interuniversitario Nacional, Convocatoria 2019.

**Palabras Claves:** STM, HOPG, Trans–estilbeno, Superficie, Nanoestructuras.

**Abstract:** The Scanning Tunneling Microscope (STM) makes it possible to obtain atomic resolution images of the surfaces of conductive materials. Hence, the study of phenomena at nanometer scale has undergone great development in recent decades. Previous studies show that it is possible to observe poorly conducting molecules forming ordered structures on HOPG surfaces. This work presents preliminary results obtained by analysing trans–stilbene on a HOPG surface by STM. The objective is to know if there is a particular arrangement of the molecules on the substrate at room temperature. The first conclusions indicate that the trans–stilbene molecules are arranged on HOPG following a pseudo–rectangular crystal structure at nanometer scale. The work plan corresponds to the grant of Stimulus to Scientific Vocations of the National Interuniversity Council, Call 2019.

**Keywords:** STM, HOPG, Trans–stilbene, Surface, Nanostructures.

## 1. Introducción

El estudio de fenómenos a escala nanométrica ha tenido un gran desarrollo en las últimas décadas, debido principalmente a los avances tecnológicos y al desarrollo de instrumentos que permiten observar y manipular materiales a nivel atómico (Bhushan, 2004). En la actualidad, la nanotecnología es una herramienta alternativa para descubrir nuevas propiedades y fenómenos, que puedan contribuir a un uso más eficiente de la materia y a la exploración de nuevas tecnologías (Mendoza et al., 2015).

Mediante el microscopio de efecto túnel o STM (Scanning Tunneling Microscope) es posible obtener imágenes con resolución atómica de superficies de materiales conductores de la electricidad. Su principio de funcionamiento se basa en aplicar una diferencia de potencial entre la superficie a analizar y una punta metálica. Cuando la distancia que separa dicha punta y la superficie es de unos pocos Ångström, se establece una corriente por efecto túnel. A medida que la punta recorre la muestra, se obtiene entonces información de la densidad electrónica de los estados de la superficie. Finalmente, a partir de esta información se consigue generar una imagen (Martínez y Villan, 2018; Binnig et al., 1982).

El trans-estilbeno, es una forma isomérica del estilbeno que se presenta como un sólido a temperatura ambiente. Estas moléculas son bien conocidas por sus aplicaciones en farmacia, medicina, cosmética y en la industria alimenticia (De Filippis et al., 2019; Ratz-Łyko y Arct., 2018; Martínez Márquez, 2016; Likhtenshtein, 2010).

Estudios previos (Mendoza et al., 2015) realizados sobre el depósito de trans-estilbeno en superficies de Grafito Piroclítico Altamente Orientado (HOPG, por sus siglas en inglés) mediante microscopía óptica y de fuerza atómica revelaron la formación de cristales tridimensionales de forma pseudo-romboide. Sin embargo, en dicho estudio no fue posible obtener resolución molecular, por lo que no se pudo observar el estadio inicial de agregación de moléculas.

Este trabajo presenta los primeros resultados obtenidos mediante STM al estudiar depósitos de trans-estilbeno sobre superficies de HOPG a temperatura ambiente con el objetivo de conocer cómo se ordenan las moléculas sobre el sustrato en el estado inicial de nucleación que luego da lugar a la formación de cristales.

## 2. Metodología

Se utilizaron sustratos de HOPG de la marca Keysight de grado ZYH y de 12x12x2 mm. El HOPG se clivó antes de preparar las muestras mediante cinta adhesiva. Seguidamente, se depositaron gotas de una solución de trans-estilbeno en alcohol etílico pro-análisis, sobre el HOPG. Finalmente, la muestra se dejó en reposo hasta que el solvente se evaporó por completo.

La caracterización de las muestras así preparadas se realizó mediante un STM marca Keysight, modelo 7500 (fig. 1). El escaneo de la superficie se realizó utilizando puntas de Pt80/Ir20, cortadas mecánicamente. Durante la adquisición de imágenes, se trabajó con corrientes túneles del orden de 5 a 50 nA y voltajes menores a 500 mV. Se analizaron varias muestras y cada una se inspeccionó en al menos tres regiones de su superficie.

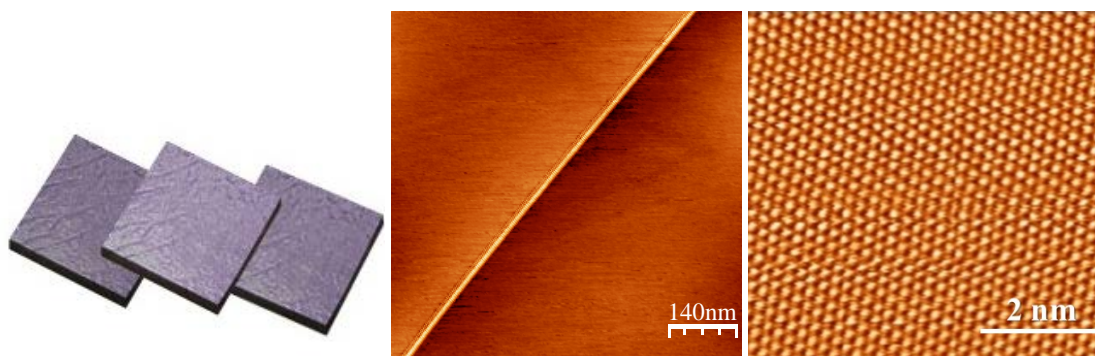
Todas las imágenes adquiridas fueron procesadas mediante el software libre WSxM 5.0 Develop 9.1 (Horcas et al., 2007).



**Figura 1.** Fotografía del STM ubicado en el Laboratorio de Materiales Avanzados de la Facultad Regional Reconquista de la Universidad Tecnológica Nacional.

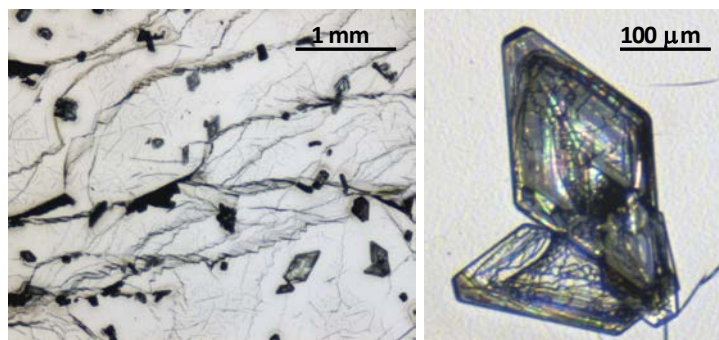
### 3. Resultados y discusión

El HOPG es una forma pura y ordenada de grafito sintético el cual se caracteriza por su estructura cristalina de largo alcance. Es una superficie plana con elevada conductividad eléctrica por lo que resulta de especial utilidad como sustrato para el depósito de sustancias. En la figura 2 se muestra una fotografía de la forma comercial del HOPG e imágenes adquiridas mediante STM de la superficie. Se puede ver que este tipo de superficies presenta grandes terrazas monoatómicas. La figura 2 (centro) muestra dos terrazas atómicamente planas, separadas por un escalón. La figura 2 (derecha) corresponde a una imagen de alta resolución, donde se observan átomos individuales ordenados según una estructura cristalina hexagonal, típica del grafito.



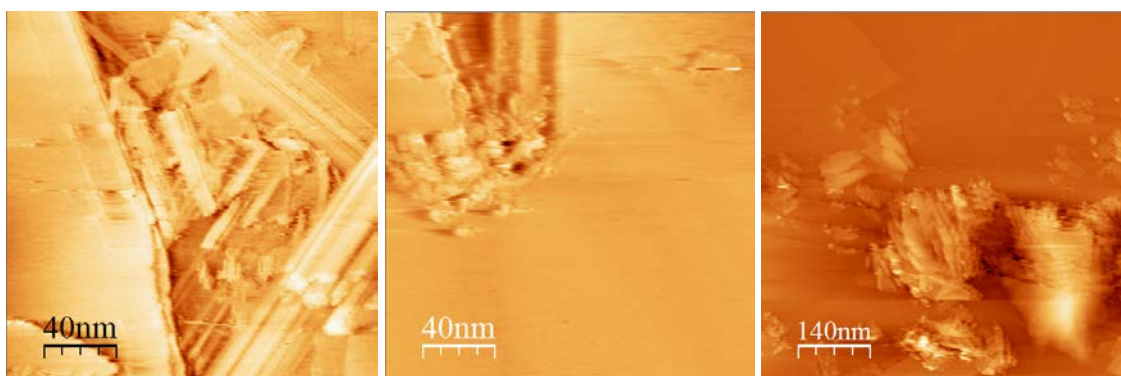
**Figura 2.** Izquierda: fotografía de muestras comerciales de HOPG. Centro: detalle de la superficie de HOPG. Derecha: Imagen con resolución atómica de la superficie de HOPG, donde cada cúmulo corresponde a un átomo de carbono.

En la figura 3 se muestran imágenes de un estudio previo (Mendoza et al. 2015) realizado sobre el depósito de trans-estilbeno en superficies de HOPG mediante microscopía óptica que reveló la formación de cristales tridimensionales de trans-estilbeno. Estos cristales presentan una morfología mayoritariamente pseudo-romboide y se originan a partir de nanopartículas o centros de nucleación ubicados preferentemente en los defectos de la superficie del sustrato.



**Figura 3.** Imágenes de trans-estilbena sobre HOPG, obtenidas mediante microscopía óptica. Se observa que las moléculas se ordenan formando cristales de morfología pseudo-romboide.

En la figura 4 se muestran imágenes obtenidas al depositar trans-estilbena sobre HOPG mediante STM, que nos indican que existe a escala nanométrica una disposición particular de dichas moléculas sobre el sustrato. Los clústeres de moléculas tienden a iniciarse en los defectos del sustrato o en sus proximidades. Se observa que dichos aglomerados se ordenan en forma de estructuras longitudinales o pseudo-rectangulares, algunos de los cuales se van agrupando en forma paralela. Estos clusters corresponden al estado inicial de ordenamiento que luego dará lugar a los cristales mostrados en la figura 3.



**Figura 4.** Imágenes obtenidas mediante STM del depósito de trans-estilbena sobre HOPG.

### 3. Conclusiones

En este trabajo se estudió el depósito de trans-estilbena sobre HOPG mediante STM a temperatura ambiente. Se observó que las moléculas, a escala nanométrica, se ordenan formando estructuras lineales que se agrupan sobre el sustrato, siguiendo varias direcciones. Además, dichas aglomeraciones tienden a iniciarse en los defectos del sustrato y algunas adoptan formas paralelas entre sí. Estos centros de nucleación ordenados son los que dan inicio a la formación de cristales macroscópicos.

### Reconocimientos

Este trabajo se realizó bajo la dirección de la Dra. Sandra Mendoza y con el apoyo de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN, Argentina) y del Consejo Interuniversitario Nacional (CIN) a través de una beca de Estímulo a las Vocaciones Científicas (EVC) Convocatoria 2019.

### Referencias

Bhushan, B. (2004). Handbook of nanotechnology. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.

Mendoza, S., Passegg, M. y Ferrón, J. (2015). "Estudio de estructuras de cis- y trans-estilbena mediante microscopía de fuerza atómica". Revista Materia, 20 (03), 764-771.

Martinez, G. y Villan, S., (2018). "Reconstrucción de superficies longevas de oro en mica y caracterización mediante STM". Acta Jovenes Investigadores Tecnológicos, Rafaela, Argentina septiembre de 2018.

Binning, G., Rohrer, H., Gerber, Ch y Weibel E. (1982). "Tunneling through a controllable vacuum gap". Appl. Phys. Lett. 40, 178-180.

De Filippis, B., Ammazalorso, A., Amoroso, R. y Giampietro, L. (2019). "Stilbene derivatives as new perspective in antifungal medicinal chemistry". Drug Development Research, 2019. Disponible en <<https://doi.org/10.1002/ddr.21525>>

Ratz-Łyko, A. y Arct, J. (2018). "Resveratrol as an active ingredient for cosmetic and dermatological applications: a review". Cosmetology, The Academy of Cosmetics and Health Care, Warsaw, Poland. Disponible en < <https://doi.org/10.1080/14764172.2018.1469767>>

Martínez Márquez, A. (2016). "Diversificación de la producción de estilbenos en cultivos celulares de vid mediante ingeniería metabólica", Tesis (Doctorado en Bioquímica y Biología Molecular), Universidad de Alicante, Alicante.

Likhtenshtein, G. (2010). Stilbenes: applications in chemistry, life sciences and materials science. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.

Horcas, I. y Fernández, R. (2007). "WSXM: A software for scan-ning probe microscopy and a tool for nanotechnology", Rev. Sci. Instrum., v. 78, pp 013705/1-8.

## ANÁLISIS COMPARATIVO DE LIXIVIADOS DEL RELLENO SANITARIO DE LA CIUDAD DE RAFAELA (SANTA FE) A DIFERENTES EDADES



### COMPARATIVE ANALYSIS OF LANDFILL LEACHED IN RAFAELA CITY (SANTA FE) AT DIFFERENT AGES

Autor: Gonzalo Gutierrez

Institución: Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Rafaela

E-mail de contacto: gutig08@gmail.com

#### RESUMEN

Ante la problemática de la disposición inadecuada de residuos, se utilizan técnicas que brindan su disposición final sin afectar el medio ambiente, tal es el caso de los rellenos sanitarios (RS). Su funcionamiento genera biogás y lixiviados debido a la descomposición de los residuos. En la ciudad de Rafaela, Santa Fe, esta técnica es aplicada desde 2003. El objetivo del trabajo es evaluar las características de los lixiviados producidos en el RS de Rafaela a diferentes edades. Para evaluarlos, se analizaron, desde el año 2005, parámetros fisicoquímicos en sitios de monitoreo ubicados en las celdas. Los valores de DQO, DBO, SSEE, SST, fósforo y ciertos metales pesados son superiores a los establecidos por la legislación provincial para el volcamiento de efluentes. Estas características variaron a través del tiempo, y esto se relaciona con las diluciones con el agua de lluvia y a los procesos de degradación de la materia orgánica.

**PALABRAS CLAVES:** Relleno Sanitario, lixiviado, contaminación.

#### ABSTRACT

Waste disposal techniques, such is the case of landfills, are used to give it a final disposal without affecting the environment. Biogas and leachate are generated due to the garbage decomposition. In Rafaela, Santa Fe, this final disposal technique is used since 2003. The aim of this essay is the analysis of the leachate composition of Rafaela Landfill at different ages. Since 2005, physico-chemical parameters were evaluated in different monitoring pits placed in the landfill's cell. BOD, COD, SSEE, TSS, Phosphorus and heavy metals were higher than province legislation values for effluent disposal. As consequence of the dilutions caused by rains and degradation of organic matter, the parameters variate over time.

**KEYWORDS:** landfill, leachate, pollution.

#### INTRODUCCIÓN

Rafaela posee una población que supera los cien mil habitantes y es una ciudad reconocida por ser un polo industrial y comercial. Tales industrias son mayormente metalmecánicas, alimenticias y de envase.

La Municipalidad de Rafaela, en las afueras de la ciudad y dentro del predio actualmente denominado "Planta de tratamiento y disposición final de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) y Residuos Sólidos Especiales (RSE)", en 2003 inaugura un Relleno Sanitario (RS) y, posteriormente, en 2005, inaugura una Planta de Recupero.

El proceso que ocurre en un RS consiste en una descomposición anaeróbica de la materia orgánica, generándose biogás y lixiviado, el cual a su vez puede incrementarse cuando se mezcla con el agua de lluvia. Ésta se filtra a través de los residuos sólidos en descomposición, dando origen a corrientes líquidas caracterizadas por un gran número de sustancias (Wiszniowski et al., 2006: 51-61), consideradas el principal contaminante de RS. Debido a esto, el tratamiento y disposición final de lixiviados es uno de los problemas más preocupantes en este método de disposición de residuos.



El lixiviado de un RS es un agua residual compleja, con considerables variaciones en la composición y el flujo volumétrico (Trebouet et al., 2001: 2935-2942). Actualmente en la planta del RS de la ciudad, no se cuenta con tratamiento del lixiviado generado, por lo que éstos se recirculan dentro de la celda. La generación de estos líquidos percolados depende de factores tales como: grado de compactación de los desechos, grado de humedad inicial de la basura, material de cubierta de las celdas, precipitaciones, humedad atmosférica, temperatura, evaporación, evapotranspiración, escurrimiento, infiltración, entre otros. La concentración y composición de contaminantes en el lixiviado pueden ser muy diferentes según las condiciones antes mencionadas, pero además pueden variar de acuerdo con la edad del relleno (Ngo et al., 2010).

Los lixiviados se pueden clasificar en tres grupos, de acuerdo con el tiempo de operación del RS, se consideran jóvenes con menos de 5 años; intermedios de 5 a 10 años y maduros con más de 10 años de operación (Kang et al., 2002:4023-4032; Kulikowska y Klimiuk, 2008: 5981-5985; Renou et al., 2008: 468-493; Shouliang et al., 2008: 492-498). El objetivo del presente trabajo es evaluar la evolución de los parámetros fisicoquímicos del lixiviado del Relleno Sanitario de la ciudad de Rafaela según la clasificación antes mencionada, realizando un análisis comparativo a diferentes edades.

## DESARROLLO

En la Planta de Tratamiento y Disposición final de R.S.U. y R.S.E de la ciudad se reciben, dos veces por semana, los residuos de la llamada “recolección diferenciada”, donde los ciudadanos clasifican y separan el material reciclable de la fracción orgánica que tiene como destino final las celdas del RS. La recolección de los residuos sólidos urbanos, compuesta principalmente por materia orgánica biodegradable, se realiza cuatro días a la semana. A su vez, mensualmente se efectúa una recolección selectiva de residuos orgánicos e inorgánicos (por separado) correspondientes a limpieza de patios y jardines. También ingresan al predio camiones contenedores de empresas privadas que recolectan desechos, que, si bien el objetivo es la recolección de residuos verdes, tierras, residuos de demolición, entre otros, suelen estar contaminados con otros desechos, tales como elementos metálicos, de madera, cerámica, etc. El RS (Figura 1) cuenta actualmente con 2 celdas: la primera operó desde 2003 y hasta 2013, incorporándose una segunda celda desde el año 2013. Desde el año 2005 se analizan semestralmente muestras de lixiviados, extraídas de 31 puntos ubicados en ambas celdas.



**Imagen 1** - Foto satelital del complejo ambiental de Rafaela, donde se emplaza el RS.

En cada caso, se determinaron los siguientes parámetros: pH (Mét. Electrométrico), Conductividad (Mét. Conductimétrico), Demanda Química de Oxígeno (DQO), (Mét. de reflujo

con dicromato de potasio), Demanda Biológica de Oxígeno ( $DBO_5$ ), (Mét. dilución. Incubación  $20^{\circ}C$ , 5 días), Alcalinidad ( $CaCO_3$ ), (Titulación ácido-base), Sólidos suspendidos totales (SST), (Filtración 0,45 mm y secado en estufa  $105^{\circ}C$ ), Sólidos solubles en éter etílico (SSEE), (Extracción con éter etílico y evaporación), Nitrógeno Total Kjeldhal (NTK), (Determinación de Kjeldhal), Fósforo Total (PT), (Ataque ácido y colorimetría de ácido ascórbico). Además, se analizaron los siguientes metales por Espectrometría de Absorción Atómica: Calcio, Magnesio, Cromo Total, Manganeso, Mercurio, Níquel, Plomo, Arsénico, Cadmio, Zinc y Cobre. Todas las determinaciones analíticas se realizaron de acuerdo con la metodología propuesta por Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA, 2017).

## RESULTADOS

Se analizaron las características de los lixiviados generados y su variación en el tiempo. En la Tabla 1, se presentan los valores promedio, desviación estándar, máximo y mínimo de los parámetros analizados de lixiviados jóvenes (hasta 5 años), lixiviados de edad intermedia (entre 5 – 10 años) y lixiviados maduros (mayores a 10 años); como así también los límites de volcamiento establecidos por la legislación provincial (Resolución 1089/82).

Como se puede observar, los valores de pH se encuentran cercanos a la neutralidad, oscilando entre 6,97 y 8,80, lo cual se debería a la capacidad de amortiguamiento del material contenido y no observándose evidencia de predominancia de la fase acidogénica (Arias y Agudelo, 2005: 33-42). Estos resultados se pueden relacionar además con los elevados valores de alcalinidad.

Los elevados valores de conductividad hallados en las muestras demuestran presencia de iones en los lixiviados, como consecuencia de las características de los desechos. Los valores de SSEE, SST,  $DBO_5$  y DQO sufren grandes variaciones. Esto se puede deber a la recirculación dentro del relleno, como así también al alto contenido de sustancias orgánicas de los desechos, que, al estar sometidos a procesos de reacciones bioquímicas, produce variaciones en su composición. Las muestras poseen alto contenido de nitrógeno y fósforo, esto se debería a que la fracción orgánica está formada principalmente por restos de alimentos, en cuya composición indefectiblemente habrá presencia de estas especies, las cuales son nutrientes esenciales en la dieta.

Considerando la Ley de la Provincia de Santa Fe para Control de Vertimiento de Líquidos Residuales - Resolución 1089/82 (Límite de volcamiento corresponde al Título C del Reglamento) los valores promedios de fósforo, plomo, cadmio, SSEE, SST, DBO y DQO son superiores a los límites señalados por la legislación. En el caso de las concentraciones de manganeso, mercurio y níquel, según la legislación, el líquido no debe contener estas sustancias, pero sí están presentes en el lixiviado estudiado. En cambio, las concentraciones de arsénico, zinc y cobre, no superan los valores admitidos por la Ley de 5,00 y 0,40 mg/L, respectivamente.

Tabla 1 -Valores de análisis fisicoquímicos de lixiviados de RS de Rafaela, Santa Fe

PARÁMETROS	LIX. JOVENES (n=53)				LIX. INTERMEDIOS (n=13)				LIX. MADUROS (n=10)				LÍMITES
	PROM	DES. EST	MIN	MAX	PROM	DES. EST	MIN	MAX	PROM	DES. EST	MIN	MAX	
pH	7.56	0.44	6.97	8.77	7.79	0.62	6.68	8.80	7.81	0.33	7.50	8.32	5.5 - 10
Conductividad (mS/cm) (a 20 °C)	15.69	6.18	5.75	32.40	10.01	3.96	5.80	19.70	8.19	3.88	2.38	14.58	-
DQO (mg/l O <sub>2</sub> )	3454.39	2509.47	444.00	12134.00	2085.53	1512.12	748.80	6071.00	1241.47	878.42	82.60	2609.00	75.00
D.B.O.5 (mg/l O <sub>2</sub> )	1095.67	971.98	102.60	4060.00	872.45	588.65	183.30	1874.00	297.29	244.52	53.00	887.80	50.00
Alcalinidad (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	5060.23	2676.72	1728.00	11931.00	2590.31	2034.27	0.24	6536.00	2605.28	1979.10	415.80	6414.00	-
Cromo Total (mg/l Cr)	0.73	0.83	0.05	3.86	0.40	0.42	0.10	1.52	0.22	0.15	0.10	0.53	1.00
Fósforo (mg/l P)	6.25	5.48	0.49	20.10	4.91	3.93	0.83	13.70	3.52	2.63	0.24	8.10	0.50
Manganeso (mg/l Mn)	1.80	1.06	0.40	5.60	1.57	0.66	0.61	2.85	2.01	1.19	0.56	4.40	No debe contener
Mercurio (mg/l Hg)	0.03	0.03	0.01	0.10	0.05	0.05	0.01	0.16	0.01	0.00	0.01	0.02	No debe contener
Níquel (mg/l Ni)	0.42	0.15	0.10	0.96	0.25	0.12	0.10	0.50	0.22	0.10	0.10	0.36	No debe contener
Nitrógeno Total (mg/l N)	1030.88	765.79	190.40	3430.00	561.95	365.88	72.80	1380.20	432.61	337.85	21.00	995.00	-
Plomo (mg/l Pb)	0.24	0.12	0.10	0.50	0.15	0.05	0.10	0.20	0.15	0.07	0.10	0.30	0.10
Calcio (mg/l Ca)	188.98	115.74	81.00	667.00	118.00	67.41	33.00	275.00	182.29	107.06	53.00	407.00	-
Magnesio (mg/l Mg)	126.19	54.26	33.00	273.00	190.88	93.63	81.00	433.00	90.49	39.84	21.80	144.00	-
Sól. susp. totales (mg/l)	686.54	568.31	56.00	2440.00	586.20	419.09	180.00	1388.00	488.75	371.09	42.00	1306.00	30.00
Sól. sol. en éter etílico (mg/l)	297.11	181.49	53.20	898.00	139.57	70.22	66.00	304.00	62.35	55.22	8.80	158.80	100 (1) 10 (2)
Arsénico (mg/l As)	0.16	0.23	0.02	1.00	0.09	0.26	0.02	1.00	0.09	0.07	0.02	0.20	0.20
Cadmio (mg/l Cd)	0.06	0.04	0.01	0.30	0.04	0.02	0.01	0.05	0.05	0.00	0.05	0.05	0.02
Zinc (mg/l Zn)	0.51	0.52	0.03	2.00	0.36	0.47	0.04	1.60	0.22	0.17	0.08	0.65	5.00
Cobre (mg/l Cu)	0.19	0.19	0.08	1.00	0.13	0.15	0.05	0.50	0.16	0.14	0.05	0.50	0.40

(\*) Límites Ley de la Provincia de Santa Fe (Límite de volcamiento corresponde a título C del Reglamento para Control de Vertimiento de Líquidos Residuales, Resolución 1089/82 (Dilución menor 360)

(1) Límite sustancias grasas polares

(2) Límite aceites minerales

En la Imagen 2, se grafican los valores de DQO, DBO<sub>5</sub>, NTK, SSEE y SST de acuerdo a la clasificación por edad. Se observa que todas las concentraciones disminuyen con la edad del lixiviado, coincidiendo con Giraldo (2001: 44-55) quien ha observado/determinado que las concentraciones de estos parámetros suelen ser mayores en un lixiviado joven que en un lixiviado maduro.

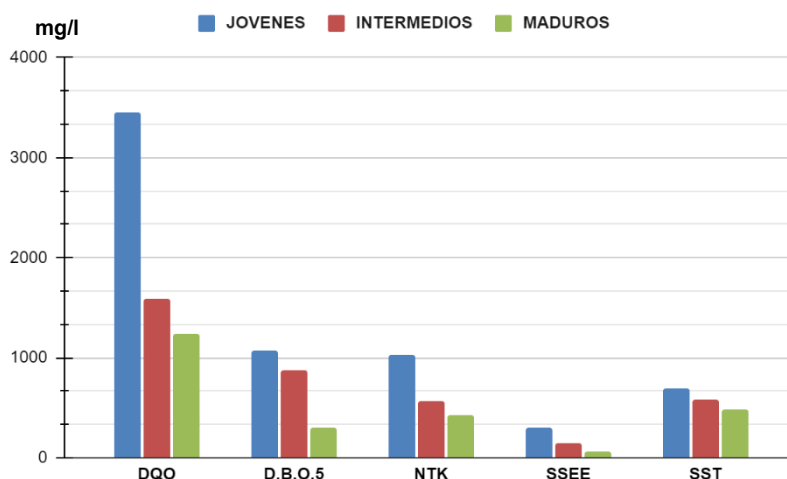


Imagen 2 - Valores de DQO, DBO<sub>5</sub>, NTK, SSEE y SST para lixiviados jóvenes, intermedios y maduros.

## CONCLUSIONES

En términos generales, las características de los lixiviados variaron a través del tiempo, y esto se debe a las diluciones con el agua de lluvia y a los procesos de degradación de la materia orgánica. Además, se evidenció presencia de elementos contaminantes en la composición de los lixiviados, los cuales no cumplen con los límites establecidos por la legislación para volcamiento de efluentes líquidos. Por lo tanto, se debería realizar un tratamiento de los mismos, el cual está planificado para un futuro cercano.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA. (2017). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23<sup>rd</sup> Edition.
- Arias, S.C.; Agudelo, R.A. "Seguimiento de una celda experimental de residuos sólidos urbanos" (2005). *Revista EIA*. ISSN 1794-1237 Número 4 p. 33-42.
- Giraldo, E. "Tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios: avances recientes" (2001). *Revista de Ingeniería*. (14) pp. 44-55.
- Kang, K.; Shin, H.S.; Park, H. "Characterization of humic substances present in landfill leachates with different landfill ages and its implications" (2002). *Water Res.* 36:4023-4032.
- Kulikowska, D.; Klimiuk, E. "The effect of landfill age on municipal leachate composition" (2008). *Biores. Technol.* 99: 5981-5985.
- Ngo, H.; W. Guo, W. Xing. "Applied Technologies in Municipal Solid Waste Landfill Leachate Treatment" (2010). *Water and Wastewater Treatment Technologies*. UNESCO Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS).
- Renou, S.; Givaudan, J.G.; Poulain, S.; Diras Souyan, F.; Moulin, P. "Landfill leachate treatment: Review and opportunity" (2008). *J. Hazard Mat.* 150: 468-493.
- Resolución 1089/82. Ley de la Provincia de Santa Fe para "Control de Vertimiento de Líquidos Residuales" (1982, Límite de volcamiento corresponde al Título C del Reglamento).
- Shouliang, H.; Beidou, X.; Haichan, Y.; Liansheng, H.; Shilei, F.; Hongliang, L. "Characteristics of dissolved organic matter (DOM) in leachate with different landfill ages" (2008). *J. Environ. Sci.* 20: 492-498.
- Trebouet D., Schlumpf J.P., Jaounen P., and Quemeneuer F. "Stabilized landfill leachate treatment by combined physicochemical-nanofiltration process" (2001). *Water Research* 35(12): 2935-2942
- Wiszniewski, J., Robert, D., Surmacz-Gorska, J., Miksch, K., Weber, J. "Landfill leachate treatment methods, a review" (2006). *Environ. Chem. Lett.* 4, 51-61.

## Aplicación del método de volúmenes finitos a la modelización del flujo en hormigones permeables.

### Application of the finite volume method to flow modeling in permeable concretes.

Ignacio Corazza.

Grupo de Investigación en Métodos Numéricos en Ingeniería (GIMNI). Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Santa Fe.

[icorazza@frsf.utn.edu.ar](mailto:icorazza@frsf.utn.edu.ar)

**Resumen:** En este trabajo se propone la creación de modelos computacionales discretizados en volúmenes finitos para hormigones permeables, a partir de datos de permeabilidad, presión estática y velocidad de flujo obtenidos de ensayos físicos sobre probetas. Se analizan dos casos. En primer lugar, se genera un modelo de filtración en una dirección, análogo a un ensayo físico, en el que se determina el caudal que atraviesa una probeta. En el segundo caso, se estudia un componente materializado en hormigón drenante suponiendo un fluido incompresible y un medio completamente saturado, discretizado mediante volúmenes finitos, a fin de establecer la red de flujo y velocidades de infiltración. El modelo computacional en el cual se reproduce el fenómeno de filtración permite predecir el caudal que atraviesa un elemento bajo otras condiciones, previendo a futuro considerar el grado de saturación y otros factores que influyen en el flujo en un medio permeable no saturado.

**Palabras claves:** hormigón permeable, flujo de Darcy, volúmenes finitos, mecánica de fluidos.

**Abstract:** This work proposes the creation of discretized computational models in finite volumes for pervious concretes, in base of permeability, static pressure and flow velocity data obtained from physical tests on specimens. Two cases are analyzed. First, a one-way filtration model is generated, analogous to a physical test, in which the flow rate through a specimen is determined. In the second case, a component materialized in draining concrete is studied assuming an incompressible fluid and a completely saturated medium, discretized by finite volumes, in order to establish the flow network and infiltration speeds. The computational model in which the filtration phenomenon is reproduced makes it possible to predict the flow that passes through an element under other conditions, anticipating in the future to consider the degree of saturation and other factors that influence the flow in an unsaturated permeable medium.

**Keywords:** pervious concrete, Darcy flow, finite volumes, fluid mechanic.

### Introducción

El hormigón permeable presenta una estructura de poros bien definida, en la cual los poros están interconectados, permitiendo el flujo de agua u otros líquidos a través de su estructura, esto puede verse claramente en la Figura 1. Los agregados están cubiertos completamente por pasta de cemento, y por medio de ésta se encuentran adheridos unos a otros, como se aprecia en la Figura 2. La cantidad de mortero de cemento es, sin embargo, tan baja que los espacios entre los agregados no son llenados en su totalidad. El porcentaje efectivo de vacíos es de  $18 \pm 2 \%$ .

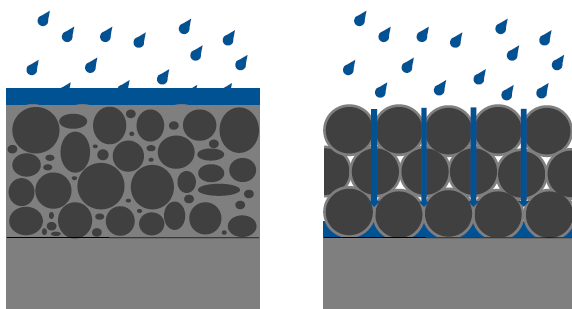


Figura 1: esquema que representa el comportamiento de un hormigón permeable (Klein, 2019).

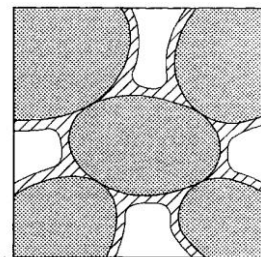


Figura 2: esquema de la estructura del hormigón permeable (Klein, 2019).

Debido al creciente uso del hormigón permeable en pavimentos drenantes, drenaje de grandes superficies, plazas, calles, etc. y que para su aplicación es de interés conocer su desempeño hidráulico, se busca generar modelos que permitan predecir el flujo que se produce en el interior de los componentes, en los casos en que la geometría presenta particularidades tales que impiden un análisis preciso con criterios sencillos.

El hormigón permeable es motivo de estudio desde el punto de vista de la tecnología del hormigón y desde su desempeño hidráulico, especialmente en cuanto a su propiedad distintiva de alta permeabilidad. Experimentalmente, se han estudiado hormigones permeables con agregados locales en Entre Ríos (Garat et al., 2019), mientras que desde la mecánica computacional se encuentran en desarrollo modelos numéricos para predecir su desempeño hidráulico (Hatanaka et al., 2019; Costa et al., 2020), empleando herramientas para flujo en medios permeables tales como suelos (Horgue et al., 2015) o papel (Lomeland y Orec, 2018).

Entre los principales objetivos del proyecto en el cual se enmarca este trabajo se cuenta el de obtener predicciones sobre el flujo de agua en hormigones permeables para análisis de verificación o diseño de componentes en obras civiles.

Partiendo de información obtenida de ensayos físicos, se reproduce el comportamiento del material bajo las condiciones de ensayo, a fin de reproducir numéricamente el fenómeno. Una vez ajustado el modelo es posible resolver situaciones generales para el flujo en este material.

En este trabajo se describe la metodología usada para resolver el flujo en hormigones permeables, de la siguiente manera: en primer lugar, se plantea matemáticamente el problema; luego, se describen los modelos numéricos; por último, se resuelven dos casos, uno reproduciendo un resultado experimental y otro de aplicación.

### Metodología

El flujo de un fluido en un medio saturado puede describirse con la ecuación de Darcy, definida para un dominio espacial  $\Omega$ ,

$$\mathbf{q} = \frac{k}{\mu} (\nabla p + \rho \mathbf{g}) \quad (1)$$

en la cual  $\mathbf{q}$  es el flujo o velocidad de Darcy,  $k$  la permeabilidad intrínseca del medio poroso,  $\mu$  la viscosidad dinámica del fluido,  $p$  la presión,  $\rho$  la densidad del fluido y  $\mathbf{g}$  la aceleración de la gravedad.

Las condiciones de borde están dadas en términos de velocidad o de presión, esto es  $\mathbf{q} = \mathbf{q}_0$  en el sector de frontera del dominio con velocidad conocida  $\partial\Omega_q$ , en tanto que en para la presión será  $p = p_r$  en el sector de frontera correspondiente a presión dato  $\partial\Omega_p$ , respectivamente.

La resolución numérica del problema en derivadas parciales se lleva adelante con la herramienta porousMultiphaseFoam (Horgue et al., 2014; Horgue et al., 2015), desarrollada para resolver flujos a una o dos fases en medios porosos con la plataforma basada en volúmenes finitos para mecánica de fluidos computacional OpenFOAM (OpenFOAM, 2021).

### Modelos numéricos

El procedimiento de generación de los modelos numéricos es similar en ambos casos. En primer lugar, se generan la geometría y la malla, en este caso con el programa Salome (Salome, 2021), el cual permite discretizar el dominio y definir las caras sobre las que se asignarán las condiciones de borde. Se opta por una discretización en hexaedros y, dependiendo de la geometría, se procura que los elementos posean cierta uniformidad, para evitar que el flujo se vea alterado por perturbaciones debidas a elementos distorsionados.

El primer modelo se generó en base a la norma ASTM C1701, que se utiliza para medir el flujo en hormigones permeables. Se determina la geometría que tendrá el modelo computacional, buscando la mayor similitud posible entre el modelo y la probeta. La altura adoptada es de 100 [mm] y si bien la norma establece un cilindro de diámetro  $300 \pm 10$  [mm], se utiliza una sección cuadrada de igual área utilizando una discretización de hexaedros como se aprecia en las Figuras 3.1 y 3.2. Dado que el problema es unidimensional, los resultados son independientes de la sección transversal.

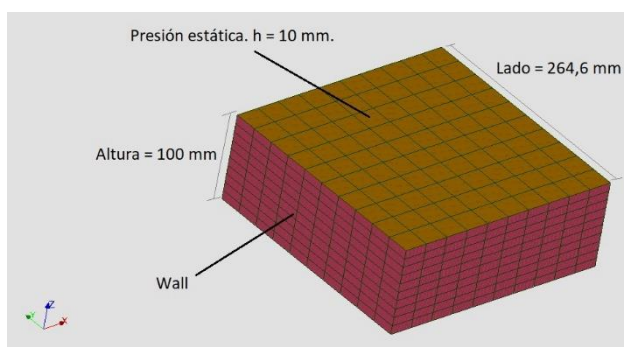


Figura N°3.1: malla del objeto a analizar.

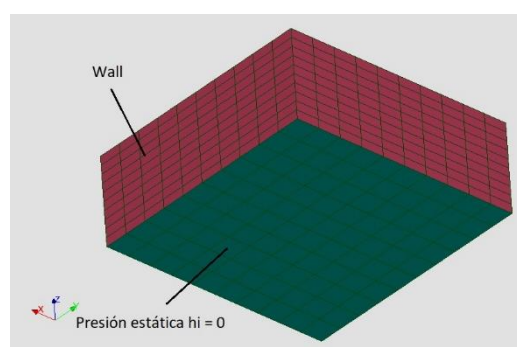


Figura N°3.2: malla del objeto a analizar.

Una vez realizada la discretización, se deben fijar las condiciones de borde que permitan imitar la situación de la probeta en los ensayos. En este modelo las cuatro caras verticales y perpendiculares a la dirección del flujo no permiten el flujo a través de ellas (Figuras 3.1 y 3.2). Otra condición adoptada es una presión estática en la cara superior de 10 [mm] de columna de agua (Figura 3.1), correspondiente a la altura de agua utilizada según la norma ASTM C1701. Por último, se determina una presión nula en la cara inferior (Figura 3.2). La permeabilidad a asignar al dominio corresponde a la conductividad hidráulica obtenida para una dosificación de hormigón permeable reportada por Garat et al. (2019) es  $k = 1,7 \times 10^{-9} [m^2]$ .

En el segundo modelo a presentar se realiza la simulación del flujo en un cordón cuneta de hormigón permeable, cuyas dimensiones son: 50 [cm] de base y 20 [cm] de alto con una pendiente del 15 % en el tramo que ingresa el flujo de agua. En este caso la simulación es realizada suponiendo una velocidad de flujo de  $1 \times 10^{-4} [m/s]$ , valor correspondiente a una lluvia de 100 [mm/h] y al escurrimiento de media calzada (3,5 [m]). Las condiciones de borde establecen de la siguiente manera: flujo nulo hacia la derecha, izquierda y la cara horizontal superior, donde se sitúan el pavimento, la vereda y el cordón respectivamente. En la cara inferior se permite el flujo, suponiendo la existencia de suelo natural del lugar con capacidad de absorción suficiente, aplicando allí una altura de presión correspondiente a la altura del modelo (20 [cm]). En la figura 6 se puede apreciar la geometría del modelo, mientras que en

la figura 7 se puede observar la malla de volúmenes finitos creada para la simulación. La permeabilidad hidráulica es igual a la empleada en el caso anterior,  $k= 1,7 \times 10^{-9} [m^2]$ .

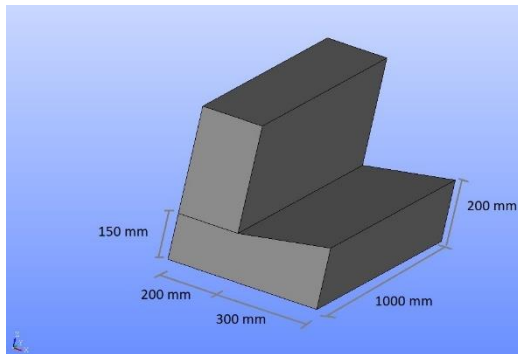


Figura N°5: Geometría del modelo.

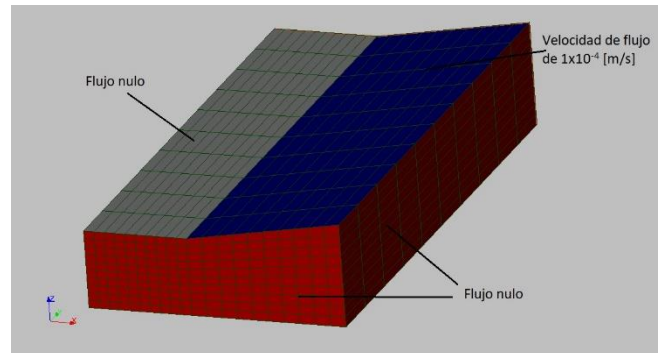


Figura N°6: Malla de volúmenes finitos y condiciones de vínculo.

## Resultados

En la Figura 4 puede apreciarse el modelo y la variación de la presión a medida que el flujo de agua atraviesa la estructura, representada en colores según la escala. La velocidad en el dominio es constante, con dirección Z en sentido negativo, siendo el caudal erogado  $1,27 \times 10^{-3} [m^3/s]$ .

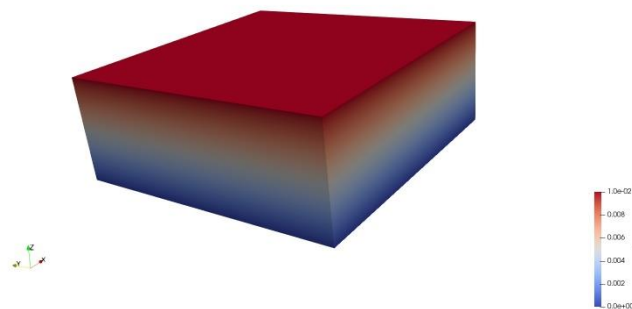


Figura N°4: Grafica de variación de presiones en la probeta.

En la figura 7 se representan las líneas de corriente para el segundo caso analizado, junto con los colores correspondientes a la escala de velocidades. Se aprecia la verificación de las condiciones de borde en velocidades sobre los contornos, así como también el recorrido del fluido, concentrado en el sector lindero a la calzada.

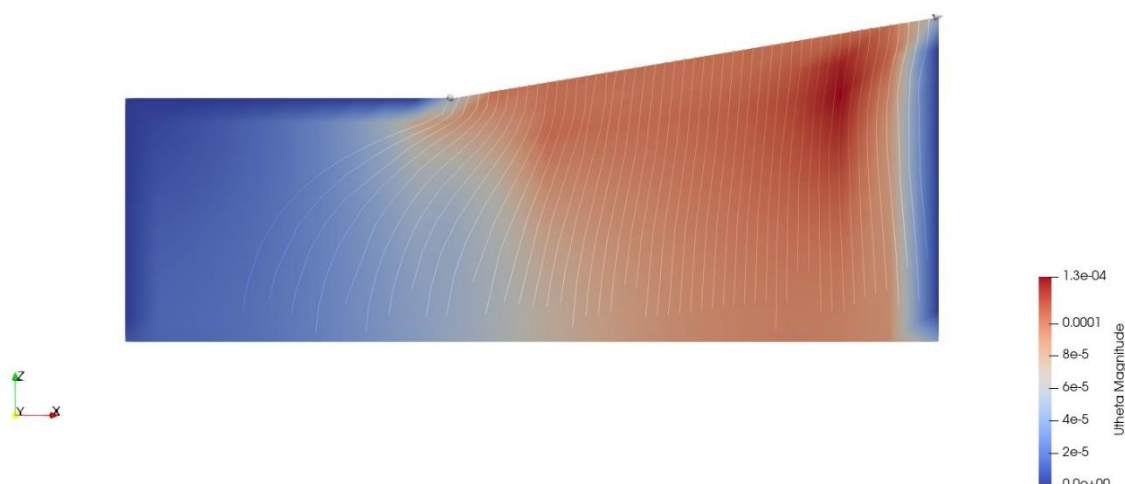


Figura N°7: Líneas de corriente.



## Conclusiones

Se generaron dos modelos numéricos de hormigón permeable sujeto al flujo en un medio permeable saturado, empleando coeficientes obtenidos de ensayos experimentales. El primero consistió en un caso de flujo unidimensional y el segundo un caso básico de cordón cuneta, que obedece a un flujo bidimensional. Otros elementos de mayor complejidad geométrica pueden ser estudiados mediante esta metodología, siendo una herramienta plausible para el diseño.

Los valores indican la gran capacidad de infiltración que poseen los hormigones permeables, lo cual permite su utilización en componentes de drenaje urbano, como ser la construcción de cordones cuneta, permitiendo así la recarga de las napas y disminuyendo el caudal erogado por los conductos pluviales.

El empleo de herramientas numéricas de este tipo permitirá continuar la investigación teniendo en cuenta otros factores como el grado de saturación, porosidad, permeabilidad, colmatación de los poros, capacidad de retención de líquidos, el comportamiento en la filtración de otros fluidos, velocidades de ingreso, etc.

## Referencias:

Garat, M. E., Palacio, A. J., Larenze, G. R., & Sota, J. D. (2019). Desempeño Hidrológico y Propiedades Físico Mecánicas de Hormigones Porosos elaborados con áridos de la Provincia de Entre Ríos. *Revista Tecnología Y Ciencia*, 36, 81–104. <https://doi.org/10.33414/rtyc.36.81-104.2019>

Horgue, P., Soulaire, C., Franc, J. Guibert, R. y Debenest, G. (2014). "An open-source toolbox for multiphase flow in porous media", *Computer Physics Communications*, 187, 217-226.

Horgue, P., Franc J., Guibert R., and Debenest G. An extension of the open source porousMultiphaseFoam toolbox dedicated to groundwater flows solving the Richards' equation. arXiv preprint ar- Xiv:1510.01364, 2015.

OpenFOAM (2021), The OpenFOAM foundation, <https://openfoam.org/>.

Salome (2021), Salome – The open source integration platform for numerical simulation, <https://www.salome-platform.org/>

Klein, N. (2019) "Offenporiger Beton". *Lärmarme Straßenoberflächen, Spezialbetone*. Technische Universität München.

Costa, I. et al. (2020). "Sensitivity of hydrodynamic parameters in the simulation of water transfer processes in a permeable pavement". *RBRH*, 25, e47.

Hatanaka, S., Kamalova, Z. y Harada, M. (2019). "Construction of a nonlinear permeability model of pervious concrete and drainage simulation of heavy rain in a residential area", *Results in Materials*, 3, 100033.

Lomeland, F. y Orec, A. (2018) "Overview of the LET family of versatile correlations for flow functions". *Actas Symposium of the Society of Core Analysts, Trondheim, Noruega, 27 al 30 de agosto*.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado en el marco del PID UTN 8132, directora: L. Battaglia.

# TENSIONES CRITICAS PARA MADERA LAMINADA ENCOLADA DE ÁLAMO SOMETIDA A COMPRESIÓN CENTRADA

## Critical stresses for Poplar glued laminated timber subjected center compression

LIA MEYER

UTN Facultad Regional Venado Tuerto

[lmeyer@frvt.utn.edu.ar](mailto:lmeyer@frvt.utn.edu.ar)

### RESUMEN

La norma IRAM 9662-4 (2015) presenta un método de clasificación visual y los valores característicos para la madera de *Populus deltoides* y la IRAM 9660-1 (2015) los procesos de fabricación y control para vigas laminadas encoladas. El reglamento INTI-CIRSOC 601(2016), también publica valores de diseño de referencia para este material y dispone criterios de cálculo para elementos comprimidos a través del factor de estabilidad del miembro comprimido ( $C_p$ ). En este trabajo se determinaron las tensiones críticas para elementos sometidos a compresión en un rango de esbeltez entre 30 y 100. Se determina el módulo de elasticidad mínimo mediante ensayos a flexión sobre 160 piezas según norma IRAM 9663 (2013) y se compara con el publicado por el INTI-CIRSOC 601 (2016). El módulo de elasticidad mínimo experimental resultan ser un 75% superior al publicado en el INTI-CIRSOC 601 (2016). Las tensiones críticas confirman la influencia del módulo de elasticidad mínimo, incrementándose para piezas más esbeltas.

**PALABRAS CLAVE:** madera laminada encolada, compresión, pandeo, álamo

### ABSTRACT

The IRAM 9662-4 (2015) standard presents a visual classification method and the characteristic values for *Populus deltoides* timber and IRAM 9660-1 (2015) the manufacturing and control processes for glued laminated beams. The INTI-CIRSOC 601 (2016) regulation also publishes reference design values for this material and provides calculation criteria for compressed elements through the stability factor of the compressed member ( $C_p$ ). In this work, the critical stresses for elements subjected to compression in a slenderness range between 30 and 100 were determined. The minimum modulus of elasticity is determined by flexural tests on 160 pieces according to IRAM 9663 (2013) and compared with that published by INTI-CIRSOC 601 (2016). The experimental minimum modulus of elasticity turns out to be 75% higher than that published in INTI-CIRSOC 601 (2016). The critical stresses confirm the influence of the minimum modulus of elasticity, increasing for more slender pieces.

**KEYWORDS:** glued laminated timber, compression, buckling, poplar

### 1.-INTRODUCCIÓN

La madera laminada encolada se compone de láminas de tablas aserradas, de una misma especie, unidas a través de uniones dentadas (finger-joint) en su longitud y pegadas entre sus caras por un adhesivo, constituyendo una pieza estructural que presenta como ventajas la posibilidad de cubrir grandes luces, distintas formas, escuadrías mayores y alternativas durables para condiciones ambientes diferentes que en la madera aserrada.

En el año 2015, con la actualización de la normativa IRAM 9662-4 y 9660-1, se incorpora la clasificación visual de las tablas de *Populus deltoides* clones 'Australiano 129/60' y 'Stoneville 67' provenientes del delta del río Paraná, con destino a la elaboración de vigas laminadas

encoladas, por resistencia y los requisitos de fabricación. Esta especie se destaca por su potencial para el uso estructural, su origen en bosques implantados y el rápido crecimiento. En la problemática del diseño de estructuras para la inestabilidad del equilibrio, se presentan diferentes mecanismos de rotura para piezas esbeltas comprimidas. En el reglamento INTI-CIRSOC 601 (2016) este comportamiento se evalúa a través de un factor de estabilidad lateral de la barra del miembro comprimido (CP), que está en función del módulo de elasticidad y la tensión crítica en compresión.

El objetivo es determinar las tensiones críticas según los módulos de elasticidad experimentales mínimos a los efectos de diseñar la segunda etapa del proyecto que consiste en realizar los ensayos a compresión de las barras. Además, se comparará el comportamiento de barras comprimidas con los resultados experimentales y con los valores publicados por el INTI-CIRSOC (2016).

## 2.- METODOLOGIA Y DESARROLLO

### 2.1- MATERIAL

La madera utilizada para el trabajo experimental es de *Populus deltoides* clones 'Australiano 129/30' y 'Stoneville 67' proveniente de bosques implantados del Delta del río Paraná. Se fabricaron 160 piezas de 2440 mm de longitud, de las cuales se cortaron y confeccionaron 320 probetas destinadas para los ensayos de compresión. Las piezas fueron construidas de acuerdo a las prescripciones de las IRAM 9660-1 y 9662-4 y se ejecutaron con tablas de grado de resistencia 1. Las probetas presentan una sección transversal de 60 mm x 90 mm, la longitud efectiva de acuerdo al rango de esbeltez de 30 a 100 y condición de apoyo biarticulada, con las dimensiones indicadas en la Tabla 1.

$\lambda$	le mm	a mm	b mm
30	520	60	90
40	693	60	90
50	866	60	90
60	1039	60	90
70	1212	60	90
80	1386	60	90
90	1559	60	90
100	1732	60	90

$\lambda$ : Esbeltez; Le: Longitud efectiva; a: Altura de la sección transversal;  
b: Ancho de la sección transversal;

**TABLA 1:** Dimensiones de probetas

### 2.2- ENSAYO A FLEXIÓN

Para determinar el módulo de elasticidad global se ensayaron a flexión un total de 160 piezas en el plano de menor inercia debido a que la inestabilidad del equilibrio se presenta sobre este eje. Los ensayos se llevaron a cabo conforme a las prescripciones de la IRAM 9663 (2013), en el laboratorio del Grupo de Investigación y Desarrollo de Estructuras Civiles de la Facultad Regional Venado Tuerto. Las dimensiones de las piezas ensayadas se indican en la Tabla 2.

Clon	Le mm	a mm	b mm	n
A	1080	90	60	80
S	1080	90	60	80

A: 'Australiano 129/60'; S: 'Stoneville 67'; Le: Longitud efectiva; a: Altura de la sección transversal; b: Ancho de la sección transversal; n: número de piezas

**TABLA 2:** Elementos de pruebas a flexión

Con los valores obtenidos del ensayo a flexión, según las cargas y deformaciones, se calcula el módulo de elasticidad global según la Ecuación 1.

$$E_{m,g} = \frac{3 a l^2 - 4 a^3}{2 b h^3 \left( \frac{w_2 - w_1}{P_2 - P_1} \right)} \quad (1)$$

$E_{m,g}$ : Módulo de elasticidad global en N/mm<sup>2</sup>

a : Distancia entre puntos de carga y apoyo más próximo, en mm.

l : Longitud de flexión entre apoyos, en mm.

b: Anchura de la sección, en mm.

h: Altura de la sección, en mm.

P<sub>2</sub>- P<sub>1</sub>: Incremento de carga en la recta de regresión con un coeficiente de correlación superior a 0,99 con las deformaciones, en N.

W<sub>2</sub>-W<sub>1</sub>: Incremento de deformación correspondiente a P<sub>2</sub>-P<sub>1</sub>, en mm.

## 2.2-TENSIONES CRITICAS SEGÚN INTI-CIRSOC 601(2016)

Para elementos comprimidos el Reglamento de Estructuras de maderas (INTI-CIRSOC 601, 2016), define que la tensión crítica ( $F'_{c;C601}$ ), se obtiene multiplicando, la tensión de diseño de referencia ( $F_c$ ), por todos los factores de ajuste,  $C_D$ ,  $C_M$ ,  $C_t$  y  $C_P$ .

$$F'_{c;C601} = F_c \times C_D \times C_M \times C_t \times C_P \quad (2)$$

$F_c$  : Suplemento 2: Valores de diseño MLEE – Tabla S2.1-1 – Grado resistente 1

$C_D$  : Factor de duración de la carga, Tabla 4.3-2

$C_M$  : Factor de condición de servicio, Tabla 5.3-2

$C_t$  : Factor de temperatura, Tabla 5.3-3

$C_P$ : Factor de estabilidad del miembro comprimido, Artículo 3.3

El valor de  $C_P$ , cuyo valor es igual o menor que 1, se determina con la siguiente expresión:

$$C_P = \frac{1+(F_{cE}/F_c^*)}{2c} - \sqrt{\left[ \frac{1+(F_{cE}/F_c^*)}{2c} \right]^2 - \frac{F_{cE}/F_c^*}{c}} \quad (3)$$

Donde:

$$F_{cE} = \frac{0,822 \cdot E_{min}}{\left( \frac{L_e}{d} \right)^2} \quad (4)$$

$F_{cE}$ : representa la tensión crítica en miembros comprimidos, N/mm<sup>2</sup>.

$$F_c^* = F_c \times C_D \times C_M \times C_t \quad (5)$$

$F_c^*$ : tensión de diseño en compresión paralela a las fibras de referencia multiplicada por todos los factores aplicables, menos  $C_P$ , N/mm<sup>2</sup>.

$L_e$ : longitud efectiva de pandeo, que depende de las condiciones de apoyo y la configuración de carga, en este caso de un miembro biarticulado, mm.

$d$ : ancho de la sección transversal en la dirección perpendicular al eje baricéntrico respecto del cual se produce pandeo, mm.

$c$ : coeficiente cuyo valor es 0,8 para miembros de madera aserrada, 0,85 para miembros estructurales de sección circular y 0,90 para madera laminada encolada estructural;

$E_{min}$ : módulo de elasticidad mínimo, N/mm<sup>2</sup>.

### 3.-RESULTADOS

#### 3.1- MODULO DE ELASTICIDAD

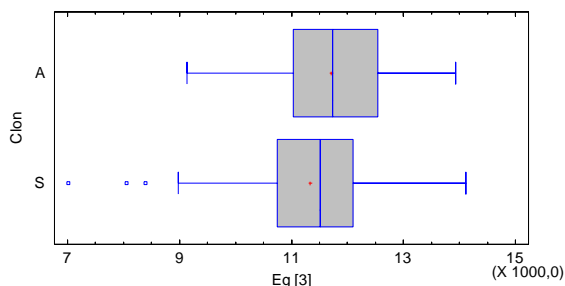
Para los valores del módulo de elasticidad global se presentan en la Tabla 3.

Clon	n	Le mm	E <sub>min</sub> N/mm <sup>2</sup>	E <sub>máx</sub> N/mm <sup>2</sup>	COV
A	20	1212	9138	13458	11,4
	20	1386	10311	12436	5,7
	20	1559	9338	13894	11,5
	20	1732	9211	13931	9,5
	80		9138	13931	9,8
S	20	1212	9218	12847	7
	20	1386	7018	13043	12,7
	20	1559	8056	12937	10,3
	20	1732	8388	14120	11,4
	80		7018	14120	10,5
Ambos	160		7018	14120	10,3

A: 'Australiano 129/60'; S: 'Stoneville 67'; n: Número de piezas; Le: Longitud efectiva; E<sub>min</sub>: Módulo de elasticidad mínimo; E<sub>máx</sub>: Módulo de elasticidad máximo; COV: Coeficiente de variación

**TABLA 3:** Valores experimentales del módulo de elasticidad global

La norma IRAM 9662-4 (2015) especifica que las diferencias entre sus propiedades no son significativas, entonces no hace ninguna distinción entre los clones. En la FIGURA 1, se observa que las poblaciones son similares, por lo tanto, se podrían implementar los mismos módulos de elasticidad para ambos clones.



A: 'Australiano 129/60'; S: 'Stoneville 67'; Eg: Modulo elasticidad global experimental

**FIGURA 1:** Módulo de elasticidad experimental por clon

#### 3.2-TENSIONES CRITICAS PARA PANDEO

Se adoptan los valores para distintos factores que intervienen en las Ecuaciones (2) y (3):

Le = en mm; Tabla 1

d= 60mm;

c= 0,9 para madera laminada encolada estructural;

E<sub>min,E</sub>= 7018 N/mm<sup>2</sup>; módulo de elasticidad mínimo experimental

E<sub>min,C601</sub>= 4000 N/mm<sup>2</sup>; módulo de elasticidad mínimo INTI-CIRSOC 601 (2016)

Fc\* = 6,3 (N/mm<sup>2</sup>) x CD x CM x Ct x γ;

γ =2; Coeficiente de seguridad

CD = 1,6; Para una duración de carga de 10 minutos.

CM =1; Condición de servicio referido al contenido de humedad en estado seco.

$C_t = 1$ ; Factor de temperatura para miembros estructurales expuestos a temperaturas menores o iguales a 40 °C,  
 $F_c^* = 20,16 \text{ N/mm}^2$ .

En la tabla 4, se presentan los valores de las tensiones críticas para los módulos de elasticidad mínimo experimental y el publicados por el INTI-CIRSOC (2016), en el rango de esbelteces de 30 a 100.

	$\lambda$							
	30	40	50	60	70	80	90	100
Le	520	693	866	1039	1212	1386	1559	1732
$F_{c,min;Exp}$	19,5	18,73	17,29	14,95	12,24	9,87	8,02	6,6
$F_{c,min;C601}$	18,76	16,68	13,25	9,98	7,59	5,92	4,73	3,85
$F_{c,E}/F_{c;C601}$	1,04	1,12	1,30	1,50	1,61	1,67	1,70	1,71

$\lambda$ : Esbeltez; Le: Longitud efectiva;  $F_{c,min;Exp}$ : Tensión crítica con módulo de elasticidad mínimo Experimental;  
 $F_{c,min;C601}$ : Tensión crítica con módulo de elasticidad mínimo publicado en INTI-CIRSOC 601

**TABLA 4:** Valores de tensiones críticas N/mm<sup>2</sup>

Los resultados presentan  $\lambda=30$  una diferencia del 4% pasando a 71% para  $\lambda=100$ , lo que indica que a medida que se incrementa la esbeltez mayor es la influencia del módulo elasticidad mínimo sobre las tensiones críticas.

## CONCLUSIONES

El módulo de elasticidad mínimo experimental para ambos clones resulta  $E_{min}=7018 \text{ N/mm}^2$ , es superior en un 75% con respecto al propuesto en el suplemento del INTI-CIRSOC 601 para madera laminada encolada de *Populus deltoides*. Como era de esperarse la incidencia del módulo de elasticidad sobre las tensiones críticas es mayor en las piezas más esbeltas.

Las tensiones críticas determinadas se compararán en la siguiente etapa del proyecto con los resultados de los ensayos a compresión.

## REFERENCIAS

IRAM 9662/4 (2015) Madera laminada encolada estructural, Clasificación visual de las tablas por resistencia. Parte 4: Tablas de álamo 'Australiano 129/60' y 'Stoneville 67' (*Populus deltoides*). Instituto Argentino de Racionalización de Materiales, Buenos Aires.

IRAM 9660/1 (2015) Madera laminada encolada estructural, Parte 1: Clases de resistencia y requisitos de fabricación y control. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales, Buenos Aires.

INTI CIRSOC (2016) Reglamento Argentino de Estructuras de Madera. Disposiciones generales y requisitos para el diseño y la construcción de estructuras de madera en edificaciones. Buenos Aires, Argentina

IRAM 9663 (2013) Estructuras de madera. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de las propiedades físicas y mecánicas. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales, Buenos Aires

## **Sistema de información geográfica de aptitud de suelos para su uso en la construcción con tierra, en la región del sur de Santa Fe y sur de Córdoba**

### **Geographical information system of soil suitability for use in earth construction in the southern región of Santa Fe and Cordoba**

#### **Autores**

**Malena Becerra** – UTN FRVT – [mbecerra181@gmail.com](mailto:mbecerra181@gmail.com)

**Andrés Rottet**– UTN FRVT – [rottetandres@gmail.com](mailto:rottetandres@gmail.com)

#### **Resumen**

Este proyecto iniciado en 2021 generará mediante un SIG (Sistema de Información Geográfica) un mapa con las características de los suelos según sus coordenadas en la región del sur de la provincia de Santa Fe y el sudeste de la provincia de Córdoba. Esto minimizará las dudas respecto de si nuestro suelo sirve o no para las diferentes técnicas constructivas; además de brindar información respecto a parámetros tecnológicos como ser si necesita agregado de aditivos estabilizantes, por ejemplo, el cemento, o de agregados granulares, por ejemplo, arena. El plan de trabajo previsto podrá también contrastar la información obtenida del suelo visto como material de construcción, con la existente en la bibliografía específica del suelo visto como soporte para la agricultura. Esta correlación podría permitirnos extrapolar estos datos a otras regiones del país utilizando datos secundarios y un algoritmo de correlación.

**Palabras clave:** suelos, Sistema de Información Geográfica, construcción con tierra

#### **Abstract**

This project started in 2021 will generate a map with the characteristics of the soils according to their coordinates in the southern region of the province of Santa Fe and the southeast of the province of Córdoba, through a GIS (Geographical Information System). This will minimize doubts as to whether or not our soil is suitable for the different construction techniques; in addition to providing information regarding technological parameters such as whether you need the addition of stabilizing additives, for example, cement, or granular aggregates, for example, sand. The planned work plan may also contrast the information obtained from the soil seen as a construction material, with that existing in the specific bibliography of the soil seen as a support for agriculture. This correlation could allow us to extrapolate this data to other regions of the country using secondary data and a correlation algorithm.

**Keywords:** soils, Geographic Information System, earth construction

#### **Introducción**

Las tecnologías de construcción con tierra si bien son las más ancestrales de la humanidad, han sufrido un período de olvido y negación en favor de otros materiales más nuevos y menos probados. En la actualidad y debido entre otras cosas al aumento descontrolado del uso de la energía disponible es que se está rescatando y actualizando la utilización de materiales naturales para su uso en el mejoramiento del hábitat humano.

Muchas técnicas poco utilizadas y olvidadas en favor de materiales más publicitados, ven en estos momentos la posibilidad de su renovación con la incorporación de conocimientos

tecnológicamente más desarrollados y con equipos y laboratorios que permiten una más rápida y eficaz determinación de sus propiedades.

Es así que instituciones y laboratorios líderes en el desarrollo de la construcción con tierra como ser Craterre, de la Universidad de Grenoble en Francia viene en los últimos años prestando especial atención al uso de la tierra como material de construcción; en base a los informes de esta y otras instituciones es que se reconoce a este tipo de investigaciones como de vanguardia en el ámbito académico. La UTN Venado Tuerto desde el año 2012 viene desarrollando e investigando el uso de la tierra en la construcción y su aplicación mediante diferentes técnicas.

Si bien hay disponible bibliografía e información en la WEB, esta es genérica y requiere en algunos casos de conocimientos específicos o bien el acceso a algunos ensayos de laboratorio. Hoy muy poca información relativa a mapeos específicos que brinden un dato ya previamente analizado y que pueda ser utilizado con confianza realizando mínimas verificaciones en terreno. Por otra parte, el Laboratorio de Teledetección de la UTN FRVT viene trabajando en el armado de mapas en formato GIS, con datos relacionados a las cuencas hídricas, que servirán de apoyo para la confección de un nuevo mapa con los datos del presente trabajo.

Se cuenta con información previa publicada por el INTA donde se muestran los diferentes suelos que podemos encontrar en el país y su distribución. Estos datos, a pesar de estar abordados desde un punto de vista edafológico, sirven como puntos de comparación para los resultados obtenidos ya que en las cartas de suelo podemos encontrar información detallada de relevancia para el presente proyecto.

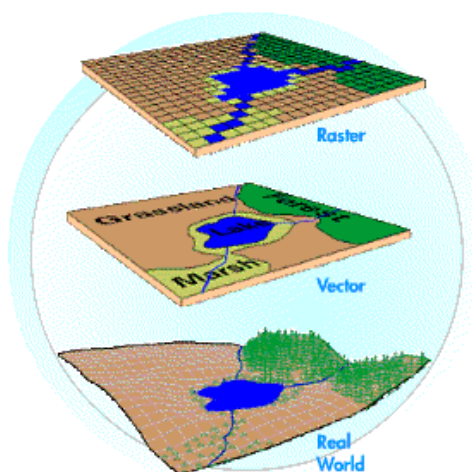


Fig.1 – Sistema de información geográfica

## Desarrollo

Dentro de los trabajos de laboratorio, se realizan en nuestra Regional diversos estudios solicitados por terceros como son los estudios geotécnicos de capacidad portante del suelo. Para ello se realizan perforaciones y obtención de muestras de los distintos estratos, que van desde 1 metro a 25 metros de profundidad. Con el correr del tiempo

se ha generado una base de datos sobre las características de los suelos de la región, habiéndose obtenido los datos necesarios para la ejecución de los estudios solicitados. Dichos datos obtenidos junto a los estudios a realizarse en el futuro, amplían el conocimiento de los suelos de la región, permitiendo a partir de ahora, orientar la búsqueda y selección de datos a las necesidades del presente proyecto. Se deberá sumar a ésta información, datos nuevos de toma de muestras en los lugares que no hayan sido testeados y eventualmente sumar datos que no hayan sido obtenidos en ensayos anteriores.

El Laboratorio de suelos de nuestra Facultad Regional posee los equipos y la experiencia necesaria para realizar los ensayos de clasificación de suelos bajo las diferentes normas y la toma



de muestra de los mismos. Los ensayos más relevantes son: Tamizado; Tamizado por vía húmeda; Límites de Atterberg; Sedimentometría.

Por otra parte, se cuenta con un detallado análisis de los suelos existentes en la región de parte de organismos relacionados al Agro, como el INTA y las diferentes Universidades de Agronomía de esta región. Por supuesto que éstos datos están enmarcados en el uso del suelo para la explotación agrícola, pero podremos correlacionarlos con las necesidades del presente trabajo.

#### **-Objetivo general**

Crear un mapa mediante tecnología GIS con los diferentes suelos de la región del sur de Santa Fe y Córdoba, centrándose en su aptitud para la construcción con tierra

#### **-Objetivos específicos:**

Verificar con los datos disponibles la aptitud de los suelos de la región para diferentes técnicas de construcción con tierra.

Realizar corroboraciones en laboratorio de las características tecnológicas adecuadas para su utilización en función de su resistencia y aptitud térmica.

Correlacionar los datos agronómicos existentes sobre los suelos de la región con los obtenidos en este trabajo, de manera de proponer una extrapolación a diferentes regiones de nuestro país con estos datos existentes.

Se trabajará con datos primarios y secundarios, realizando análisis que brinden seguridades al momento de recomendar el uso de técnicas de construcción con tierra. Es importante realizar una buena correlación entre estos datos para verificar la posibilidad de extrapolar el algoritmo de vinculación y poder utilizar la información existente en toda la Argentina, o bien proponer un mecanismo de análisis que con mínimo esfuerzo pueda generar resultados similares a los de la región estudiada para volcarlas al soporte SIG.

Para ello se propone la siguiente serie de actividades:

- Estudiar la bibliografía existente sobre los tipos de suelos para reconocer la correlación entre los datos secundarios agronómicos y los buscados en este trabajo. Revisar las cartas de suelos desarrolladas por la Agencia Regional de INTA y los datos recabados por otras entidades para tener una idea cabal de los suelos de esta región.
- Comparar los datos presentes en dicha bibliografía con los obtenidos por el Laboratorio de Suelos en los sondeos realizados e identificar las relaciones existentes entre ellos.
- Evaluar y estudiar los trabajos realizados por el Laboratorio de Teledetección en la región a estudiar para la obtención de datos y la generación mapas.
- Mediante un SIG (Sistema de Información Geográfica) generar un proceso que permita la identificación, el mapeo y la cuantificación de los tipos de uso de la tierra aplicando diversos algoritmos. Generar un mapa de uso de la tierra es una de las variables fundamentales en un diagnóstico de sitio, ya sea para una línea base, estudio multitemporal, desarrollo de proyecto de ingeniería con las características de los suelos según su ubicación y profundidad.
- Mantener reuniones interdisciplinarias entre los Laboratorios de la Facultad Regional y la Agencia de INTA para generar un intercambio de información y recursos humanos para este y para posteriores trabajos en conjunto.

Realizar tomas de muestras in situ para ser estudiadas y ensayadas en laboratorio en los puntos donde no tengamos datos o donde haya variabilidad en la información recabada. Las actividades propuestas son:

- Clasificación del suelo estudiado, mediante la clasificación normalizada HRB de suelos finos, obteniendo el Límite líquido, límite plástico y tamizado vía húmeda para clasificar las muestras obtenidas
- Análisis de las muestras para determinar su aptitud para ser usado como material de construcción, mediante la elaboración de diferentes probetas y su posterior ensayo de compresión, tracción, chorro de agua y retracción.

- Estudio de la necesidad del agregado de aditivos estabilizantes a los suelos estudiados mediante la elaboración de probetas a ser ensayadas.

### **Conclusiones**

El proyecto reunirá al recurso humano perteneciente al Laboratorio de Suelos y al Laboratorio de Teledetección de la Facultad Regional, sumando en este caso al Agencia Regional del INTA, generando un positivo intercambio tanto de datos como de recursos. En este sentido, podremos contar con la participación y asesoramiento de investigadores relacionados con la creación y gestión de mapas GIS y con todo el bagaje de experimental y de laboratorio con que cuenta la Regional de INTA.

Este trabajo permitirá un avance en las investigaciones potenciado por el uso racional de los recursos humanos y materiales con que se dispone y con el que se dispondrá específicamente para el proyecto.

El rescate de un antiguo material de construcción adecuándolo a nuestra realidad y nuestra región con técnicas científicas actuales y novedosas será un avance importante desde el conocimiento de otras maneras de construir y solucionar el déficit habitacional.

Se pretende estudiar un material que sirva para la construcción de vivienda de todas las clases sociales ya que no es solo el costo lo que entra en juego para la elección del mismo sino sus otras características relacionadas con el confort habitacional y la sustentabilidad ambiental.

### **Bibliografía**

Panigatti, J.L.(2010). *“Argentina 200 años, 200 suelos”*. Ed. INTA Buenos Aires. 345 pp.

Estudios para la Implementación de la Reforma Impositiva Agropecuaria. Proyecto PNUD. Arg. 85/019. Área Edafológica. (1986). *“Aptitud y Uso Actual de las Tierras Argentinas”* (Primer Premio Nacional en Geografía 1988-91);

Proyecto PNUD Arg. 85/109; (Coordinador General y Coautor de cinco provincias)(1990) *“Atlas de Suelos de la República Argentina”* escala 1:500.000 y 1:1.000.000.. (Primer Premio Nacional en Ciencias y Técnicas Agropecuarias, 1988-91);

Rubio, Gerardo et al. (2019), *“Los suelos de Argentina”*, Ed. Springer Internacional Publishing)

# Revisión sobre ensayo de carbonatación acelerada

## Accelerated carbonation test review

### Javier Schmidt

Centro de Investigación y Desarrollo para la Construcción y la Vivienda (CECOVI), Facultad Regional Santa Fe, UTN (Lavaïsse 610, Santa Fe).  
jschmidt@frsf.utn.edu.ar

### Francisco Ulibarrie

Centro de Investigación y Desarrollo para la Construcción y la Vivienda (CECOVI), Facultad Regional Santa Fe, UTN (Lavaïsse 610, Santa Fe).  
fulibarrie@frsf.utn.edu.ar

### Sebastián Vanney

Centro de Investigación y Desarrollo para la Construcción y la Vivienda (CECOVI), Facultad Regional Santa Fe, UTN (Lavaïsse 610, Santa Fe).  
svanney@frsf.utn.edu.ar

### Resumen

La carbonatación en el hormigón es un proceso que se manifiesta de forma natural en el ambiente. Se da cuando el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) presente en el aire ingresa al hormigón y se combina con el hidróxido de calcio  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Este proceso se manifiesta generalmente de manera homogénea mediante lo que se conoce como “frente de carbonatación. En hormigones armados, cuando dicho frente llega al hormigón que cubre la armadura, se rompe la protección del acero dejándolo expuesto a la corrosión.

Debido a la lentitud de este proceso en el ambiente natural, los investigadores han buscado la forma de representarlo en el laboratorio para poder acelerar el fenómeno.

El objetivo de este trabajo es analizar el proceso de carbonatación además de los distintos métodos que llevan a la determinación del frente de carbonatación y como se puede obtener probetas carbonatadas mediante la carbonatación acelerada.

**Palabras Claves:** Carbonatación; Carbonatación Acelerada; Cámara; Hormigón.

### Abstract

Carbonation in concret is a process that occurs naturally in the environment. It occurs when the carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ) present in the air enters the concrete and combines with the calcium hydroxide  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . This process is generally manifested in a homogeneous way through what is known as the “carbonation front”. In reinforced concrete, when said front reaches the concrete covering the reinforcement, the protection of the steel is broken, leaving it exposed to corrosion.

Due to the slowness of this in the natural environment, researchers have looked for a way to represent it in the laboratory to accelerate the phenomenon.

The objective of this work is to analyze the carbonation process in addition to the different methods that lead to the determination of the carbonation front and how it is possible to obtain carbonated specimens through accelerated carbonation.

**Keywords:** Carbonation, Accelerated Carbonation, Chamber, Concrete.

## 1. Introducción

La carbonatación es un fenómeno natural que ocurre en estructuras de hormigón. En el hormigón que no contiene acero de refuerzo se trata de un proceso de pocas consecuencias (Chavéz-Ulloa et al, 2013:4). Sin embargo, cuando se trata de hormigón armado la carbonatación juega un papel determinante.

Este proceso se da cuando el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) que existe en el ambiente penetra en el interior del hormigón mediante poros o fisuras y se combina con el hidróxido de calcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) formando carbonato de

calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) (Chavéz-Ulloa et al, 2013:4) (Campos et al, 2016:2-3),( García, 2011:5), (Alés – Flores et al, 2020:3), (Merah et al, 2017:2)

Una de las consecuencias de este proceso es la disminución del pH del hormigón de valores mayores a 12.5 (valores comunes en hormigones sanos o recientemente elaborados) a valores cercanos a 8 en zonas completamente carbonatadas (Chavéz-Ulloa et al, 2013:4), (Campos et al, 2016:2-3). Al bajar la alcalinidad del hormigón, la capa pasiva que recubre y protege a la armadura se rompe, quedando expuesta a los agentes que producen la corrosión (Campos et al, 2016:2-3).

La carbonatación se manifiesta de manera natural, es decir, ocurre cuando el hormigón está a condiciones de ambiente. Los procesos de carbonatación natural son generalmente muy lentos de forma que en determinados hormigones muy densos los efectos de este fenómeno pueden no aparecer hasta pasados varios años desde su puesta en servicio (Ocampo et la, 2010:2-3), (Chavéz-Ulloa et al, 2013:4).

La lentitud del proceso ha llevado a algunos investigadores a realizar estudios acelerados utilizando porcentajes de  $\text{CO}_2$  mayores que el atmosférico para intentar predecir su comportamiento a largo plazo y de esta manera obtener información rápida y segura sobre este fenómeno (Ocampo et la, 2010:2-3), (Chavéz-Ulloa et al, 2013:4), (Merah et al, 2017:3).

La finalidad de establecer una cámara de carbonatación acelerada es obtener información anticipada que aproximará los datos que se obtuviera en el sitio de exposición del medio ambiente natural, controlando en este caso las variables ambientales que mayor efecto puedan tener en este proceso como son la temperatura, humedad relativa y concentración de  $\text{CO}_2$  (Chavéz-Ulloa et al, 2013: 4).

## 2. Desarrollo

### 2.1. Medición de la profundidad de carbonatación

La mayoría de las ecuaciones que describen el progreso de la carbonatación del concreto como función del tiempo, están basadas en la primera ley de Fick.

$$x_c = k * t^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

Donde  $x_c$  = profundidad de carbonatación, t = tiempo y k = coeficiente de carbonatación, siendo:

$$k = \left[ \frac{2 * D * C_s}{M} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

Donde D = coef. de difusión efectiva del  $\text{CO}_2$ ,  $C_s$  = concent. de  $\text{CO}_2$  sobre la superficie externa del  $\text{H}^\circ$  y  $M = N^\circ$  de moles de  $\text{CO}_2$  necesarios para carbonatar un volumen unitario de  $\text{H}^\circ$ . (Galán García, 2011:15-16).

Para medir la profundidad de carbonatación, la mayoría de los autores consultados coinciden en la utilización de la técnica de la fenolftaleína. La misma consiste en aplicar una solución de reactivo al 1% en alcohol a una tajada de la probeta. De esta manera, la zona de la probeta coloreada indicará alcalinidad, y, la zona incolora, reflejará el avance de la carbonatación.

### 2.2. Discusión entre resultados con carbonatación natural y carbonatación acelerada

El modelo matemático basado en la ley de Fick, para describir el progreso de la carbonatación evaluada en laboratorio, ha sido comparado numerosas veces por distintos autores con mediciones experimentales, demostrando así su validez aún a altas concentraciones. A pesar de esto, sigue existiendo cierta desconfianza en el método acelerado debido a que la correlación entre dichos ensayos y la carbonatación en condiciones naturales o normales de laboratorio no está del todo clara, ya que los mecanismos de reacción parecen variar según la concentración de  $\text{CO}_2$  utilizada.

En general, se acepta que a concentraciones por debajo del 3-4% de CO<sub>2</sub> el proceso es similar al que ocurre al carbonatar en el aire o en ambientes naturales. Existen algunos estudios que describen la correspondencia en las profundidades de carbonatación en ensayos naturales y acelerados con bajas concentraciones de CO<sub>2</sub>. Ho et al en 1987 comprobaron que la profundidad de carbonatación de probetas carbonatadas al 4% durante una semana era similar a la de probetas carbonatadas en ambiente de laboratorio a lo largo de un año. En 2003 Sanjuan et al concluyeron que realizar ensayos de 7-15 días de carbonatación al 4-5% de CO<sub>2</sub> es un procedimiento adecuado para calcular velocidades de carbonatación, ya que se obtiene aproximadamente la misma profundidad que al cabo de un año al natural.

### **2.3. Frente de carbonatación no homogéneo**

Respecto de la medición del frente de carbonatación, la mayoría de los autores no especifica un procedimiento en el caso de obtener un posible frente carbonatado no homogéneo.

Sin embargo, algunos de ellos plantean la necesidad de realizar más de una medición por superficie carbonatada de tal forma de poder calcular un promedio con los resultados obtenidos para encontrar un valor de profundidad de carbonatación. De esta manera, Moreno y de Freitas Salomão realizan un promedio entre 2 valores, el de mayor y el de menor penetración, mientras que Sakr lo calcula con 8 valores, Kong y Linares con 10 y Campos Silva con 12, teniendo en cuenta éste último las profundidades de carbonatación de todas las caras de la probeta analizada (Moreno et al, 2004: 7), (de Freitas Salomão, 2008:8), (Sakr et al, 2020:3), (Kong et al, 2019:3), (Linares et al, 2003:5-9), (Campos Silva et al, 2016:8). Por otro lado, Rebolledo basándose en la Norma UNE 83993-1:2009 establece que, para cada superficie analizada, se deben tomar un número de medidas suficiente para tener una amplia estadística, para poder luego promediar los valores de cada superficie y calcular las desviaciones estándar de cada promedio. (Rebolledo, 2015), (Norma Española UNE 83993-1:2009).

Cabe mencionar que los autores González y Galán García plantean un enfoque distinto en cuanto a la homogeneidad o no del frente carbonatado, identificando 3 zonas diferenciadas mediante la medición del pH: carbonatada, parcialmente carbonatada y no carbonatada (González et al, 2011:7), (Galán García, 2011:21).

### **2.4. Cámaras de Carbonatación Acelerada.**

La mayoría de los trabajos consultados coincidieron en el uso de cámaras de fabricación propia, teniendo en cuenta o no Normas Específicas. En este sentido, varios de los autores consultados construyeron la suya utilizando materiales similares. Ocampo y Moreno coincidieron en fabricar las paredes de vidrio, mientras que Linares utilizó láminas de plexiglás y de Freitas Salomão de acrílico. Para la base y la tapa, Ocampo utilizó acero, Moreno acrílico y Linares láminas de plexiglás. El armazón de la cámara fue construido de acero inoxidable en el caso de Ocampo y Linares. Por último, Moreno colocó cinta selladora en las uniones y Linares y de Freitas Salomão utilizaron tornillos y pegamento acrílico. Rebolledo construyó una cámara utilizando metacrilato en paredes, base y tapa (Ocampo et al, 2010:6-7), (Moreno et al, 2004: 3-5), (Linares et al, 2003:5-9), (de Freitas Salomão, 2008:4), (Rebolledo, 2015).

Para medir y controlar la cantidad de CO<sub>2</sub> y de aire incorporado a la cámara, Moreno y Linares coincidieron en la utilización de medidores de flujo de distintas capacidades que controlen dichos volúmenes (Moreno et al, 2004: 3-5), (Linares et al, 2003:5-9). Por otro lado, Ocampo se sirvió de rotámetros para medir los flujos de las corrientes gaseosas, mientras que de Freitas Salomão utilizó reguladores de presión y un manovacuómetro. Chávez-Ulloa y Rebolledo utilizaron sensores, como por ejemplo del tipo Teleaire (Modelo 7001) (Ocampo et al, 2010:6-7), (de Freitas Salomão, 2008:4), (Chávez-Ulloa et al, 2013:3), (Rebolledo, 2015).

Algunos de los autores consultados especificaron el hecho de que las probetas colocadas dentro de la cámara deben tener una separación tal que permita la libre circulación del flujo del gas por todas las superficies de estas (Ocampo et al, 2010:6-7), (Linares et al, 2003:5-9), (Merah et al, 2017:4-8). Asimismo, la mayoría de los autores consultados coincidieron en la utilización de probetas cilíndricas con alturas comprendidas entre 10 y 20 [cm] con diámetros iguales a la mitad de estos valores.

En la Tabla N°1 se presenta un resumen con las características y condiciones de las cámaras de carbonatación acelerada utilizadas en los trabajos analizados.

AUTORES	DIMENS. DE LA CÁMARA		CONDIC. DE ACLIMAT.	TIEMPO DE EXP. EN CÁMARA	CONDICIONES		CONCENT. DEL GAS CO <sub>2</sub> (g)
	Largo-Ancho-Alto				HUM.	TEMP.	
	[cm]						
Ocampo et al	120*60*60		Lab - 100 días	100	65	27	4% M
Moreno et al	122*32*45		Lab - 80 días	14, 35, 49 y 121	60		4%
Linares et al	150*70*70		Lab - 200 días	100 y 200	70	27	4,167 Moles
de Freitas Salomão et al	100*60*65			7, 14 y 28	40	27	
Chávez-Ulloa et al	120*40*90			90, 180, 270 y 360	65-70, luego 90		0,03
Campos Silva et al	Comercial: Marca Fisher ISOTEMP 40369		Curado estandar, 28 días. Cámara ambiental 40°C, 1 día	3, 7, 14 y 28	60-70	30	3-4-5-6%
Merah et al	Comercial		Ambiente Húmedo H 95%, 28 días	7, 14 y 28	65	20	50% Aire - 50% CO <sub>2</sub>
Dang et al	Comercial		Ambiente hermético 20±2°C, 28 días	28	60±5	20±2	5+0,5%
Kong et al			H 95% - 20°C, 28 días	7 y 90	70±5	20±5	20±3%
Sakr et al				Múltiplos de 32 hasta 360	60±5	20±2	0,1
Rebolledo			Estufa 40°C - 7 días. Lab - 21 días	90	65±5	20±2	350±50 [ppm]

**Tabla N° 1: Cámaras de carbonatación acelerada utilizadas en los trabajos analizados.**

De la tabla anterior, cabe aclarar que todos los autores consultados expresan la concentración del gas CO<sub>2</sub> utilizado en distintas unidades, lo cual hace difícil una comparación en este aspecto. Asimismo, sólo dos de los trabajos consultados especificaron la presión de gases empleada (Sakr et al, 2020:3), (Linares et al, 2003:5-9).

### 3. Conclusiones

- El ensayo acelerado mediante cámara de carbonatación es una herramienta importante que permite aproximar en periodos cortos las condiciones del avance de la neutralización del concreto originados por el CO<sub>2</sub>, cuya medición ensayos naturales abarcaría tiempos prolongados.
- En su mayoría, las experiencias con ensayos de carbonatación acelerada de los trabajos analizados terminaron cumpliendo las predicciones iniciales de cada uno. Sin embargo, aún existen opiniones y experiencias que consideran lo contrario.
- Al no existir una metodología estandarizada para este tipo de ensayo, se vuelve complicado realizar comparaciones entre las diferentes experiencias analizadas.

### 4. Reconocimientos

Se agradece la colaboración en el desarrollo de actividades a la Lic. Anabela Guillarducci y a Dianela González. Especialmente agradecemos a la Universidad Tecnológica Nacional por su financiación, al CECOVI (FRSF- UTN) por brindar los medios tecnológicos para realizar nuestra propuesta.

## 5. Referencias

- Chávez-Ulloa, E., Pérez López, T., Reyes Trujeque, J., & Corvo Pérez, F. (2013). "Deterioro de estructuras de concreto por carbonatación en medio ambiente marino tropical y cámara de carbonatación acelerada". *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 36(2), 104-113
- Galán García, I. (2011). "Carbonatación del hormigón: combinación de CO<sub>2</sub> con las fases hidratadas del cemento y frente de cambio de Ph", Tesis Doctoral (Doctorado) Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Complutense de Madrid, Madrid, 202.
- Campos Silva, A. R., Fajardo, G., & Mendoza-Rangel, J. M. (2016). "Estudio del comportamiento del avance de la carbonatación del concreto reforzado en ambiente natural y acelerado".
- Flores – Alés, V., Rodríguez Romero, M., Romero – Hermidia, I. Esquivias, L. (2020). "Caracterización de morteros mixtos de cal obtenida del reciclado de fosfoyeso", *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 59, 3, 129 – 136.
- Merah, A., & Krobba, B. (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, 874-886.
- Ocampo, I., Vuanello, O., Ortúzar, R., Seminara, H., Paez, G., Ibarbe, I., y otros. (2010). "Estudio de la Carbonatación Acelerada en Probetas de Hormigón Armado". VI Congreso Internacional sobre Patología y Recuperación de Estructuras, Córdoba, Argentina, 2, 3 y 4 de junio 2010.
- 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 Revista Académica de la Facultad de Ingeniería Universidad Autónoma de Yucatán*, 8(2), 117-130.
- de Freitas Salomão, M., & da Silva, T. (2008). "Ensaio acelerado de carbonatação do concreto". VII Encontro Interno, XII Seminário de Iniciação Científica, Universidade Federal de Uberlândia, Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Uberlândia.
- Sakr, M., & Bassuoni, M. (2021). "Performance of concrete under accelerated physical salt attack and carbonation". *Cement and Concrete Research*, 141, 106324.
- Kong, L., Han, M., & Yang, X. (2020). "Evaluation on relationship between accelerated carbonation and deterioration of concrete subjected to a high-concentrated sewage environment". *Construction and Building Materials*, 237, 117650.
- Linares, D., & Sánchez, M. (2003). "Construcción, operación y puesta en funcionamiento de una cámara para carbonatación acelerada". *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 26(1), 34-44.
- González Arias, D., & Noldin Almirón, A. (s.f.). "Evaluación del Avance de la Carbonatación en Hormigones con Distintas Relaciones a/c". Universidad Nacional de Asunción Facultad de Ingeniería, San Lorenzo, Paraguay.
- Rebolledo, Nuria (2015). "Módulo 6: Durabilidad, conservación y recuperación del patrimonio construido", Curso de Posgrado de Estudios Mayores (máster) de la Construcción, Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, Madrid, España.
- Norma Española UNE 83993-1:2009
- Dang, V., Ogawa, Y., Bui, P., & Kawai, K. (2021). "Effects of chloride ions on the durability and mechanical properties of sea sand concrete incorporating supplementary cementitious materials under an accelerated carbonation condition". *Construction and Building Materials*, 274(7), 122016.
- Sanjuán, M., Andrade, C., & Cheyreyz, M. (2003). "Concrete carbonation tests in natural and accelerated conditions". *Advances in Cement Research*, 15(4), 171-180.
- Ho, D. & Lewis, R. (1987). "Carbonation of concrete and its prediction". *Cement and Concrete Research*, 17(3), 489-504.

## Criterios para el análisis de ciclo de vida de la producción de cemento

### Criteria for the life cycle analysis of cement production

Dianela GONZALEZ, Ludmila ROSSO, Valentina STORTI

*Centro de Investigación y Desarrollo para la Construcción y la Vivienda-CECOVI, Facultad Regional SF, UTN  
E-mail de autores: gonzalezdianelag@gmail.com, ludmilar1320@gmail.com, vstortimaragno@gmail.com*

#### Resumen

El cemento es el componente principal en el proceso de producción del hormigón y por lo tanto el material más utilizado en la industria de la construcción. Se ha observado un importante incremento de la producción de cemento en los últimos años, lo cual trae aparejado un aumento en las emisiones de CO<sub>2</sub> al medio ambiente. En este trabajo se analizan los criterios empleados en estudios preexistentes sobre el tema, con el propósito de que en un futuro se pueda inventariar la producción de cemento en Argentina y de esta manera, se logre tener más precisión acerca de los beneficios que se obtienen al reemplazar parcialmente el cemento Portland por adiciones.

**Palabras clave:** Cemento; Análisis de ciclo de vida (ACV), emisiones

#### Abstract

Cement is the main component in the concrete production process and therefore the most used material in the construction industry. A significant increase in cement production has been observed in recent years, which brings with it an increase in CO<sub>2</sub> emissions to the environment. In this paper, the criteria used in pre-existing studies on the subject are analyzed, with the purpose that in the future the production of cement in Argentina can be inventoried and, in this way, it is possible to have more precision about the benefits obtained from partially replace Portland cement by additions.

**Keywords:** Cement; Life cycle analysis (LCA), emissions

#### 1. Introducción

Con el objetivo de contribuir en la mitigación del cambio climático, diversas investigaciones buscan reducir la producción de cemento Portland incorporando como reemplazo parcial material de descarte, afirmando que dicha práctica contribuye a la disminución de las emisiones al generar un ahorro de cemento Portland, sin embargo, no se han encontrado muchas publicaciones que aborden un estudio para cuantificar y ratificar dicha afirmación. (Van den Heede et al, 2017)

En trabajos previos se ha comprobado la posibilidad de realizar reemplazos parciales de cemento Portland por materiales de descarte de la industria cervecera, (Rosenhurt et al, 2019), (Guilarducci et al, 2020) y residuos de una central térmica (Guilarducci et al, 2018). Actualmente, se pretende evaluar el aporte a la sostenibilidad del empleo de dichas adiciones como reemplazo parcial del cemento Portland a partir de la metodología de análisis de ciclo de vida (ACV).

El ACV trata los aspectos e impactos ambientales potenciales a lo largo de todo el ciclo de vida de un producto desde la adquisición de la materia prima, pasando por la producción, utilización, tratamiento final, reciclado, hasta su disposición final. Las fases en las que divide un estudio de ACV son: 1) Definición del objetivo y el alcance; 2) Análisis del inventario; 3) Evaluación del impacto ambiental; 4) Interpretación.

Para llevar adelante un ACV es importante definir en forma clara el objetivo de éste, estableciendo las razones para realizarlo, la aplicación y el público a quien se pretende



comunicar los resultados. Por otro lado, debe definirse el alcance del sistema del producto a estudiar, sus límites, y la unidad funcional.

Los límites del sistema son un conjunto de criterios que identifican cuáles de los procesos unitarios son parte de un sistema del producto. Un proceso unitario es el elemento más pequeño considerado en el análisis del inventario del ciclo de vida para el cual se cuantifican datos de entrada (ingresos de materias primas y consumos energéticos) y salida (Egreso de productos o subproductos, emisiones al aire y vertidos al agua o el suelo).

Por otra parte, la unidad funcional es la unidad de referencia del producto sobre la cual se cuantifica el desempeño de un sistema. Su propósito es proporcionar una referencia a la cual se relacionen las entradas y salidas, de manera de asegurar que los resultados del ACV sean comparables.

Las normas IRAM-ISO 14040:2008 y 14044:2008 de gestión ambiental, establecen los principios, el marco de referencia para llevar adelante un ACV, e indica los requisitos y directrices para evaluar impactos ambientales. Sin embargo, en ellas no se establecen criterios para la contabilidad de las entradas y salidas, ni la metodología para definir indicadores dentro de las distintas categorías de impactos, ni generales, ni particulares para la industria del cemento.

Actualmente en el ámbito internacional se pueden encontrar diversas publicaciones que abordan el estudio de análisis de ciclo de vida de la industria cementera. (Li et al, 2020), (Van den Heede et al, 2017) A su vez, existen bases de datos (inventarios), que disponen de información útil de distintos procesos, referida a países en particular. Aquellos países que no se encuentran listados en las bases de datos pertenecen a la categoría "resto del mundo", como es el caso de Argentina. Dentro de esta categoría se brinda la información promedio para el producto o servicio que se quiera evaluar.

Este trabajo tiene como objetivo relevar criterios empleados para la realización del análisis de ciclo de vida de la producción de cemento en diversas regiones del mundo, a partir del análisis y la comparación de estudios ya existentes, que servirán como punto de partida para evaluar la posibilidad de inventariar la producción de cemento en Argentina.

Para ello se realiza una revisión de tres artículos seleccionados que evalúan el proceso productivo del cemento en países de distintos continentes, en los cuales se identifican y se discuten los siguientes aspectos: 1) Unidad funcional; 2) Límites del sistema y procesos unitarios; 3) Criterios de simplificación; 4) Metodología y tecnología; 5) Variables evaluadas.

Los trabajos consultados abordan el proceso productivo del cemento en España, EE. UU. y Ecuador.

## 2. Desarrollo

### 2.1. Unidad funcional

El artículo enmarcado en España (Cardim de Carvalho Filho, 2001: 1-317) adopta como unidad funcional 1 tonelada de cemento Portland sin adiciones, es decir que, contempla únicamente el uso de Clinker y yeso como estabilizador. Por otro lado, en el artículo referido a un ACV de la producción de cemento en Ecuador (León Veléz, 2017: 1-2) la unidad funcional definida es 1 tonelada de cemento puzolánico. Por último, el trabajo de Guesel (Gursel, 2014: 202-259), utiliza como unidad funcional 1 tonelada de cemento mezcla, ya que el estudio se enfoca en brindar una guía para realizar un ACV de cementos con reemplazo parcial de material de descarte en EE. UU.

### 2.2. Límites del sistema y procesos unitarios

Se puede observar en la **Figura 1** que, de los estudios analizados, correspondientes a España y EE. UU realizan un análisis de cuna a puerta, es decir, desde la obtención de la materia prima hasta la puerta de la cementera. Mientras que, el trabajo de Ecuador establece un análisis de puerta a puerta, sin incluir la extracción de materia prima. Por otro lado, se pueden ver los distintos criterios de los autores al momento de definir los subsistemas y el mayor o menor

desglose que realiza cada uno. Esto tiene que ver principalmente con la finalidad de cada estudio.

(Arnaldo Cardim de Carvalho Filho, 2001) Barcelona, España		(Ana Estefanía León Velez, 2017) Cuenca, Ecuador		(Gursel, Aysegul Petek, 2014) Berkeley, California. EE.UU	
Límites del sistema		Límites del sistema		Límites del sistema	
CUNA A PUERTA		PUERTA A PUERTA		CUNA A PUERTA	
Subsistemas	Procesos unitarios	Subsistemas	Procesos unitarios	Subsistemas	Procesos unitarios
CANTERA	Extracción	PRODUCCIÓN DE CLINKER	Trituración	PREPARACIÓN DE MATERIA PRIMA	Extracción
	Trituración		Prehomogeneización		Prehomogeneización
	Prehomogeneización		Molienda de crudo		Molienda de crudo
COMBUSTIBLE DEL HORNO	Preparación del carbón		Homogeneización de crudo		Mezclado
	Mezcla		Clinkerización		Homogeneización
PREPARACIÓN DEL CRUDO	Molienda	PRODUCCIÓN DE CEMENTO	Molienda de cemento	CLINKERIZADO	ENFRIAMIENTO
	Homogeneización		Despacho de cemento		
PRODUCCIÓN DE CLINKER	Pre calentamiento	PRODUCCIÓN DE CEMENTO	Despacho de cemento	ENFRIAMIENTO	MOLIENDA FINAL Y MEZCLADO
	Cocción del crudo				TRANSPORTE DENTRO DE LA PLANTA Y PREPARACIÓN
	Enfriamiento				
PRODUCCIÓN DE CEMENTO	Mezcla	PRODUCCIÓN DE CEMENTO	Despacho de cemento	ENFRIAMIENTO	MOLIENDA FINAL Y MEZCLADO
	Molienda				
DISTRIBUCIÓN	Almacenado	PRODUCCIÓN DE CEMENTO	Despacho de cemento	ENFRIAMIENTO	MOLIENDA FINAL Y MEZCLADO
	Empaquetado				

Figura 1. Comparación entre límites de sistema y unidades funcionales consideradas en cada artículo.

### 2.3. Criterios de simplificación

De los trabajos consultados se pudieron extraer los criterios de simplificación más relevantes de cada artículo que intervienen directamente en el inventario del proceso productivo en análisis. En el artículo de Cardim de Carvalho Filho cuyo enfoque se centra en el ACV de la producción de cemento en España, se identificaron los siguientes criterios de simplificación:

- No se contabilizan los aportes debido al proceso productivo de los explosivos, empleados en las canteras, ni el proceso productivo del papel para las bolsas de cemento
- El corrector de hierro, que es un subproducto de otro proceso productivo, se contabiliza a partir del transporte desde el punto de suministro hasta la fábrica.
- Se contabilizan las emisiones desde la generación de energía eléctrica y gas oil.

En el estudio de la producción de cemento en Ecuador los criterios adoptados fueron:

- No se contabilizan los aportes debido a la extracción de materia prima, ni el transporte de estas a la cementera, ya que el análisis es de puerta a puerta.
- Se considera que las adiciones están en condiciones de ser incorporadas, sin necesidad de un pretratamiento.
- No se prevé la incorporación de correctores de hierro dentro de los límites establecidos.
- Los gases como el metano (CHA) y el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) se suponen emisiones insignificantes y no son abordadas.
- Se considera que no se produce emisión de material particulado (PM, según sus siglas en inglés) dentro del horno de cemento calcinado (CKD).
- Se contabilizan las emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes de la quema de los combustibles fósiles.

En el caso del trabajo de Gursel, investigador de la universidad de Berkeley, los criterios de simplificación son pormenorizados ya que los mismos se enfocan en brindar una guía para realizar ACV de cementos con reemplazo parcial de material de descarte en EE. UU. A continuación, se indican los criterios de mayor importancia.

- Se considera que todas las materias primas que se emplean para producir harina cruda aportan, en relación peso, las mismas entradas y salidas que la piedra caliza.
- Se adopta un rendimiento promedio de 1.612 kg de harina cruda por tonelada de cemento mezcla.
- Las adiciones reciben pretratamiento fuera de la planta y llegan a la misma en condiciones apropiadas para su directa incorporación.
- Se considera que no hay pérdidas de material en aquellos procesos unitarios que no impliquen reacciones químicas (calentamiento, calcinación, etc.). Sin embargo, se contabilizan la emisión de PM en todos los procesos.
- Se contabilizan las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a la generación de energía eléctrica, extracción y procesos de refinamiento sobre los combustibles.
- No se contabilizan los aportes debidos a la clasificación y separación del material luego del proceso de molienda final y mezclado.
- No se contabilizan los aportes debidos al almacenamiento y empaque.
- Se considera la trituración de cada material por separado y para luego mezclarse con el cemento Portland (Clinker más yeso) y obtener cemento compuesto.
- Se adopta como factor para el cálculo de las emisiones de CO<sub>2</sub>, que en el proceso de clinkerizado, producto de la calcinación se emiten 522kg/ton clinker producido

#### **2.4. Metodología y tecnología**

En lo que se refiere a metodología, tecnología y alimentación de equipamiento asociado a cada proceso unitario definido en cada estudio, encontramos abordajes distintos. Esto se debe particularmente a que los objetivos por cada trabajo son distintos.

En el trabajo de Cardim de Carvalho Filho, para cada proceso unitario se establecen las entradas y salidas, considerando el uso de equipo establecido para cada proceso, en función de la técnica productiva del cemento Portland en España. Es decir, se establece una planta tipo representativa.

En el artículo de León Velez, cuyo estudio se circunscribe a la producción del cemento en Ecuador, no se detalla la tecnología considerada para cada proceso unitario. Se indica solamente que la molienda de crudo se realiza en circuito cerrado y se interpreta que la tecnología del horno empleada incorpora un precalcinador, ya que se indica que la harina llega al horno con una temperatura mínima de 800°C, asumiendo que el material pierde la humedad en el proceso de preparación.

El trabajo realizado de Gursel, busca definir una metodología a partir de criterios de simplificación que sirvan de herramienta para la realización de ACV de distintos tipos de cementos producidos en EE. UU. Razón por la cual se indica para cada proceso unitario las distintas tecnologías empleadas por los fabricantes de cemento y a partir de encuestas se determina para el clinkerizado un rendimiento promedio, dando la opción de considerar un rendimiento representativo para dicho proceso en EE. UU.

Al comparar la cadena productiva propuesta por los tres autores observamos que las entradas y salidas a procesos unitarios semejantes variaban, esto se debe particularmente a que la calidad de los combustibles, la matriz energética, las tecnologías y rendimientos de producción son propios del lugar donde se realiza el estudio.

#### **2.5. Variables evaluadas.**

Al finalizar la contabilidad de las entradas y salidas dentro de un proceso productivo, el ACV tiene la finalidad de establecer indicadores dentro de distintas categorías de impactos. Los tres trabajos consultados definen las mismas categorías de impacto. Comunican el consumo de recursos energéticos por tonelada de cemento producido expresado en MJ/t y las emisiones de CO<sub>2</sub> por tonelada de cemento producido expresado en KgCO<sub>2</sub>/t. Este último indicador está dentro la categoría de calentamiento global.

### 3. Conclusiones

Se relevaron tres estudios representativos del ACV de la producción de cemento correspondientes a España, Ecuador y EE. UU. Se obtuvo información sobre criterios simplificadores aplicados en la confección de inventarios referidos a la producción de cemento, que sirven de punto de partida para seguir trabajando en un futuro para realizar el ACV de la producción de cemento en Argentina.

Se puede concluir que los procesos unitarios contemplados en cada trabajo son similares, mientras que los subsistemas varían considerablemente en cada estudio, en función del enfoque u objetivo perseguido en cada uno de ellos, y a las comparaciones que se buscan realizar en cuanto a las distintas entradas y salidas de los subsistemas, sumado a que las tecnologías consideradas varían.

Los indicadores y la unidad funcional, en todos los estudios analizados son los mismos. Sin embargo, de un estudio a otro y por esto, de una región a otra, varían las entradas y salidas de los distintos procesos unitarios, debido a que la calidad de los combustibles, la matriz energética, los métodos, los rendimientos y las tecnologías de producción son propias del lugar donde se realiza el estudio y característicos del objetivo o fin perseguido en el ACV. En este sentido, se puede concluir que, para la realización de los inventarios se debe conocer con anterioridad y en detalle el proceso productivo local del producto a lo largo de toda la cadena, es decir, la sucesión de procesos unitarios, tecnología empleada, rendimientos de producción, etc.

Con los resultados obtenidos se propone para futuros trabajos la realización de un inventario de ciclo de vida de la producción de cemento en Argentina que permita conocer los beneficios que se obtienen al reemplazar parcialmente el cemento Portland por adiciones.

### Referencias

- Cardim de Carvalho Filho A. (2001). "Análisis del ciclo de vida de productos derivados del cemento – Aportaciones al análisis de los inventarios del ciclo de vida del cemento", Tesis (Doctorado en Ingeniería Civil), Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.
- Guillarducci, A. G. "Generación de Adiciones Minerales para el Cemento a Partir de Residuos de Centrales Termoeléctricas de Lecho Fluidizado", Tesis (Doctorado en Química), Universidad Nacional del Litoral, Facultad de Ingeniería Química, Santa Fe, Argentina. 282 páginas. (2018)
- Guillarducci A., Grether R. O., Carrasco M. F, y Gonzalez D., (2020) "Reutilización de tierra de diatomeas como adición mineral para el cemento", Congreso de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón (AATH), Virtual, 4 al 6 de noviembre.
- Gursel, A.P. (2014). "Life-Cycle Assessment of Concrete: Decision-Support Tool and Case Study Application", Thesis (Doctor of Philosophy in Engineering – Civil and Environmental Engineering), University of California, Berkeley.
- León Vélez A.E. (2017). "Determinación de la energía contenida y emisiones de CO2 en el proceso de fabricación del cemento", Tesis (Maestría en Arquitectura Bioclimática, confort y eficiencia energética), Universidad de Cuenca, Cuenca.
- Li, J., Zhang, W., Li, C., Monteiro, P., (2020) "Eco-friendly mortar with high-volume diatomite and fly ash: Performance and life-cycle assessment with regional variability". *Journal of cleaner production*, Volumen 261.
- Rosenhurt, N., Rosso, L. y Albano L. (2019). "Estudio del uso de tierras de diatomeas residuales en la generación de eco-cementos", Jornada de Jóvenes Investigadores Tecnológicos (JIT), Rosario, Argentina, 26 y 27 de septiembre, 45-46.
- Van den Heede P., De Belie N., (2017) "Sustainability assessment of potentially "green" concrete types using life cycle assessment". *Sustainable and Nonconventional Construction Materials using Inorganic Bonded Fiber Composites*

# Metodologías SIG para la elaboración de indicadores de arbolado urbano: caso de aplicación B° Norte, Venado Tuerto

## GIS methodologies for the elaboration of urban tree indicators: case of application B° Norte, Venado Tuerto



Destacados por cantidad de "ME GUSTA" en las fechas del evento

Carpinetti, Marina – Sager, Camila

Grupo Geomática, Facultad Regional Venado Tuerto - UTN

[marinacarpinetti@gmail.com](mailto:marinacarpinetti@gmail.com) - [cami.sager.cs@gmail.com](mailto:cami.sager.cs@gmail.com)

### Resumen

La urbanización es uno de los grandes responsables de la reducción y pérdida de los ecosistemas, siendo un claro ejemplo el desplazamiento de los árboles mediante el avance de las construcciones. Debido a los grandes beneficios que el arbolado urbano provee y puesto que no se tiene un conocimiento íntegro que permita su planificación, resulta necesaria la existencia de un inventario forestal geoespacial. Es por ello que el objetivo de este trabajo consiste en la elaboración de indicadores de arbolado urbano mediante tecnología SIG. En cuanto a la metodología, se utilizaron herramientas de geoprocreso, análisis y gestión de datos. Como resultados parciales, se obtuvo el Mapa de cantidad de árboles por manzana y el Mapa de estado general de salud de los árboles del Barrio Norte de la ciudad de Venado Tuerto. Se destacan los beneficios de SIG que permiten visualizar y contextualizar el arbolado urbano.

### Palabras clave

Arbolado Urbano, Inventario Forestal Geoespacial, SIG, Mapa.

### Abstract

Urbanization is one of the main causes of the reduction and loss of ecosystems, a clear example being the displacement of trees due to the advance of construction. Due to the great benefits that urban trees provide and since there is no complete knowledge that allows its planning, it is necessary the existence of a geoespatial forest inventory. For this reason, the objective of this work is the elaboration of urban tree indicators using GIS technology. In terms of methodology, geoprocessing, analysis and data management tools were used. As partial results, the Map of the number of trees per block and the Map of the general state of health of the trees in the Barrio Norte of the city of Venado Tuerto were obtained. The benefits of GIS that allow the visualization and contextualization of urban trees are highlighted.

### Keywords

Urban Trees, Geoespatial Forestry Inventory, GIS, Map.

### Introducción

La urbanización como uno de los grandes responsables en la reducción de los hábitats naturales en el mundo y participe en la pérdida de los ecosistemas (Czech et al., 2000), ha ido desplazando los árboles mediante el avance de las construcciones, afectando negativamente su desarrollo hasta incluso causando la muerte de los mismos (Tovar Corzo, 2007); puesto que son localizados en lugares reducidos compartiendo su espacio con obras de servicios. Producto de esto, los

árboles se convierten en un peligro para la sociedad ya que propician incidentes como ser la caída parcial o total de los mismos.

A comienzos de los noventa, se empezó a reconocer a la silvicultura urbana como idónea para brindar múltiples bienes y servicios a las poblaciones, los cuales mejoran la calidad de vida de las mismas (Schmid et al., 2009). A modo de ejemplo, algunos de los beneficios que el arbolado urbano ofrece son: conservación de especies de aves nativas y captación del polvo, disminución del ruido, mejora del microclima y mitigación del calentamiento global, entre otros (Galindo Bianconi and Victoria Uribe, 2012)

Debido a que el arbolado urbano es susceptible a diversos factores y, a los fines de potenciar sus beneficios y poder equilibrar el desarrollo urbano, resulta necesaria la existencia de un inventario forestal (Czech et al., 2000) que presente parámetros de los mismos como ser: especie, altura, diámetro de tronco, espacio mínimo, estado de salud de sus partes, presencia de plagas, intervenciones, etc. Dicha información permite analizar casos de enfermedades, malformaciones, competencia entre ejemplares, entre otras, y poder evitarlo a futuro.

Una carencia que presenta el inventario forestal es que se analiza al arbolado de manera individual, lo cual no resulta suficiente para un análisis completo de la situación a escala urbana, considerando su ubicación e interacción entre los mismos y con el entorno. Una herramienta que permite solventar dicha carencia son los Sistemas de Información Geográfica (SIG) los cuales son un conjunto de hardware, software y datos geográficos (Boix and Olivella, 2007) que permiten manipular, gestionar, analizar y representar datos georreferenciados; por lo tanto se los considera como instrumentos muy potentes para realizar análisis territoriales.

## **Objetivo**

El objetivo de este trabajo consiste en la elaboración de indicadores de arbolado urbano mediante tecnología SIG.

## **Metodología**

Para realizar este trabajo, disponíamos del inventario del arbolado de Venado Tuerto, realizado por alumnos del profesorado de Biología de la misma ciudad, el cual se presenta en formato de planilla de cálculo, y contiene diversa información sobre los árboles tal como su ubicación (discriminado por calle, numeración, ciudad, provincia y país), especie y altura de los mismos, diámetro del tronco, circunferencia de la copa, estado general, enfermedades, plagas, alteraciones e interferencias.

Cuando comenzamos a trabajar sobre el relevamiento de los árboles, se presentaron casos donde dos o más ejemplares se encontraban ubicados en la misma dirección, es decir, superpuestos y, por lo tanto, hubo que detectarlos y modificar sus respectivas posiciones con el fin de evitar la no visualización de algunos de ellos, posteriormente en el software de Sistemas de Información Geográfica, QGIS.

Antes de cargar toda esta información en el software, lo que se hizo fue generar una columna llamada 'address', que resultó ser la unión de las columnas: calle, número de domicilio y ciudad; esto se realizó para que, posteriormente, la herramienta de geoposicionamiento pueda reconocerlos y ubicarlos en el territorio.

Una vez procesadas las ubicaciones en la herramienta, se genera una planilla de cálculo la cual muestra las posiciones de los árboles que no fueron detectados por la misma; ya que ésta, al no reconocer algunos nombres de calles, proporciona el listado de ejemplares que considera como errores. Por lo tanto, se debió trabajar sobre este archivo, adecuando los nombres de calles y colocándolos nuevamente al sistema. Posteriormente, para manipular la información hubo que convertir el formato a capa vectorial de tipo punto.

Con el objeto de mapear información relevante de la situación del arbolado urbano, se realizaron diversos procedimientos mediante, principalmente herramientas de geoprocreso, análisis y gestión de datos. Además, a través de la clasificación de las propiedades de la información, se resaltaron los valores considerados de interés para el estudio.

## Resultados

Para el estado actual del desarrollo del proyecto se presentan como primeros resultados, el Mapa de cantidad de árboles por manzana, como puede observarse en la Figura 1; y el Mapa de estado general de salud de los árboles, como puede observarse en la Figura 2, mostrando en este caso por cuestiones visuales de escala, un sector de la ciudad.

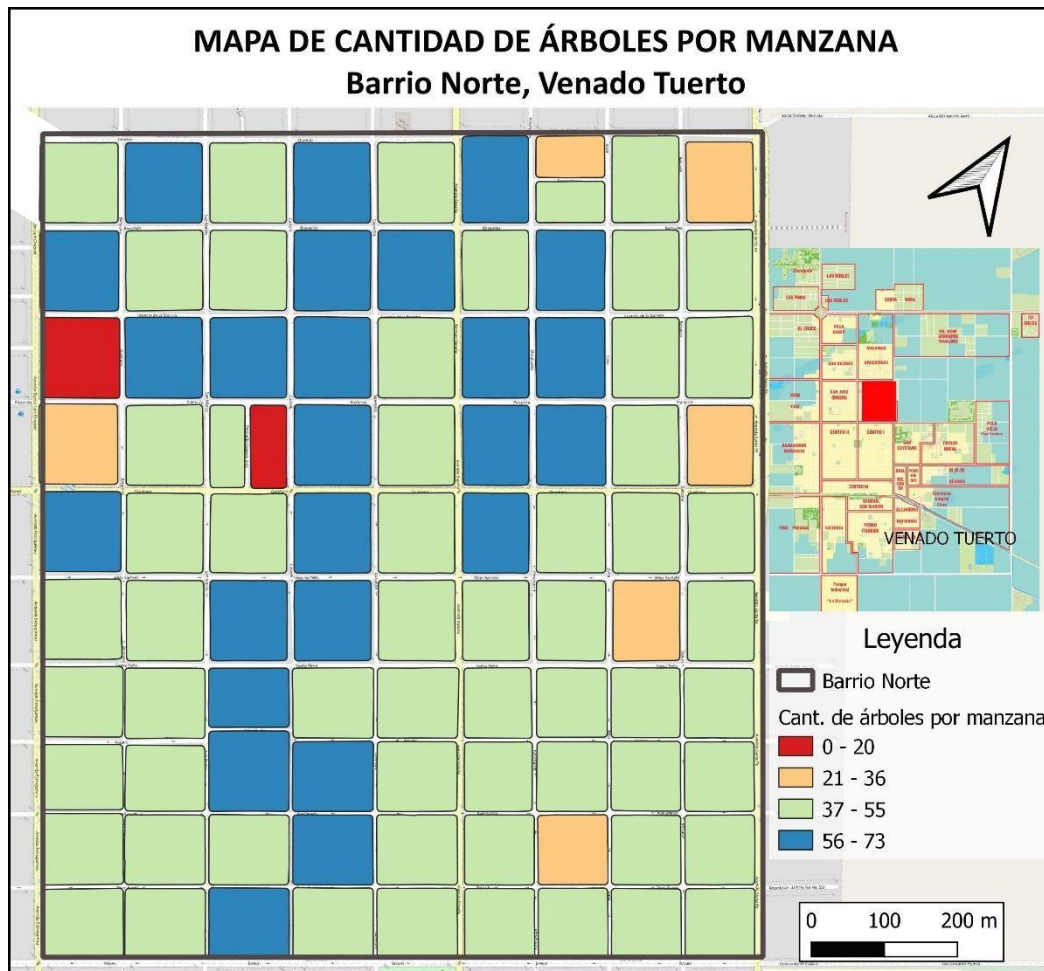
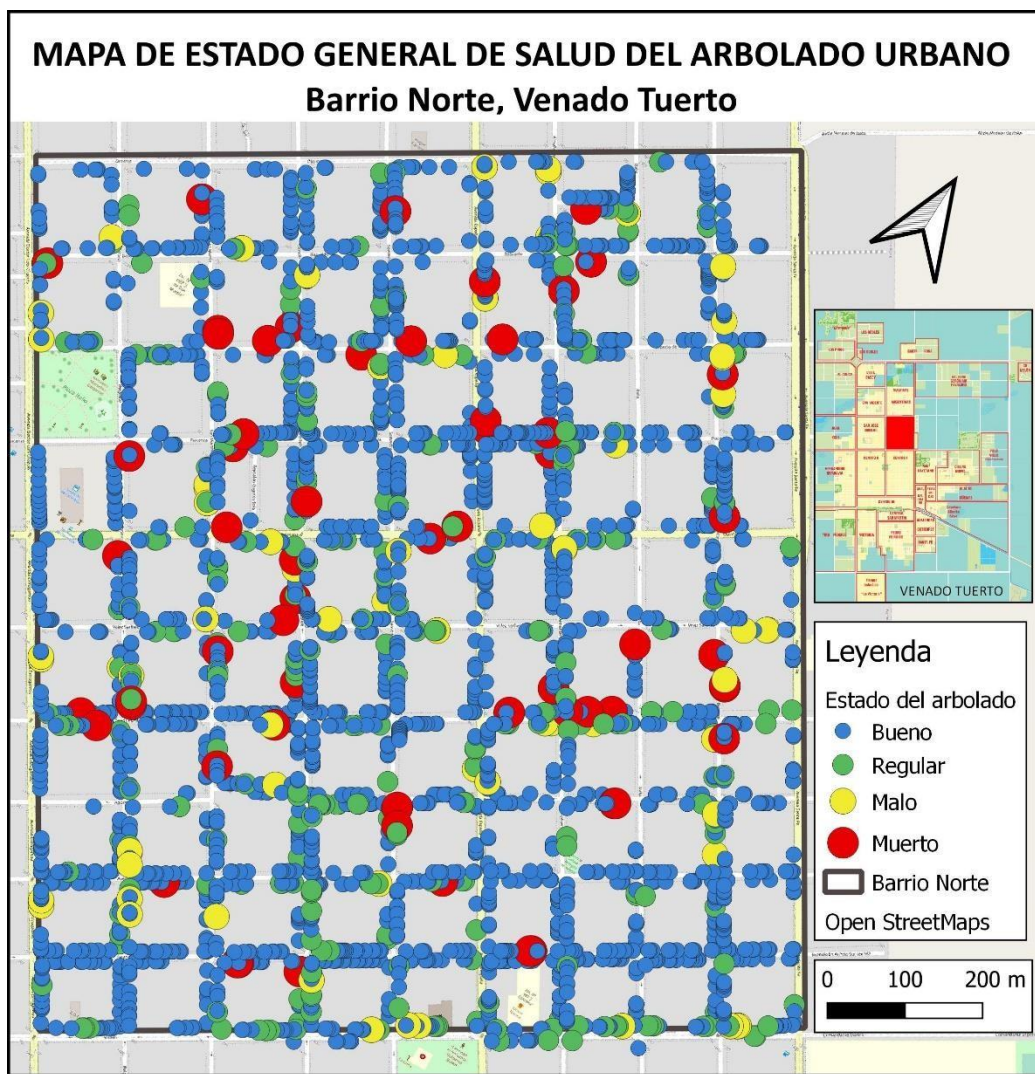


Figura 1: Mapa de cantidad de árboles por manzana para el Barrio Norte de Venado Tuerto



**Figura 2:** Mapa de estado general de salud del arbolado urbano para el Barrio Norte de Venado Tuerto

### Conclusiones

Como conclusiones parciales del trabajo se destacan los beneficios de utilizar los sistemas de información geográfica para el inventario del arbolado urbano. Como se manifiesta en la Figura 1 se permite una mayor comprensión de los sectores en los cuales hay faltantes de árboles bajo esta modalidad de mapeo. Además, gracias al esquema de visualización de la Figura 2 se permite detectar con mayor facilidad los árboles en malas condiciones.

Cabe destacar que estas metodologías pueden ser replicables para todo tipo de ciudades y mapeable para todo otro tipo de información de arbolado urbano.



## Referencias

- Boix, G., Olivella, R. (2007). "Los sistemas de información geográfica (SIG) aplicados a la educación - El proyecto pesig (portal educativo en SIG)". En *Las competencias geográficas para la educación ciudadana* (pp. 21-32). Valencia: Gaité, M., Carrasco, M., González, S., Manuel X., Nau Llibres - Edicions Culturals Valencianes, S.A. Recuperado a partir de [http://didacticageografia.age-geografia.es/docs/Publicaciones/2007\\_comp\\_ecogeo.pdf](http://didacticageografia.age-geografia.es/docs/Publicaciones/2007_comp_ecogeo.pdf)
- Czech, B., Krausman, P., Devers, P. (2000). "Economic Associations among Causes of Species Endangerment in the United States". *BioScience*, 50(7), 593-601. Recuperado a partir de [https://www.researchgate.net/publication/24113022\\_Economic\\_Associations\\_Among\\_Causes\\_of\\_Species\\_Endangerment\\_in\\_the\\_United\\_States](https://www.researchgate.net/publication/24113022_Economic_Associations_Among_Causes_of_Species_Endangerment_in_the_United_States)
- Galindo-Bianconi, A. S., & Victoria-Uribe, R. (2012). "La vegetación como parte de la sustentabilidad urbana: beneficios, problemáticas y soluciones, para el Valle de Toluca". *Quivera. Revista de Estudios Territoriales*, 14(1), 98-108.
- Schmid, B., Balvanera, P., Cardinale, B. J., Godbold, J., Pfisterer, A. B., Raffaelli, D., Srivastava, D. S. (2009). "Consequences of species loss for ecosystem functioning: meta-analyses of data from biodiversity experiments". *Biodiversity, ecosystem functioning, and human wellbeing: an ecological and economic perspective*, 14-29.
- Tovar Corzo, G. (2007). "Manejo del arbolado urbano en Bogotá". *Territorios*, 16, 149-174. Recuperado a partir de <https://www.redalyc.org/pdf/357/35701709.pdf>

## Ensayos de caracterización de tierra para la construcción con Tapia

### Earth characterization tests for construction with Tapia

**Kevin Gajdosik**

UTN Facultad Regional Santa Fe

kevin\_91@live.com.ar

**Resumen:** En el presente informe se exponen los ensayos realizados (límites de Atterberg y pasante tamiz #200) para caracterizar la tierra que será utilizada para la construcción de una obra de Tapia en la ciudad de Paraná. También se muestra el procedimiento de moldeo de probetas para evaluar su resistencia a compresión, erosión por pulverizado de agua a presión y retracción lineal de diversas dosificaciones propuestas. Los resultados obtenidos indican que las dosificaciones más adecuadas son con relación tierra/arena del 40% (4 partes de arena y 6 partes de tierra, en peso) y 10% de estabilizantes, ya sea un 10% de cemento o una combinación de 5% de cal + 5% de cemento, posibilitando la construcción de muros de tapia expuestos a la intemperie y portantes, minimizando la posibilidad de aparición de fisuras por retracción.

**Palabras claves:** Tapia; Compresión; Proctor; Erosión; Retracción.

**Abstract:** This report presents the tests carried out (Atterberg limits and #200 sieve pass-through) to characterize the land that will be used for the construction of a Tapia work in the city of Paraná. The test specimen molding procedure is also shown to evaluate their resistance to compression, erosion by water spray under pressure and linear shrinkage of various proposed dosages. The results obtained indicate that the most suitable dosages are with a soil / sand ratio of 40% (4 parts of sand and 6 parts of earth, by weight) and 10% of stabilizers, either 10% cement or a combination of 5 % lime + 5% cement, allowing the construction of brick walls exposed to the elements and bearing, minimizing the possibility of the appearance of cracks due to shrinkage.

**Keywords:** Tapia; Compression; Proctor; Erosion; Retraction.

#### Introducción

En el presente informe se exponen los ensayos realizados para caracterizar la tierra que será utilizada para la construcción de una obra de Tapia en Bajada Grande, Paraná; como así también el procedimiento de moldeo de probetas para evaluar su resistencia a compresión, resistencia a erosión húmeda y retracción por secado de diversas dosificaciones propuestas.

#### Identificación del suelo

Como puede apreciarse en la Figura 1, a simple vista se intuye que la tierra suministrada se compone de partículas de variada granulometría; sin embargo, esto se debe a la elevada cohesión del suelo, el cual en estado seco forma grumos y terrones de diversos tamaños. Al disgregar con mortero los terrones y realizar el tamizado húmedo, pudo determinarse que solo

el 10 % de la tierra presenta un tamaño de partícula superior a 75  $\mu\text{m}$  (90% pasante por el tamiz #200).



Figura 1. Distribución granulométrica aparente de la tierra.

Para conocer la plasticidad de la tierra se determinó sobre la fracción pasante por el tamiz #40 (apertura de 0.43 mm) el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad, siguiendo para ello los procedimientos establecidos por la norma IRAM 10501 (IRAM, 2007). Además, para conocer la el contenido porcentual en peso de partículas finas presentes (tamaño inferior a 75  $\mu\text{m}$ ), se realizó el tamizado por vía húmeda estipulado por la norma IRAM 10507 (IRAM, 1986). En la Tabla 1 se muestran los resultados de la identificación del suelo.

Parámetro	Contenido (%)
Límite líquido	32
Límite plástico	25
Índice de Plasticidad	8
Pasante tamiz #200	90
Clasificación SUCS	CL - ML
Clasificación HRB	A - 4 (7)

Tabla 1. Resultados de los ensayos de Identificación de la tierra.

### Moldeo de probetas proctor

Se moldearon 5 series de probetas, cada una de ellas con una relación arena/tierra del 40% y diferentes contenidos de cal y cemento, como puede apreciarse en la Tabla 2. Sobre estas probetas se realizaron ensayos de resistencia a compresión y resistencia erosión húmeda por pulverizado de agua a presión de las nuevas dosificaciones propuestas.

El moldeo de estas probetas se realizó empleando los moldes y procedimientos de compactación dinámica "Proctor", utilizando moldes de 101 mm de diámetro y 116 mm de alto, llenados en 3 capas, compactando cada una de ellas con 25 golpes del pisón de 2.5 kg (ver parámetros del ensayo PROCTOR tipo I en la norma VN-E5-93)(DNV, 1993)).

Una vez moldeadas, las probetas se llevaron a curado húmedo por 65 días (motivado por la imposibilidad de acceder a los Laboratorios por la pandemia COVID19), manteniéndose envueltas en un film de polietileno, luego de lo cual se llevaron a estufa a 105°C hasta obtener masa constante.

Finalmente, en la Figura 2 puede apreciarse el procedimiento y los elementos empleados para la confección de estas probetas.

Dosificaciones en Porcentaje					
DOSIFICACIÓN	Tierra (%)	Arena (%)	Cal (%)	Cemento (%)	Agua (%)
A	57	38	0	5	9
B	54	36	0	10	9
C	57	38	5	0	9
D	54	36	10	0	10
E	54	36	5	5	9

Tabla 2. Dosificación de las diferentes series de probetas cilíndricas.

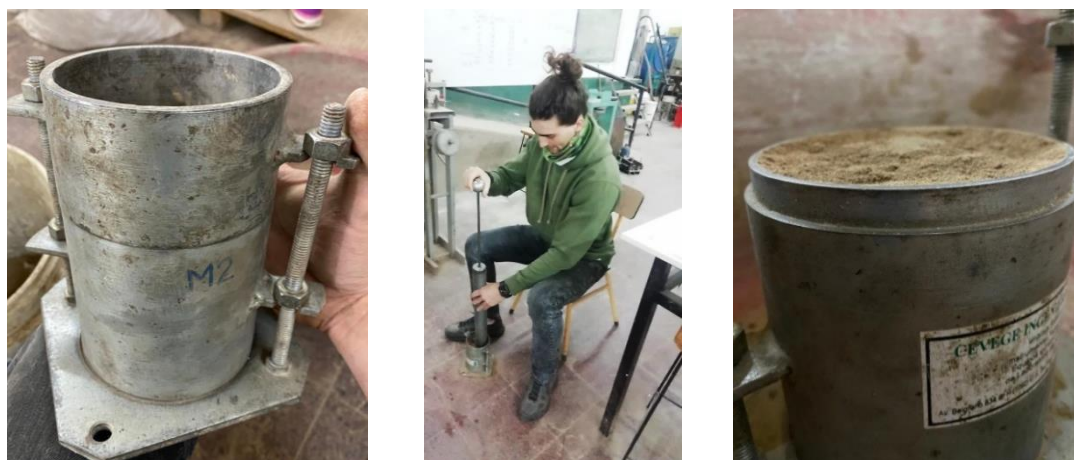


Figura 2. Preparación de probetas cilíndricas siguiendo la metodología "Proctor".

### Resistencia a compresión

Una vez transcurrido el periodo de curado, se evaluó la resistencia a compresión de cada una de las probetas Proctor, empleando como normativa de referencia la VN-E33-67: Ensayo de compresión de probetas compactadas de suelo-cal y suelo-cemento (DNV, 1967). En la Figura 3 puede apreciarse la realización del ensayo, mientras que, en la Figura 4 se exponen los resultados de los ensayos de resistencia a compresión sobre cada una de las series ensayadas.



Figura 3. Realización del ensayo de resistencia a compresión sobre las probetas Proctor.

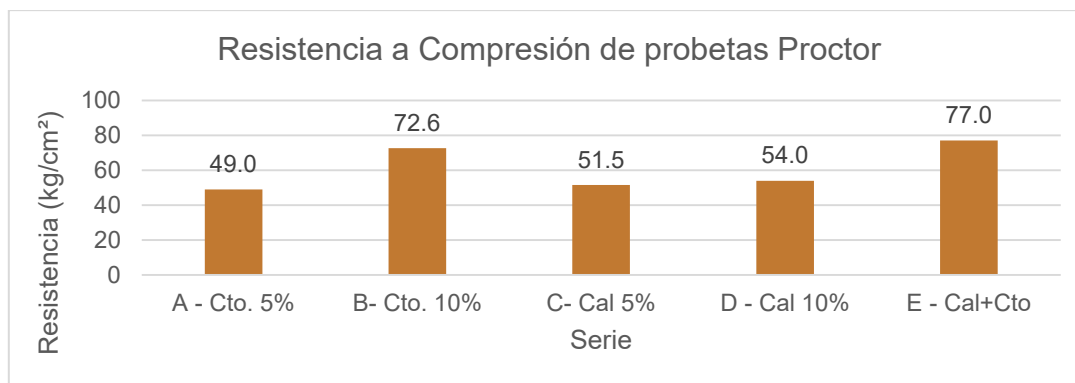


Figura 4. Resultados de los ensayos de resistencia a compresión.

En la Figura 4 puede apreciarse claramente como las series B (10 % de cemento) y E (5% de cemento + 5% de cal) presentan las mayores resistencias medias a compresión.

### Erosión por pulverizado de agua a presión

Para evaluar la resistencia a erosión húmeda de cada serie de probetas Proctor se realizó una adaptación del ensayo de pulverizado de agua a presión estipulado por las normas neozelandesa NZS 4298 (NZS, 1998) e india IS 1725 (IS, 2013), para lo cual se introdujo cada probeta dentro del equipo de ensayo de manera tal que la cara expuesta al chorro de agua quede a 20 cm de la boquilla de aspersión. El tiempo de exposición de cada probeta fue de 60 minutos y la presión del agua pulverizada de 1 bar. Luego de la realización del ensayo, se midió la profundidad del patrón de erosión con una varilla metálica de 1 mm de diámetro, estos resultados se aprecian en la Tabla 3.

Serie	A	B	C	D	E
Vista superior					
Vista lateral					
Prof. (mm)	8	1	9	4	2

Tabla 3. Resultados del ensayo de resistencia a la erosión por pulverizado de agua a presión.

### Retracción lineal

Finalmente, para evaluar la retracción efectiva que podría ocurrir en los muros de tapia, se realizó el ensayo de retracción replicando las dosificaciones A, B y C de la Tabla 2, compactando con un pisón de madera el material dentro de los moldes, buscando simular la energía de compactación entregada durante la construcción de un muro de tapia. Se respetó el

mismo método de curado y secado empleado en las “probetas Proctor”. En la Figura 5 pueden apreciarse las probetas secas luego de ocurrida la retracción.



**Figura 5. Retracción ocurrida en las probetas moldeadas según las dosificaciones A, B y C luego del proceso de secado.**

A pesar de presentar pequeñas fisuras por retracción, ninguna de las series presentó una retracción lineal superior al 1 %. Esto se atribuye al elevado contenido de arena y al bajo contenido de agua, correspondiente con el grado de humedad requerido para la construcción de muros de tapia.

## Conclusiones

Los ensayos realizados permiten extraer las siguientes conclusiones:

- El suelo provisto por el comitente es un limo arcilloso sin presencia de arenas. Para evitar la formación de fisuras por retracción en los muros de tapia, ésta deberá ser estabilizada mecánicamente mediante la adición de arena.
- La resistencia a compresión de las probetas Proctor indica que la capacidad portante de los muros de tapia a construir será suficiente para los estados de carga a los cuales estarán sometidos (muros no portantes).
- Para evitar problemas de erosión por lluvia o viento, la tapia deberá estabilizarse con cal o cemento, aditivos que, además de brindar estabilidad frente a la acción del agua, aumenta la resistencia a compresión.

Los resultados de los ensayos realizados indican que tanto la dosificación B como la E, en las cuales se emplea una relación tierra/arena del 40% (4 partes de arena y 6 partes de tierra, en peso) y 10% en peso de cemento portland (dosificación A) o 5% de cal + 5% de cemento (dosificación E) son adecuadas para la construcción de muros de tapia expuestos a la intemperie, contando con una resistencia a compresión y erosión suficiente para la construcción de muros de tapia exteriores y portantes, minimizando la posibilidad de aparición de fisuras por retracción.

## Referencias

- DNV. (1967). VN-E33-67: Ensayo de compresión de probetas compactadas de suelo-cal y suelo-cemento.
- DNV. (1993). VN-E5-93: Compactación de Suelos.
- IRAM. (1986). IRAM 10507: Mecánica de suelos. Método de determinación de la granulometría mediante tamizado por vía húmeda.
- IRAM. (2007). Norma IRAM 10501: Geotecnia. Método de determinación del límite líquido y del límite plástico de una muestra de suelo. Índice de fluidez e índice de plasticidad.
- IS. (2013). IS 1725:2013. Specification for soil based blocks used in general building construction.
- NZS. (1998). NZS 4298:1998. Materials and workmanship for earth buildings.

## DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL APLASTAMIENTO EN MADERA DE PINO ELLIOTTI

### DETERMINATION OF THE CRUSHING STRENGTH IN PINUS ELLIOTTII WOOD

Bianchi Silvina, Estudiante Ing. Civil, Grupo GIDEC, UTN FRVT  
Martínez Merlo Hugo, Estudiante Ing. Civil, Grupo GIDEC, UTN FRVT  
[silvinabian@gmail.com](mailto:silvinabian@gmail.com); [h-e-martinez@hotmail.com](mailto:h-e-martinez@hotmail.com)

#### Resumen

El comportamiento estructural de maderas provenientes de especies cultivadas en bosques implantados en Argentina se rige según nuestro Reglamento CIRSOC 601. En el suplemento 4, destinado a uniones, contiene una tabla de valores de resistencia al aplastamiento basada en la existente de las NDS 2005 (National Design Specifications for Wood Construction), pero para verificar su aplicabilidad es necesario determinar este parámetro en maderas de uso corriente de nuestro país. El presente trabajo tiene como objetivo calcular la resistencia al aplastamiento y las deformaciones sobre los elementos de fijación tipo clavija realizadas con pernos rígidos, y luego comparar los resultados obtenidos con los valores dados por el CIRSOC 601. Para ello se realizaron los ensayos en dirección paralela a la fibra con un perno rígido de 7 mm de diámetro, de acuerdo a las prescripciones de la Norma UNE-EN 383:2007. Los valores de resistencia característica al aplastamiento obtenidos resultaron sensiblemente inferiores respecto a los propuestos en la tabla S.4.1.1-1 del suplemento 4 del Reglamento CIRSOC 601. Publicaciones anteriores, para otras especies cultivadas en la Argentina, presentan comportamientos similares, por lo que los valores con origen en las NDS 2005 deben ser utilizados con precaución.

#### Palabras-clave

Resistencia al aplastamiento, uniones, pinus elliottii, pino elliotti, fijación tipo clavija, Estructura de madera.

#### Abstract

The structural behavior of wood from species grown in forests planted in Argentina is governed by our CIRSOC 601 Regulation. In supplement 4, destined to unions, a table of embedding strength values which depends on anhydrous specific gravity and pin diameter was incorporated, based on the existing NDS 2005 (National Design Specifications for Wood Construction), but to verify its applicability, it is necessary to determine this parameter for wood commonly used in our country. The objective of this work is to calculate the resistance to crushing and deformations on the dowel-type fixing elements, made with rigid bolts, and then comparing the results obtained with the values given by CIRSOC 601. The tests were performed in a parallel direction to the fibers, with a rigid bolt of 7 mm of diameter, according to the requirements of the UNE-EN 383:2007. Characteristic values for embedding strength obtained were significantly lower compared with those given in Table S.4.1.1-1 Supplement 4 of CIRSOC 601. Previous publications for other cultivated species in Argentina show similar behavior, so that the values given by the NDS 2005 should be used with caution.

#### Keywords

Embedding strength, unions, pinus elliottii, pino elliotti, dowel type fasteners, structures timber.

## 1. INTRODUCCIÓN.

Para determinar la capacidad portante de una unión, independientemente del método de cálculo utilizado, resulta de particular importancia conocer, además de ciertas características geométricas, los valores de la resistencia al aplastamiento de la especie y las propiedades mecánicas del elemento metálico utilizado.

El Reglamento Argentino de Estructuras de Madera, CIRSOC 601, presenta suplementos con valores de diseño en donde deben conocerse como datos de partida: el valor característico de la resistencia al aplastamiento de la madera y el valor característico de la tensión de fluencia en flexión de la clavija. En particular, en el Suplemento Nro. 4, dispone valores de diseño de referencia para uniones mecánicas. La tabla incluida en dicho Suplemento toma como base la existente en las NDS 2005 y establece la resistencia al aplastamiento en función de la gravedad anhidra de la madera y del diámetro de la clavija. Ya se han realizado trabajos de investigación comparando los valores de resistencia al aplastamiento obtenidos experimentalmente con los valores determinados aplicando la tabla del Suplemento 4 del CIRSOC 601, en los que se observa que los valores determinados experimentalmente son sensiblemente menores a los dados por el CIRSOC 601. Varios autores han estudiado la correlación existente entre la densidad y la resistencia al aplastamiento de la madera, dando como resultado que a mayor densidad del material mayor resistencia. También se han realizado investigaciones sobre la relación entre la resistencia al aplastamiento paralela y perpendicular a la fibra con el diámetro del elemento de fijación, verificando que para la dirección paralela a la fibra no hay variación significativa, en tanto que para la dirección perpendicular la resistencia disminuye a medida que aumenta el diámetro (Manavella R.D., 2016). Sawata K. et al (2002), en su trabajo sobre *Picea jezoensis* y *Abies sachalinensis* establece en una de sus conclusiones que existe una correlación significativa entre la resistencia al aplastamiento y la densidad, señalando también que para ensayos realizados bajo norma EN 383 el valor de la resistencia paralela a la fibra es poco influenciado por el diámetro de la clavija, en tanto que para la dirección perpendicular se observa una disminución de la resistencia a medida que aumenta el diámetro.

## 2. METODOLOGÍA.

### 2.1. Material de ensayo, confección y preparación de probetas.

La metodología empleada para los ensayos es la exigida en la Norma Europea EN 383.

Las probetas utilizadas fueron confeccionadas a partir de tablas de madera aserrada de Pino Elliottii que fueron seleccionadas aleatoriamente para confeccionar las 52 probetas ensayadas. Las mismas se almacenaron en condiciones controladas de humedad relativa ( $65 \pm 5$  %) y temperatura ( $20 \pm 2$  °C) hasta el momento del ensayo.

El elemento de fijación utilizado consiste en un perno rígido de diámetro 7 mm de acero trefilado. La Norma establece que el valor del espesor de la pieza debe estar entre  $1,5 d$  y  $4 d$ , valor que se cumple ya que la relación de esbeltez establecida entre el largo del perno y su diámetro, tiene un valor aproximado de 3,28. La colocación del elemento de fijación se realiza en un orificio de 7,25 mm.

En la figura 1 se visualizan las dimensiones de las probetas utilizadas.

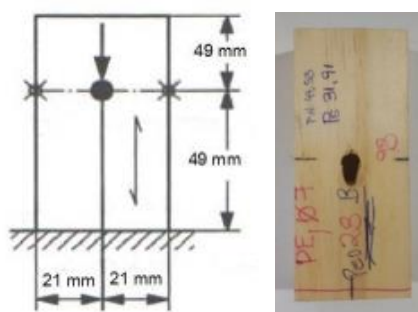


Figura 1. Probetas



## 2.2. Equipos y dispositivos utilizados

La aplicación de la carga se realiza con una máquina Universal de ensayos con capacidad máxima de 300 KN y accionamiento hidráulico, posee una válvula reguladora de caudal que permite variar a voluntad la velocidad. Para la medición de las cargas se utiliza una celda conectada a un transductor de registración continua de lectura. Una rótula ubicada entre la máquina y el dispositivo de ensayo garantiza la perpendicularidad de la aplicación de la carga. La medición de las deformaciones se realiza mediante balancines y dos relojes comparadores digitales, dispuestos en forma simétrica.

La figura 2 muestra aspectos de los elementos de ensayo.



Figura 2. Dispositivos de ensayo

## 2.3. Procedimiento de aplicación de la fuerza.

Previo a los ensayos se estimó la carga de rotura o fuerza máxima para establecer el valor de los intervalos de carga a utilizar.

La aplicación de la carga debe realizarse respetando el procedimiento de carga dado por la Norma UNE-EN 383:2007. En cada ensayo se incrementó la fuerza hasta alcanzar el 40% de la carga estimada, se mantuvo la misma por 30'', a continuación, se la redujo hasta el 10 %, manteniéndola nuevamente durante 30'' y a continuación se la aumentó hasta que se produjo la rotura de la probeta o se alcanzó un desplazamiento de 5 mm. En la figura 3 se muestra el procedimiento de carga.

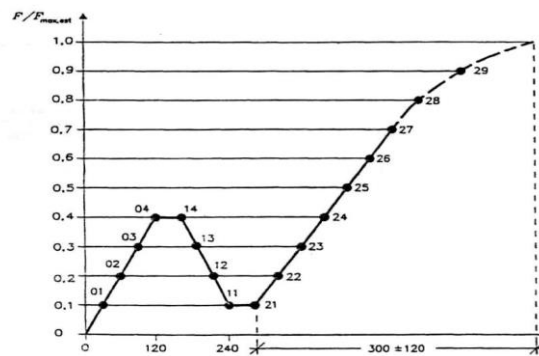


Figura 3. Procedimiento de carga

## 2.4. Cálculos.

Se utilizaron las siguientes fórmulas dadas por la Norma EN 383, apartado 6.6.1.

### a) Determinación de la resistencia al aplastamiento

$$f_h = \frac{f_{m\acute{a}x}}{d \times t}$$

Donde:

$f_h$  = Resistencia al aplastamiento, en  $N/mm^2$ .

$f_{m\acute{a}x}$  = Fuerza máxima correspondiente a la rotura o a 5 mm de deformación, en  $N$ .

$d$  = Diámetro del perno, en  $mm$ .

$t$  = Espesor de la probeta, en  $mm$ .

### b) Determinación de la resistencia estimada de aplastamiento

$$f_{h,est} = \frac{f_{m\acute{a}x,est}}{d \times t}$$

Donde:

- $f_{h,est}$  = Resistencia estimada al aplastamiento, en  $N/mm^2$ .  
 $f_{máx,est}$  = Carga máxima estimada, en  $N$ .  
 $d$  = Diámetro del perno, en  $mm$ .  
 $t$  = Espesor de la probeta, en  $mm$ .

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

#### 3.1. Determinación de la resistencia al aplastamiento.

En la tabla 1 se muestran los valores de resistencia al aplastamiento y la densidad de la madera calculada según la norma EN 384.

Parámetros	fh [N/mm <sup>2</sup> ]	γ [Kg/m <sup>3</sup> ]
Promedio	36,26	458,21
Desvío STD	6,57	58,79
COV	18,11%	12,83%
Máximo	51,13	619,06
Mínimo	24,39	346,76
Percentil 5%	25,63	370,26

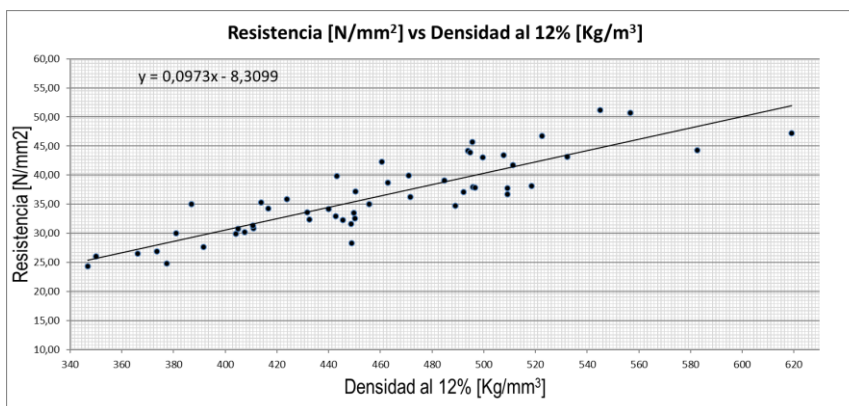
**TABLA 1: Resistencia al aplastamiento y densidad**

Se realizó un análisis de regresión para establecer la correlación existente, se puede observar una alta correlación entre ambas propiedades. En la tabla 2 se presentan los valores y la ecuación de la regresión lineal.

Parámetros	Coef. de Correlación	Ecuación de regresión lineal
Correlación Tensión Paralela-Densidad	0.875	$y = 0.0973x - 8,3099$

**TABLA 2: Coeficiente de correlación**

En la figura 4 se muestra gráficamente la relación entre los valores de densidad y resistencia al aplastamiento, y la recta de regresión lineal.



**Figura 4. Correlación Densidad-Resistencia al aplastamiento paralelo a la fibra.**

### 4. COMPARACIÓN CON EL CIRSOC 601

Las NDS 2005 proponen una tabla para los valores de resistencia al aplastamiento en función del diámetro del perno y de la gravedad anhidra. La comparación con los valores de esta tabla tiene suma importancia porque la misma se propone como valor de diseño de referencia para la resistencia al aplastamiento en el suplemento 4 del CIRSOC 601 “Reglamento Argentino de Estructuras de Madera”.

La gravedad anhidra del percentil 5% de las probetas ensayadas se determinó de acuerdo a lo expresado en la Norma, partiendo de la gravedad específica a un determinado contenido de humedad  $G_{mc}$ .

$$G = \frac{G_{mc}}{(1 - mc) - 0,84 \cdot mc \cdot G_{mc}}$$

Donde:

- $G$  = Densidad anhidra  
 $G_{mc}$  = Gravedad específica a un determinado contenido de humedad  
 $mc$  = Contenido de humedad como cociente entre el peso del agua contenida y el peso anhidro

De acuerdo a la Tabla S.4.1.1-1. del Suplemento 4, para el cálculo de la resistencia al aplastamiento paralelo a las fibras se tomó la columna correspondiente a  $D \geq 6,35$  mm y los valores de densidad anhidra característica resultaron de  $0,33$  g/cm<sup>3</sup>.

El CIRSOC 601 presenta coeficientes de ajuste por duración de la carga, considerando como carga normal la correspondiente a 10 años. Entonces, para cargas de distinta duración acumulada se deben multiplicar las tensiones de diseño de referencia con valores de CD, con el fin de tener en cuenta el cambio en la resistencia del material en función del tiempo de actuación de la carga. Como los ensayos de resistencia al aplastamiento tienen una duración aproximada de 10', se afectaron con un factor de corrección  $CD = 1,6$ .

En la siguiente tabla se indican los valores comparativos.

Parámetros	Unidades	fh //
Resist. Experimental Percentil 5%	N/mm <sup>2</sup>	25,63
Resist. determinada con CIRSOC 601	N/mm <sup>2</sup>	25,50
Resist. Experimental corregida con Factor $C_D=1,6$	N/mm <sup>2</sup>	16,02
Relación entre valor experimental corregido y valor CIRSOC 601	%	62,8 %

**TABLA 3: Comparación con valores del CIRSOC 601**

Si se comparan los valores dados por el CIRSOC 601 con los valores experimentales corregidos por el factor de duración de la carga CD, se aprecia que nuestros resultados son sensiblemente menores a los valores dados por el Reglamento Argentino.

## 5. CONCLUSIONES

Para el Pinus Elliottii, se obtuvo lo siguiente:

- Una resistencia característica al aplastamiento paralelo a las fibras percentil 5% de 25,63 N/mm<sup>2</sup>, para desplazamientos del orden de 1mm.
- Los resultados experimentales de las resistencias al aplastamiento, corregidos por el factor de duración de la carga son del orden del 62,8 % de los valores determinados a partir del CIRSOC 601.

## 6. AGRADECIMIENTOS

A los docentes, alumnos, becarios y graduados de Ingeniería Civil de la UTN-FRVT que participan activamente del grupo GIDEC.

## 7. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA Y REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CIRSOC 601 (2016). Instituto Nacional de Tecnología Industrial. Reglamento Argentino de Estructuras de Madera. Buenos Aires.

Sosa Zitto María Alexandra (2015). Comportamiento resistente y elástico de uniones construidas con elementos de fijación de acero tipo clavija en piezas aserradas de Eucalyptus grandis cultivado en Argentina. UTN Concepción del Uruguay.

Manavella R.D., Guillaumet A.A., Filippetti M.C., Tortoriello M., Alí Mossre (2016). Resistencia al aplastamiento en madera de álamo, influencia del diámetro de perno y la densidad. XXXVII Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural. Asunción. Paraguay.

UNE-EN 383:2007 (2007). Agencia Esp. de Norm. y Certificación. Estructuras de madera. Métodos de ensayo. Determinación de la resistencia al aplastamiento y del módulo de aplastamiento para los elementos de fijación tipo clavija.

**Estudios preliminares sobre la disposición del alcantarillado en redes viales conforme el efecto de la recurrencia del agua en superficie.  
Caso de aplicación: Sur de Santa Fe.**

**Preliminary studies on the arrangement of sewerage in road networks according to the effect of surface water recurrence. Application case: South of Santa Fe.**



Destacados por cantidad de "ME GUSTA" en las fechas del evento

**Vanina Piñero, Romina Nuevas, Martina Cutró**

Grupo Geomática, Facultad Regional Venado Tuerto, UTN

[vaninapinero@gmail.com](mailto:vaninapinero@gmail.com) , [rominianuevasgarbero@gmail.com](mailto:rominianuevasgarbero@gmail.com) , [martinacutro08@gmail.com](mailto:martinacutro08@gmail.com)

### Resumen

El sur de la provincia de Santa Fe es un territorio de escasa pendiente que no posee redes de escurrimiento definidas, resultando para diversas precipitaciones agua acumulada en la superficie. Se destaca además que el sector destina gran parte de su territorio a la producción agrícola-ganadera por lo cual, que el sistema vial se encuentre en óptimas condiciones, resulta en estas circunstancias fundamental. Motivado por esto, el presente trabajo tiene como objetivo analizar el posicionamiento de alcantarillas existentes de acuerdo con las trazas viales y sectores aledaños que presentan agua en superficie. Para el desarrollo del mismo se trabajó con productos satelitales y tecnologías de sistemas de información geográfica. Como resultado preliminar, se obtuvo un mapa indicativo de los escenarios de las redes viales conforme las situaciones de agua en superficie. Se espera al finalizar el trabajo, que éste sea propicio para la toma de decisiones en las planificaciones.

### Palabras clave:

Agua superficial, Alcantarillas, Red vial, SIG, Teledetección.

### Abstract

The south of the province of Santa Fe is a territory with a steep slope that does not have defined runoff networks, resulting in accumulated water on the surface in the event of various precipitations. It should also be noted that the sector devotes a large part of its territory to agricultural and livestock production, so that the road system is in good condition, which is essential in these circumstances. Motivated by this, the present work aims to analyze the positioning of existing culverts according to the road traces and surrounding sectors that present surface water. For the development of this work we worked with satellite products and geographic information systems technologies. As a preliminary result, an indicative map of the scenarios of road networks according to surface water situations was obtained. At the end of the work, it is expected that it will be useful for decision making in planning.

### Keywords:

Superficial water, Sewers, Road Network, SIG, Remote sensing.

## Introducción

La región Sur de Santa Fe posee gran parte de su superficie destinada a la producción agropecuaria, participando del complejo agroexportador más importante del país. El desarrollo de esta actividad, sumado a la presencia de tres rutas nacionales que la atraviesan, ha venido promoviendo el asentamiento y la radicación en el territorio de industrias de diversas ramas (Castagna et al., 2009). Conforme a esto, que el sistema vial se encuentre en óptimas condiciones es un factor indispensable para el desarrollo del sector rural en materia ambiental y productiva, dado que la comunicación generada favorece a la igualdad de oportunidades en diversos ámbitos; siendo los proyectos de mejoramiento, mantenimiento y rehabilitación vial la prioridad (SDELAN ARGENTINA;2017). El deterioro de las redes puede generar accidentes, demoras en los desplazamientos a los centros de producción, y demás.

En cuanto a las características hidrológicas de la zona, la región se encuentra conformada por Sistemas Hidrológicos No Típicos (SHNT) los cuales tienen la particularidad de que no se desarrollan bajo el concepto de cuenca, es decir, no se tiene ni la superficie tributaria definida ni la relación puntual (Fertanoni; 1983). Estos sistemas son escenarios frágiles, los cuales ante diversos eventos hídricos pueden generar problemáticas sociales, políticas y económicas: para lluvias copiosas se producen anegamientos e incremento de la napa freática y en épocas de sequía una disminución del recurso tanto en cantidad como en calidad. (Guevara Ochoa; 2015). Los análisis hidrológicos convencionales afrontan el estudio de inundaciones y su predicción a través del registro histórico de caudales. En esta zona, surgen dos cuestiones conforme lo anterior: por un lado, la escasa información de este tipo de datos, y por el otro, la representatividad parcial de los caudales en el sistema, puesto que otro factor y quizás hasta más importante es la extensión de las aguas que hacen al anegamiento en el sistema (Borzi, Cellone, Carol; 2017). Es por ello que resulta necesario recurrir a otras herramientas tendientes a dilucidar bajo qué condiciones se producen anegamientos e inundaciones.

Se destaca que mediante el procesamiento digital de imágenes provenientes de sensores remotos es posible visualizar el agua superficial, gracias al contraste de la misma respecto al resto de las cubiertas terrestres en el espectro electromagnético (Degioanni, Cisneros, Rang; 2001). De esa manera es posible distinguir áreas con anegamiento, o bien que son potencialmente riesgosas a futuro por tener un deficiente drenaje y en algunos casos la ausencia del mismo. Además, con el objeto de lograr un mejor análisis, resulta beneficioso incorporar las herramientas que ofrecen los SIG (Sistemas de información geográfica), ya que posibilitan la creación de mapeos con mayor grado de precisión y una mejor gestión de los datos que se poseen (Di Bella et al., 2008).

## Objetivos

El objetivo de este trabajo es analizar el posicionamiento de alcantarillas existentes de acuerdo con las trazas viales y sectores aledaños que presentan agua en superficie con determinada periodicidad, para el Sur de Santa Fe.

## Metodología

Para la realización del presente trabajo fue utilizado principalmente el software de sistemas de información geográfica QGIS. Como materiales base, se utilizó el producto de formato ráster GLAD global surface water dynamics 1999-2020 (Pickens et al.,2020), el cual manifiesta los cambios de área del agua superficial en el tiempo; máscaras de agua vectoriales de diferentes fechas, de las series históricas de los satélites Landsat, elaboradas en el laboratorio de Teledetección de UTN-FR Venado Tuerto, y redes viales (de diversas jerarquías) y de ferrocarril, obtenidas en formato vectorial desde la página de IDESF – Infraestructura de Datos Espaciales de la Provincia de Santa Fe.

Para iniciar con el trabajo fue visualizada en el software la información en conjunto, con el objeto de tener una visión generalizada del comportamiento del agua en la zona de estudio. Se reclasificó al producto GLAD conforme las situaciones de agua en superficie que resultaban de interés para este trabajo, como ser agua permanente, incremento de agua en determinados periodos, etc. En la siguiente tabla es presentada dicha reconversión.

Agua permanente	Condición de agua 1
Ganancia de agua	
Agua en período seco	
Alta frecuencia	
Agua en período húmedo	Condición de agua 2
Estacional estable	
Agua potable	Condición de agua 3

**Tabla 1: Reclasificación del producto GLAD**

Posteriormente, con motivo de identificar sectores de las redes viales que presentan cercanía a superficies de agua tanto del producto reclasificado como de las máscaras de agua del laboratorio, se generaron capas vectoriales de tipo punto. Dichos puntos fueron ubicados en los tramos de las redes de transporte que se presentaban próximos (menos de 500 metros a éstas). Luego, con motivo de que los tramos próximos a los puntos reciban la información del tipo de permanencia de agua provista por el producto reclasificado, se generó desde la capa punto un área de influencia la cual interceptó a las capas de redes. Esta nueva capa generada de sectores de redes fue unida a la capa original, con motivo de una mejor e integrada visualización.

Al mismo tiempo, fue generada la capa vectorial de tipo punto alcantarillas, en la cual se ubicaron las alcantarillas provenientes de información de tipo papel e inspección visual desde el software, mediante imágenes satelitales. El tratamiento posterior que recibió dicha capa para volcar la información hacia las capas de redes fue la misma que se describió en el párrafo anterior.

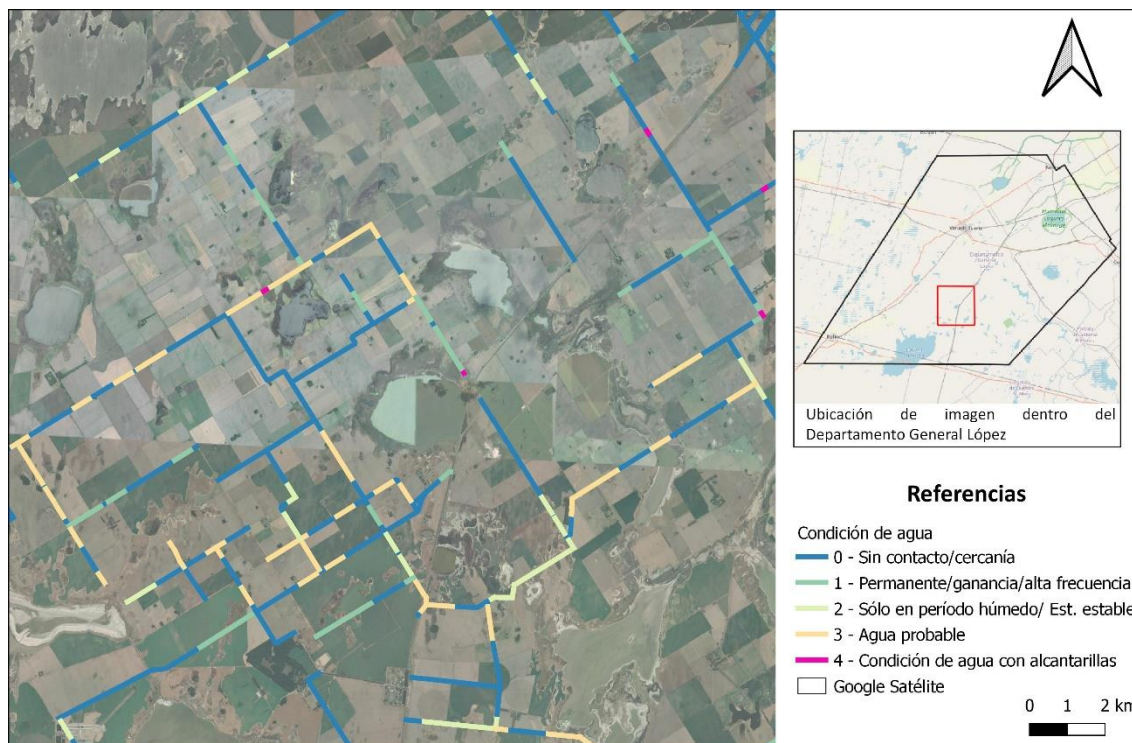
Con motivo de integrar toda la información, a través de herramientas de geoprocreso y gestión de información, fue conformada la capa de redes viales y FFCC final; pero debido a que la información geoespacial contenida en esta integración no se presentaba de manera útil para la visualización, hubo que readecuarla recurriendo a condicionantes y clasificadores.

Para finalizar, se aplicó una escala de color sobre la clasificación conforme su condición. Cabe destacar que para el grado de avance del trabajo fue desarrollada toda la metodología explicitada, sólo que a la fecha no fueron registradas en el mapa todas las alcantarillas

existentes, con lo cual debe considerarse al mismo como un desarrollo esquemático, siendo sus resultados parciales.

## Resultados

Como resultado parcial se obtuvo el siguiente mapa indicativo de la situación de las redes viales, conforme los escenarios de agua en superficie.



**Figura 1: Mapa indicativo de la situación de las redes viales, conforme a los escenarios de agua en superficie.**

## Conclusiones

Como conclusiones parciales del trabajo, según puede apreciarse en los resultados, existen numerosos tramos de las redes viales analizadas que se ven afectados por el agua en superficie en sus diferentes condiciones; restando analizar una vez ingresadas la totalidad de las alcantarillas, cuáles son los tramos que requerirán mayor atención.

Se destaca la potencialidad del uso de las herramientas de teledetección y SIG para el manejo de este tipo de información, sobre la cual se toman decisiones; siendo que generalmente se presenta la misma en formato planilla y al poder mapearla se logra una visión íntegra de la situación que se analiza.

## Bibliografía

Borzi, G., Cellone, F., Carol, E. (2017). Balances hídricos y teledetección aplicados al estudio de inundaciones en la cuenca del Río Samborombón, Buenos Aires, Argentina. En VI Congreso Bianual PROIMCA y IV Congreso Bianual PRODECA. Valladolid: Centro de Investigaciones Geológicas.

Castagna, A., Romero, L., Boscolo P., Gutierrez, S., Secreto M. F., Ventola, V. (2009). Caracterización del modelo socioprodutivo del sur de Santa Fe: primeros avances. Instituto de Investigaciones Económicas, Escuela de Economía. Recuperado a partir de <http://rehip.unr.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/2133/7734/Castagna,%20Romero,%20Bascolo,%20Gutierrez,%20Secreto,%20Ventola,%20caracterizacion%20del%20modelo.pdf?sequence=3>

Degioanni, A., Cisneros, J., Rang, S. (2001). Teledetección y SIG para la gestión hidrológica del territorio. Revista de Teledetección N°15, mes de junio. Recuperado a partir de [http://telenet.fa1.cie.uva.es/promotores/revista/revista\\_15/AET15\\_4.pdf](http://telenet.fa1.cie.uva.es/promotores/revista/revista_15/AET15_4.pdf)

Di Bella, C.M., Posse, G., Beget, M.E., Fischer, M.A., Mari, N., Veron, S. (2008). La teledetección como herramienta para la prevención, seguimiento y evaluación de incendios e inundaciones. Ecosistemas 17(3):39-52. Recuperado a partir de [https://www.researchgate.net/publication/39499476\\_La\\_teledeteccion\\_como\\_herramienta\\_para\\_la\\_preencion\\_seguimiento\\_y\\_evaluacion\\_de\\_incendios\\_e\\_inundaciones](https://www.researchgate.net/publication/39499476_La_teledeteccion_como_herramienta_para_la_preencion_seguimiento_y_evaluacion_de_incendios_e_inundaciones)

Fertanoni, M., & Prendes, H. (1983). Hidrología en áreas de llanura. Aspectos conceptuales teóricos y metodológicos. In M. C. Fuschini Mejía (Ed.), Hidrología de las grandes llanuras - Coloquio de Olavarría (pp. 119–156). Buenos Aires, Argentina: Comité Nacional Argentino para el Programa Hidrológico Internacional en conjunto con UNESCO.

Guevara Ochoa, C. (2015). Una metodología para el manejo integral de extremos hídricos en una cuenca rural en zona de llanura. Caso de estudio: Cuenca Arroyo Santa Catalina, provincia de Buenos Aires (Tesis doctoral). Facultad de Ingeniería y la Facultad de Ciencias Naturales. Recuperado a partir de [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/47518/Documento\\_completo.Pdf-A.pdf?sequence=3&isAllowed=y](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/47518/Documento_completo.Pdf-A.pdf?sequence=3&isAllowed=y)

Pickens, A. H., Hansen, M. C., Hancher, M., Stehman, S. V., Tyukavina, A., Potapov, P., Marroquin, B., Sherani, Z. (2020). Recuperado a partir de <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111792>

SDELAN ARGENTINA. (2017). Caminos rurales, por un desarrollo rural en sentido amplio (Reporte técnico). Honorable Senado de la nación argentina. Recuperado a partir de <https://www.senado.gob.ar/upload/23597.pdf>



## Empleo de residuos de desmote de algodón y resina urea formaldehído para la fabricación de tableros de partículas.

### Use of cotton gin waste and urea formaldehyde resin for the manufacture of particle board.

Agustina Trevisan, Luciano G. Massons, Benítez Florencia

*Centro de Investigación y Desarrollo para la Construcción y la Vivienda (CECOVI), Facultad Regional Santa Fe, UTN (Lavaisse 610, Santa Fe).*

*E-mail de autores: [atrevisan@frsf.utn.edu.ar](mailto:atrevisan@frsf.utn.edu.ar); [lmassons@frsf.utn.edu.ar](mailto:lmassons@frsf.utn.edu.ar); [fbenitez@frsf.utn.edu.ar](mailto:fbenitez@frsf.utn.edu.ar)*

#### **Resumen**

El objetivo de este estudio es evaluar la factibilidad de producir tableros aglomerados de partículas, utilizando residuos de desmote de algodón generados en plantas desmotadoras del noreste argentino. La combinación de disponibilidad y bajo precio de estos residuos da lugar a un material para ser aplicado en mobiliario y elementos constructivos contribuyendo a solucionar problemas como: recursos madereros escasos, consecuencias de la industria forestal; efectos socioambientales del acopio a cielo abierto de residuos lignocelulósicos y el déficit habitacional de nuestro país. En este estudio, se evaluó densidad y resistencia a flexión de los tableros de partículas, y la variabilidad de sus propiedades mecánicas con la variación de resina. Paralelamente, se analizó el efecto sobre propiedades mecánicas de la incorporación de tejido de yute como refuerzo superficial. Los resultados obtenidos indican que es posible producir aglomerados con estos residuos y resina urea-formaldehído con propiedades cercanas a tableros comerciales de baja densidad.

**Palabras Claves:** Residuo de desmote; Resina urea - formaldehído; Aglomerado.

#### **Abstract**

The objective of this study is to evaluate the feasibility of producing particleboard using cotton gin waste generated in ginning plants in northeastern Argentina. The combination of availability and low price of these residues gives rise to a material to be applied in furniture and constructive elements contributing to solve problems such as: scarce wood resources, consequences of the forestry industry; socio-environmental effects of open-air collection of lignocellulosic residues and the housing deficit in our country. In this study, the density and bending strength of particleboards and the variability of their mechanical properties with resin variation were evaluated. At the same time, the effect on mechanical properties of the incorporation of jute fabric as surface reinforcement was analysed. The results obtained indicate that it is possible to produce agglomerates with these wastes and urea-formaldehyde resin with properties close to low-density commercial boards.

**Keywords:** Ginning residue; Urea-formaldehyde resin; particleboard.

### **1. Introducción**

La producción algodonera tiene una gran concentración geográfica en el norte de la provincia de Santa Fe, las provincias de Chaco, Formosa, Santiago del Estero y Corrientes. Además, es una actividad productiva que acarrea importantes problemáticas que deben solucionarse.

Según datos de campañas anteriores, se puede afirmar que de la producción bruta de algodón se obtiene aproximadamente 30% a 40 % de residuo constituido por fibrilla, ramas, carpelos, etc. y actualmente sin destino alguno. En las últimas décadas se ha consolidado la cosecha mecánica, que mejora notablemente la rentabilidad del cultivo, pero también implica mayor producción de residuo, el cual debe tener una correcta disposición, generando grandes inconvenientes y costos a las empresas.

Estos residuos habitualmente se acopian a cielo abierto por lo que resultan un hábitat excepcional para alimañas y roedores y, además, son autoinflamables, lo cual, junto a las condiciones climáticas de la zona, representan un peligro para las comunidades cercanas, en cuanto a salud pública como para la calidad del ambiente.

Actualmente, dentro de los intentos para dar destino a los residuos de desmote, se plantea su utilización como alimento balanceado para ganado, lo que se ve muy limitado por una baja digestibilidad del material frente a otras opciones de alimentos (Myer y Hersom, 2017; Young et al, 1979). Se contempla también el compostaje con otros materiales orgánicos residuales, pero es un problema su escasa difusión y rentabilidad. (Ayers, 1997; Gordon et al, 2006).

En este escenario, se presenta como alternativa la posibilidad de elaborar tableros de partículas basados en residuos lignocelulósicos para ser utilizados como cerramiento o revestimiento, lo cual constituye una tecnología de construcción en seco con características aislantes termoacústicas y resistencia a la degradación; contribuyendo con esto a resolver los problemas socioambientales de esta agroindustria, y se vislumbra con ellos posibles aplicaciones a fin de mejorar las condiciones habitacionales, ya que, en las provincias en las que se desarrolla esta actividad productiva, se presentan porcentajes elevados de construcciones con importantes deficiencias en sus cerramientos (INDEC, 2010).

En el presente trabajo se presentan algunos avances obtenidos en el proyecto con relación a las características del residuo, su acondicionamiento, la posibilidad de obtención de aglomerados, las propiedades mecánicas obtenidas y sus posibles aplicaciones, además se detallan las perspectivas futuras identificadas para la investigación.

## **2. Materiales y Métodos**

Para el desarrollo del estudio se utilizó residuo de desmote del algodón proveniente de una desmotadora ubicada al norte de la provincia de Santa Fe.

Para la elaboración de los aglomerados se realizó la molienda del residuo mediante una moladora de granos marca LOYTO N°2 monofásica. Luego del proceso de molienda, el residuo se secó en estufa a  $105 \pm 2$  °C para reducir su contenido de humedad natural de aproximadamente 16 % hasta un 3 %. Posteriormente se realizó el mezclado manual del residuo de desmote con la resina urea formaldehído (Coladur 65%) provista por Jucarbe S.A. (Argentina), con contenido de sólidos mínimo de 65 %, densidad de 1,26 g/cm<sup>3</sup>, tiempo de gelación a 100 °C de 6 min y viscosidad a 25 °C de 950 cps. Se adicionó agua a la resina hasta alcanzar un contenido de sólido de 55 % y se empleó como catalizador un 5 % de solución saturada sulfato de amonio.

La proporción de resina utilizada para los aglomerados, expresada como sólidos en proporción al peso de residuo de desmote varió de 8.3 % a 19.3 %. Luego de homogeneizar la mezcla, se colocó en un molde, se prensó hasta alcanzar una presión máxima de 4.75 MPa para luego mantener el material a 70°C de temperatura por 30 minutos, obteniendo tableros de dimensiones nominales de 170 x 170 x 10 mm.

Se evaluó la utilización de tejido de yute bidireccional de densidad superficial 252 g/m<sup>2</sup>, como refuerzo. El mismo fue impregnado con la misma proporción de resina que el residuo de desmote (Desirello et al, 2004).

Sobre los aglomerados obtenidos se realizaron determinaciones de densidad y de resistencia a flexión. La densidad se determinó de acuerdo al procedimiento de la norma IRAM 9705. La determinación de la resistencia a flexión y módulo de elasticidad se realizó de acuerdo a los lineamientos de la norma IRAM 9706, manteniendo una longitud de probetas de 160 mm. Para ello se cortaron las placas moldeadas en 4 probetas de dimensiones nominales 160 x 40 x 10 mm. Estas probetas se acondicionaron durante 48 a 72 hs previas al ensayo, en un ambiente controlado a  $20 \pm 2$  °C y  $65 \pm 5$  % de humedad relativa. La carga se aplicó en el centro de la luz entre apoyos, que se mantuvo igual a 140 mm, con una velocidad de deformación constante de 12 mm/min, hasta que se verificó la falla de la probeta.

### 3. Resultados y discusión

En la tabla 1 se observan los valores promedio de densidad, resistencia a flexión (MOR) y módulo de elasticidad (MOE) obtenidos para los aglomerados elaborados con residuo de desmote. Las muestras producidas sin refuerzo se denominan N y aquellas en las que se incorpora una lámina de yute bidireccional en cada cara se identifican como N+Y.

Identificación	Presión (MPa)	Resina	MOR [MPa]		Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]		MOE [MPa]	
			N	N+Y	N	N+Y	N	N+Y
V	4,75	8,3%	0,30	1,04	530	600	15	62
U	4,75	11,9%	1,62	3,06	610	600	138	160
R	4,75	15,1%	3,15	5,53	630	700	269	358
S	4,75	19,3%	3,05	5,85	630	670	324	390

Tabla 1: Propiedades físicas y mecánicas de los aglomerados

La densidad de los aglomerados varía entre 0.53 g/cm<sup>3</sup> a 0.63 g/cm<sup>3</sup> para aquellos que no incorporan refuerzo (N) y entre 0.60 g/cm<sup>3</sup> a 0.67 g/cm<sup>3</sup> para los N+Y.

Los valores de densidad obtenidos colocan a los aglomerados sin refuerzo en la clasificación de baja densidad (LD) según la norma ANSI A208.1 (ANSI, 1999), que establece un límite superior de 640 kg/m<sup>3</sup>. Paralelamente, la incorporación del refuerzo de yute bidireccional incrementa los valores de densidad, alcanzando los aglomerados con mayor porcentaje de resina la clasificación de media densidad (M) según ANSI A208.1 (640 a 800 kg/m<sup>3</sup>) (ANSI, 1999).

Los resultados de resistencia a flexión (MOR) de los aglomerados producidos (tabla 1) indican que el aumento en el contenido de resina permite incrementar los valores de resistencia a flexión, tanto en los casos de aglomerados simples como en aquellos en los que se incorporan refuerzos. La norma ANSI A208.1 (ANSI, 1999) establece un valor mínimo de resistencia a flexión de 3 N/mm<sup>2</sup> para los paneles LD-1 y de 5 N/mm<sup>2</sup> para los clasificados como LD-2. En el caso de los paneles de media densidad (M) el valor exigido de resistencia a flexión corresponde a 11 N/mm<sup>2</sup>. De acuerdo a esta norma, los paneles clasificados como correspondientes a baja densidad (LD-1 y LD-2) se reservan para su aplicación en interiores de puertas, mientras que los clasificados como de densidad media (M) pueden emplearse en aplicaciones comerciales, industriales y de construcción.

Se puede observar que, en el caso de los aglomerados sin refuerzo, sólo es posible alcanzar el valor mínimo de resistencia a flexión para contenidos de resina de 19,3 %. Los aglomerados que incorporan refuerzo permiten alcanzar el mínimo de 3 N/mm<sup>2</sup> y de 5 N/mm<sup>2</sup>, para contenidos de resina a partir de 11,9 % y de 15.1 %, respectivamente (Fig. 2).

Los resultados indican que, el incremento en la densidad del material y del contenido de resina (Fig. 1), tienen un efecto positivo en el desarrollo de resistencia (Fig. 2), así como con la rigidez, evidenciada con el incremento del módulo de elasticidad (MOE).

Se puede afirmar que a medida que aumenta el contenido de resina, aumenta la diferencia de resistencia entre los tableros con y sin yute, lo cual puede explicarse dado que la adherencia entre el yute y el residuo de desmote de algodón también aumentan. Al colocar el yute, si bien la densidad no cambia significativamente, aumenta la resistencia del aglomerado, ya que el yute actúa como refuerzo mecánico, pudiéndose obtener un aumento en la resistencia que ronda los 3 MPa para 19.3 % de resina, lo cual permitió alcanzar valores establecidos por la norma ANSI A208.1 (ANSI, 1999). Este efecto resulta poco significativo para los menores contenidos de resina, ya que se aprecia que este refuerzo tiende a desprenderse del aglomerado al acercarse la falla (figura 3a). Contrariamente, para mayores contenidos de resina el yute se mantiene adherido y se observa la rotura de sus fibras, mostrando una efectiva colaboración en la mejora del comportamiento mecánico (Fig. 3b y 3c).

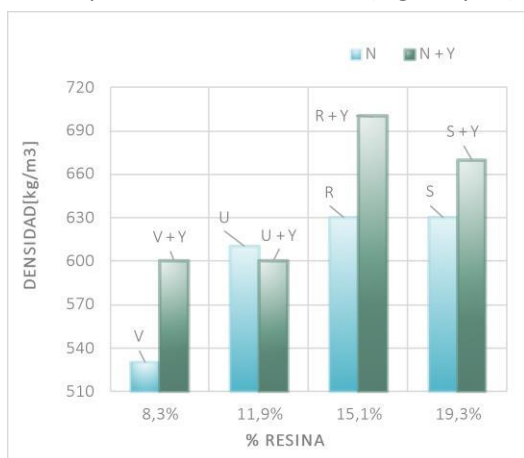


Figura 1: Densidad de los aglomerados

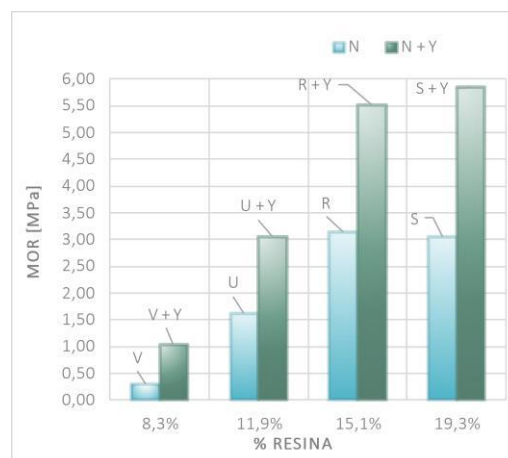


Figura 2: Resistencia a flexión de los aglomerados

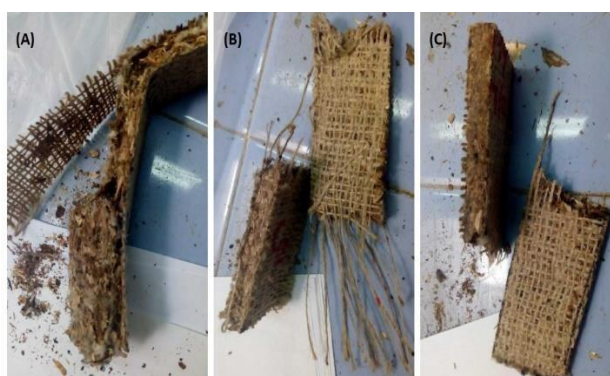


Figura 3: Modo de falla de los aglomerados reforzados con yute: a) probetas U (N+Y) yute se desprende del aglomerado; b) probetas R (N+Y) yute se mantiene adherido y se cortan algunos hilos; c) probetas S (N+Y) yute fuertemente adherido y con rotura completa en la zona de falla del aglomerado.

Resulta evidente que la resistencia obtenida para los aglomerados elaborados con el residuo de desmote completo se ve afectada por la heterogeneidad de este y la presencia de partículas de forma y tamaño no uniforme, como lo son los carpelos, ramas y hojas; ya que resulta muy complejo el desarrollo de las uniones entre estos componentes, lo que produce una considerable disminución de la resistencia por la presencia de fibras de algodón, que, por su gran superficie y aglomeración, ocasionan una deficiente impregnación con la resina, generándose núcleos de resina-fibras pobremente unidos. En la figura 4 se observa la relación tensión – deformación de las probetas ensayadas. Allí se puede observar en las gráficas N+Y pequeños saltos que se deben a los cortes que se producen en los hilos de la tela bidireccional a medida la probeta se va acercando a la falla.

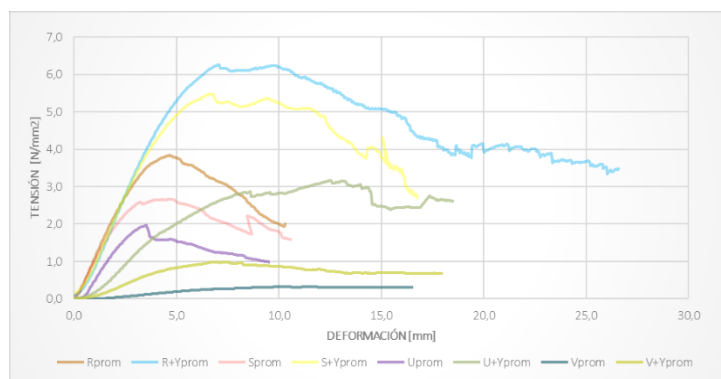


Figura 4: Relación tensión – deformación de las probetas.

### Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos en la investigación, se puede concluir que:

- Es posible producir aglomerados a partir de los residuos del desmote y resina urea-formaldehído con propiedades cercanas a tableros comerciales de baja densidad, cumpliendo con los requisitos mínimos exigidos por las normas.
- Las características del residuo provocan demandas importantes de resina para lograr un buen comportamiento físico y mecánico del aglomerado lo que se traduce en mayores costos para la producción.
- La incorporación de refuerzos de yute incrementa significativamente la resistencia a flexión de los aglomerados, permitiendo alcanzar los niveles requeridos para tableros de baja densidad por la norma ANSI 208.1, sin incorporar pasos complejos para el proceso productivo.
- Los elevados contenidos de resina urea – formaldehído se relacionan con considerables emisiones de formaldehído, por lo que se evaluarán alternativas de reemplazo de esta resina por otra de mayor compatibilidad con el residuo o la incorporación de aditivos secuestrantes que permitan controlar esta característica.

### 4. Referencias

Este trabajo ha sido realizado bajo la dirección de la Ing. María Fernanda Carrasco en el marco del proyecto PID UTN ECUTIFE0004952TC “Aglomerados basados en residuos de desmote para su aplicación en viviendas y mobiliario”. (01/01/2018 – 31/12/2021).

### 5. Referencias

ANSI 208.1. Particleboard. American National Standards Institute, 1999.

AYERS, V. “Farmer Composting of cotton gin trash”. Reprinted from the Proceedings of the Beltwide Cotton Conference. Volume 2:1615-1616, pp 1615-1616. National Cotton Council, Memphis TN (EEUU), 1997.

DESIRELLO, C., CERINI, S., CHARADIA, R., SCALFI, R., LIBERMAN, C., STEFANI, P. M. Efecto de las condiciones de procesado sobre las propiedades mecánicas de aglomerados de cáscara de arroz. CONGRESO SAM/CONAMET 2004. UNL. Santa Fe, Santa Fe (Argentina), 2004.

GORDON, E., KEISLING, T. C., OLIVER, L. R., HARRIS, C. (2006). Two methods of composting gin trash. Communications in Soil Science and Plant Analysis 32 (3-4), 491-507.

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. Censo Nacional de Población, Hogares y Vivienda 2010. [http://www.censo2010.indec.gov.ar/resultadosdefinitivos\\_totalpais.asp](http://www.censo2010.indec.gov.ar/resultadosdefinitivos_totalpais.asp).

## **Evaluación de la vulnerabilidad del acuífero Pampeano frente a diferentes escenarios climáticos en la ciudad de Rafaela, Santa Fe (Argentina)**

### **Evaluation of the vulnerability of the Pampeano aquifer to different climatic scenarios in the city of Rafaela, Santa Fe (Argentina)**

**Milagros Márquez**

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Rafaela (Argentina)  
milagrosfmarquez@gmail.com

**Lara Tascón**

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Rafaela (Argentina)  
tasconlaraf@gmail.com

#### **Resumen**

El estudio de la problemática hídrica en zonas urbanas y periurbanas es uno de los principales desafíos actuales que merece un abordaje profundo para evitar desastres naturales futuros. El estudio del funcionamiento del medio hidrogeológico y la cuantificación de los procesos que intervienen son fundamentales para prevenir impactos ambientales negativos que afectan de manera directa e indirecta a la sociedad. El objetivo de este trabajo es evaluar la vulnerabilidad del acuífero Pampeano frente a diferentes escenarios climáticos. El área de estudio comprende el casco urbano de la ciudad de Rafaela y alrededores, tomando el límite a unos 2-4 km del sector periurbano. En el área de estudio los registros de precipitación anual muestran una tendencia de crecimiento en donde la relación de la precipitación con la recarga / descarga del primer acuífero (fm. Pampeano) que subyace el área de estudio son de principal interés para entender el funcionamiento hidráulico e hidrodinámico y luego poder establecer medidas de acción en la prevención de potenciales fuentes de contaminación generada por una falta de planificación territorial. La metodología utilizada para el desarrollo del trabajo comprende dos etapas. La primera consiste en la elaboración de un modelo conceptual hidrogeológico del funcionamiento hidráulico del acuífero Pampeano y la segunda etapa comprende la evaluación de la vulnerabilidad del acuífero mediante medidas in situ y procesamiento geomático mediante la utilización de Sistemas de Información Geográfica (GIS) integrados al modelo DRASTIC. Los mapas de vulnerabilidad generados se ajustarán a una adecuada variación paramétrica contrastando diferentes escenarios climáticos.

**Palabras Clave:** Vulnerabilidad – Acuífero Pampeano – DRASTIC – GIS

#### **Abstract**

The study of Hydrologic problems in urban and periurban areas is the main challenge to avoid natural future disasters. Hydrologic system functioning and its processes are fundamentals to prevent negative environmental effects which generate direct and indirect impacts in society. The aim of this work is assessment the vulnerability of Pampeano aquifer under different climatic scenarios. The study area includes urban and periurban zone of Rafaela City, taking a limit of 2-4 km since its periurban sector. Annual Precipitation registers of study area show growth trends where recharge- discharge relationship of the first hydrogeologic formation (fm. Pampeano) are fundamentals to understand hydraulic and hydrodynamic functioning and then

to establish action measures to prevent pollution potential sources because a deficient territorial planification. The methodology used to development this work include two fases. First, it consist in building a hydrogeologic conceptual model of Pampeano Aquifer and Second fase consist in assesment the aquifer vulnerability in situ using Geographic Information System (GIS) Techniques integrated it to a DRASTIC model. Vulnerability maps will be adjusted to a parametric variation contrasting different climatic scenarios.

**Keywords:** Vulnerability – Pampeano Aquifer – DRASTIC – GIS

## Introducción

La presión demográfica sin una planificación territorial adecuada causa impactos ambientales negativos en el medio ambiente (Giampietro, 1997). En Argentina, la contaminación en las grandes ciudades es crítica y afecta los recursos naturales violando los principios de sustentabilidad ambiental. Entre los factores biofísicos más afectados y de menor visibilidad se encuentran los acuíferos, de alta importancia social ya que son los encargados de proteger, almacenar y transportar el agua subterránea (Auge, 2006). El estudio del comportamiento hidrogeológico en áreas urbanas es complejo debido a las alteraciones que genera, en el ciclo hidrológico, la impermeabilización de la superficie, la explotación de acuíferos para consumo de la población o de la industria, así como las variaciones en la recarga debido a pérdida de la red de suministros, de drenaje pluvial y/o cloacal (Lerner, 2002). En la ciudad de Rafaela, el 100 % de sus habitantes se abastecen de agua proveniente de fuente subterránea (Boidi, 2003).

La dinámica hídrica local ha cambiado los últimos años producto de las variaciones climáticas regionales y globales generando un ascenso en los niveles freáticos y problemas graves en la población. Los sistemas acuíferos se ven afectados en cuanto a su calidad y cantidad, pero la dificultad de su medición no permite incluirlos adecuadamente en la planificación urbana ambiental. Una manera de poder anticiparse a la protección del agua subterránea es incluir en la gestión hídrica el concepto de vulnerabilidad de acuíferos, entendiéndose como tal a la susceptibilidad de un acuífero de ser afectado adversamente por una carga contaminante (Foster, 1987). La vulnerabilidad se puede considerar como una propiedad referida exclusivamente al medio hidrogeológico (tipo de acuífero, profundidad, recarga, conductividad hidráulica) sin tener en cuenta la incidencia de las sustancias contaminantes (vulnerabilidad intrínseca) o se puede considera la carga y tipo de contaminante además del comportamiento del medio (vulnerabilidad específica) (Custodio, 1995; Auge, 2004). La geología e hidrogeología local se puede describir ordenada en el sentido de las edades crecientes observando en la culminación de la columna estratigráfica a los sedimentos pampeanos (acuífero Pampeano), depósitos cuaternarios (Pleistoceno) de origen eólico y fluvial constituidos por loess y limo loessoides que en su sección superior, de 53 m de espesor, contiene a la capa freática, mientras que la base es un estrato limo arcilloso de 7 m de potencia que se comporta como acuitardo, y es límite con la formación Puelche (acuífero Puelche), de origen fluvial, formada por arenas amarillentas cuarzosas de grano fino a mediano correspondientes al periodo transicional Neogeno-Cuaternario (Pleistoceno Inferior-Plioceno) (Boidi, 2003; Auge, 2004). El paquete sedimentario conformado por el acuífero Pampeano y Puelche es el portador de aprovisionamiento de agua subterránea en todo el territorio provincial (Fili y Tuchneider, 1977).

En Rafaela la variable externa que condiciona directamente la vulnerabilidad del acuífero pampeano es el agua importada de red proveniente de una captación del acuífero Puelches en la ciudad de Esperanza. En sectores con red de agua potable y cloacas, el agua importada que se infiltra y recarga al acuífero Pampeano es aproximadamente el 20 % de agua suministrada.

La situación es más crítica en sectores sin red de cloacas en donde gran parte del agua suministrada percola a la capa freática (Boidi, 2003). Este trabajo propone abordar un estudio de vulnerabilidad del área urbana y periurbana de la ciudad de Rafaela, primeramente logrando entender el comportamiento hidrodinámico del sistema y luego desarrollando mapas de vulnerabilidad ante diferentes escenarios de variación paramétrica.

## Metodología

Este trabajo comprende dos actividades principales, elaboración del modelo conceptual del funcionamiento hidrodinámico y evaluación de la vulnerabilidad del acuífero Pampeano. A continuación, se detalla la metodología seguida en cada una.

1-Elaboración del modelo conceptual: se siguió una metodología clásica adaptada de Auge (2004), que comprende: a) Recopilación y análisis de información bibliográfica. Recopilación de información meteorológica e hidrodinámica del acuífero Pampeano. b) Muestro de pozos. Se realizaron campañas de reconocimiento y muestreo de pozos del acuífero Pampeano. En cada lugar de muestreo se midieron los parámetros siguientes: nivel estático, pH, conductividad, temperatura del agua y del aire. Se extrajeron muestras de agua para la determinación de nitratos. Las salidas de campo se realizaron en colaboración con becarios e investigadores afectados al trabajo. c) Sistematización, procesamiento y análisis de la información. Se elaboró una base de datos geoespacial vinculada con información meteorológica, topográfica e hidrogeológica con el objeto de generar mapas específicos. e) Integración de la información. Mediante la integración de la información sistematizada se generó el modelo conceptual de funcionamiento hidrodinámico acuífero Pampeano en el área de estudio. Dicha actividad se realizó en un tiempo de aproximadamente 18 meses.

2-Evaluación de vulnerabilidad: a modo de referencia se siguió, para la elaboración de ciertas tareas, el marco metodológico general propuesto por Daly y Warren (1998). En primer lugar, sobre la base del modelo hidrodinámico, se evaluó la vulnerabilidad del acuífero Pampeano mediante el método DRASTIC (Aller et al., 1987). Este método calcula la vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos mediante índices que van de 1 a 10 de acuerdo a las características y el comportamiento de las variables consideradas en el acrónimo DRASTIC: D(Profundidad del agua freática), R(Recarga – Recarga Neta), A(Acuifero – Litología del Acuífero), S(Tipo de Suelo), T(Topografía – Topografía), I(Impact – Litología de la zona no saturada) y C(Hidráulica Conductividad – Conductividad Hidráulica del acuífero). Luego se realizó un mapa de vulnerabilidad promedio por zonas que permitió realizar comparaciones relativas. Dicha actividad se realizó en un tiempo de aproximadamente 3 meses.

## Resultados

*Tabla 1. Método DRASTIC para cada punto considerado*

Punto	X	Y	Z	DRASTIC
P1	5351775,40	6536807,10	5,10	88
P2	5354317,40	6537357,40	5,70	88
P3	5356939,30	6536879,10	4,30	98
P4	5362134,20	6534863,20	1,00	103
P5	5354606,10	6538355,70	7,00	88
P6	5358452,20	6537665,30	4,10	98
P7	5361035,10	6537171,50	4,50	98
P8	5352353,90	6539865,80	3,00	98
P9	5355897,40	6539249,30	5,90	88
P10	5362681,20	653730,70	1,00	103
P11	5352539,10	6540899,50	4,20	98
P12	5358944,50	6540350,90	3,50	98
P13	5361602,80	6540245,90	1,90	98
P14	5362939,40	6539384,40	1,00	103
P15	5353121,50	6543989,30	2,80	98
P16	5357109,80	6542924,80	2,70	98
P17	5357906,00	6541999,50	8,00	88
P18	5361682,50	6541737,40	1,40	103
P19	5363226,40	6541019,10	1,00	103
P20	5358247,50	6543855,20	2,60	98
P21	5361138,50	6543855,20	3,00	98
P22	5363896,40	6544553,10	1,00	103
P23	5353722,90	6547105,60	9,00	88
P24	5358610,00	6545729,00	1,60	98
P25	5358871,40	6547256,50	2,80	98
P26	5361468,50	6546726,10	4,10	88
P27	5356512,60	6548757,60	1,30	103
P28	5359121,60	6548281,10	2,30	98
P29	5364325,50	6547265,30	2,40	98
P30	5354965,40	6551472,00	1,60	98
P31	5359058,40	6550684,50	2,40	98
P32	5364738,90	6549595,20	1,10	103
P33	5356236,60	6547086,50	2,20	98
P34	5356742,10	6545722,10	1,00	103
P35	5355218,90	6544187,50	1,80	98
P36	5355675,00	6542525,10	3,20	98
P37	5354521,90	6540770,00	4,20	98
P38	5355459,30	6536912,10	2,90	98
P39	5358483,30	6536642,30	1,90	98
P40	5360526,70	6535845,30	1,30	103



Nivel freático en Rectángulo Catastral Rafaela (2019)

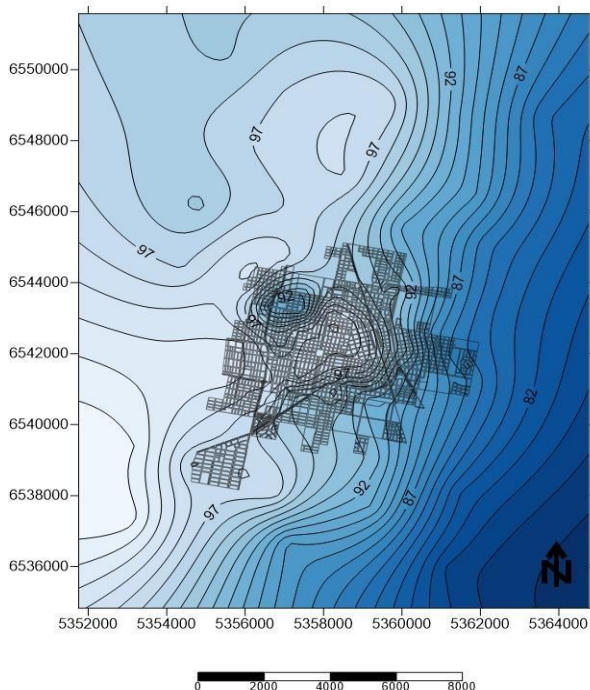


Figura 1. Isolíneas del Nivel Freático en el Rectángulo Catastral 2019

Para el cálculo detallado vamos a considerar los puntos P17 y P34.

$$DRASTIC = (Dr * Dw) + (Rr * Rw) + (Ar * Aw) + (Sr * Sw) + (Tr * Tw) + (Ir * Iw) + (Cr * Cw) \text{ ECUACIÓN 1}$$

Punto P17:

Dr	Rr	Ar	Sr	Tr	Ir	Cr
7	3	2	7	10	1	2

$$DRASTIC (P17) = (7 * 5) + (3 * 4) + (2 * 3) + (7 * 2) + (10 * 1) + (1 * 5) + (2 * 3) = 94 \text{ ECUACIÓN 2}$$

Resultado menor a 100 por lo que la vulnerabilidad del acuífero es insignificante.

Punto P34:

Dr	Rr	Ar	Sr	Tr	Ir	Cr
10	3	2	7	10	1	2

$$DRASTIC (OW35) = (10 * 5) + (3 * 4) + (2 * 3) + (7 * 2) + (10 * 1) + (1 * 5) + (2 * 3) = 109 \text{ ECUACIÓN 3}$$

Resultado entre 101 y 119 por lo que la vulnerabilidad del acuífero se encuentra muy baja.

## Conclusiones

Como se demuestra en el mapa de isótopos (Figura 1) el flujo del agua subterránea en el rectángulo catastral que comprende al área de estudio adopta el sentido oeste - este, significando una mayor profundidad de los niveles freáticos en el sector oeste (recarga del acuífero) y una cercanía con la cota geográfica en el sector este (menores profundidades del nivel freático). Relacionado esta hipótesis con la vulnerabilidad del acuífero calculado por el método DRASTIC mediante todos los parámetros que lo fundamentan (Tabla 1) se demuestra

freático se encuentra cerca de la superficie (en este caso, zona este) el acuífero Pampeano tiende a ser más vulnerable frente a una posible contaminación del agua subterránea.

### **Bibliografía**

Aller L., Bennet T., Lehr J., Petty R., Hackett G. 1987. DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic setting. U.S. EPA(600-2-87-036). 451 pp.

Auge M. 2004. Vulnerabilidad de acuíferos. Revista Latino-Americana de Hidrogeología. (4):85-103 pp.

Auge M. P. 2004. Hidrogeología Ambiental. Servicio Geológico y Minero Argentino. Dirección de Geología Ambiental y Aplicada. SEGEMAR. 131 pp.

Auge, 2006 Boidi M. A. 2003. Aspectos hidrogeológicos urbanos y sanitarios en la ciudad de Rafaela. Secretaria de Obras Públicas y Privadas. Municipalidad de Rafaela. 79 pp.

Custodio E. 1995. Consideraciones sobre el concepto de vulnerabilidad de los acuíferos a la polución. II Seminario Hispano – Argentino sobre Temas Actuales de Hidrología Subterránea. Serie Correlación Geológica. (11): 99-122 pp.

Daly D., Warren W. P. 1998. Mapping groundwater vulnerability: the Irish perspective. En: Robins N. S. (ed.). Groundwater Pollution, Aquifer Recharge and Vulnerability. Geological Society, London, Special Publications. (130):179-190 pp.

Diaz E. L., Romero E. C., Boschetti N. G., Duarte O. C. 2009. Vulnerabilidad del agua subterránea en la cuenca del Arroyo Feliciano. Entre Ríos. Argentina. Boletín Geológico y Minero. 120 (4): 533-542 pp.

Fili M. P., Tujchneider O. C. 1977. Características geohidrológicas regionales del subsuelo de la Provincia de Santa Fe (Argentina). Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral. 8:105-113 pp.

Foster S. 1987. Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution, risk and protection strategy. TNO Comm. On Hydrog. Research. Proceed. And Information. (38): 69-86 pp.

Giampietro M. 1997. Socioeconomic pressure, demographic pressure, environmental loading and technological changes in agriculture. Agriculture, Ecosystems and Environment. (65): 201-229 pp.

Lerner D. N. 2002. Identifying and quantifying urban recharge: a review. Hydrogeology Journal. 10:143-152 pp.

## USO DEL HORMIGÓN DRENANTE COMO ALTERNATIVA A LOS SISTEMAS DE REGULACIÓN PLUVIAL CONVENCIONALES

### USE OF PERVIOUS CONCRETE AS AN ALTERNATIVE TO CONVENTIONAL RAINFALL REGULATION SYSTEMS

Diego D. Aguirre<sup>1</sup>, Fernando L. Fogliatti<sup>1</sup> y Maximiliano E. Miraglio<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigación y Desarrollo para la Construcción y la Vivienda (CECOVI) – UTN  
Facultad Regional Santa Fe, Santa Fe, Argentina.

[daguirre@frsf.utn.edu.ar](mailto:daguirre@frsf.utn.edu.ar); [ffogliatti@frsf.utn.edu.ar](mailto:ffogliatti@frsf.utn.edu.ar); [mmiraglio@frsf.utn.edu.ar](mailto:mmiraglio@frsf.utn.edu.ar)

#### Resumen

El constante aumento de superficies impermeables en las ciudades trae aparejado un incremento en el riesgo de inundaciones. Es por ello que la ciudad de Santa Fe, mediante una ordenanza, obliga a reducir como mínimo un 50 % del caudal máximo a evacuar al sistema de desagües mediante el empleo de sistemas de regulación de excedentes pluviales. En este informe se estudia el uso de reservorios elaborados con hormigón drenante, cerrados y con infiltración al terreno, como una posible alternativa a la instalación de reguladores convencionales. A partir de las características de estos hormigones y de las tormentas de diseño en la ciudad, se realizan comparaciones de caudales laminados, infiltrados y liberados superficialmente por cada sistema.

Palabras clave: Hormigón drenante, retardador pluvial, precipitación.

#### Abstract

The constant increase in impervious surfaces in cities brings with it an increase in the risk of flooding. That is why Santa Fe city, through an ordinance, requires a 50 % reduction of the maximum rain flow that has to be evacuated into the drainage system, by means of storm regulation systems. This report studies the use of reservoirs made with draining concrete, closed and with infiltration to the ground, as a possible alternative to the installation of conventional regulators. Based on the characteristics of these concretes and the design storms in the city, comparisons of rolled, infiltrated and superficially released flows are made by each system.

Keywords: pervious concrete, storm regulator, precipitation.

#### Introducción

Uno de los mayores problemas para las grandes ciudades es el creciente aumento de la superficie impermeable (Alejandro Secchi, Rosana Mazzón, 1994: 1-2).

La ciudad de Santa Fe exige para obras nuevas, mejoras en obras existentes (en caso de superar un 20% la impermeabilización) y/o obras existentes que superen los 1000 m<sup>2</sup> la utilización de un sistema de regulación capaz de minimizar el riesgo de colapso del sistema urbano de desagües al atenuar los caudales de agua que ingresan a la misma. El dispositivo debe reducir, como mínimo, un 50% el caudal máximo a evacuar (Ordenanza N°11.959, 2013: 1-5)

Existen dos formas en la que se materializan estos sistemas: la primera consiste en un reservorio con un volumen adecuado a la edificación; y un segundo que posee un repartidor que tiene por

objetivo desviar el 50% a la red de desagüe, mientras el exceso se conduce a un reservorio de similares características al primero, pero de menor volumen a igualdad de condiciones.

El espacio que demandan ambos sistemas trae serios inconvenientes, debido a que los depósitos generalmente cuentan con una forma estándar donde rara vez su estética se adecua a su entorno, repercutiendo en costos adicionales por la pérdida de superficies útiles, principalmente en edificaciones en altura donde existen grandes volúmenes a retener. En algunos casos resulta necesario colocarlos en subsuelo donde se deben utilizar sistemas de bombeos que incrementan los costos de la obra y de operación.

Uno de los sistemas que se presenta para resolver la problemática planteada es la utilización del hormigón drenante como medio de reservorio. Este material posee una elevada relación de vacíos, capaz de contener grandes volúmenes de agua en su interior.

En base a sus características, se plantean dos tipos de sistemas: el primero consiste en una capa de hormigón drenante asentado sobre geomembranas impermeables que impiden la infiltración del agua hacia el suelo. Una segunda alternativa pretende utilizar el fenómeno de infiltración como medio de atenuación para los caudales picos, utilizándose geomembranas permeables que solo impidan el ingreso de partículas finas a la estructura porosa del material.

Para ambos casos se debe disponer de una salida cuyo diámetro debe ser calculado a partir del tiempo de retardo necesario.

En comparación con los sistemas convencionales, el hormigón drenante tiene la ventaja de poseer una mayor versatilidad, tanto estética como funcional. Además, por su resistencia, permite ser utilizado como solados para tránsito peatonal o estacionamiento para vehículos.

## Desarrollo

### Materiales y dosificación de la mezcla

Los materiales utilizados para la elaboración del hormigón consisten en piedra partida granítica 3-9, cemento CPN50 según IRAM 50000 y agua potable de red, la cual cumple las exigencias del Reglamento CIRSOC 201 y la norma IRAM 1601.

La dosificación se hace con el objetivo de conseguir un contenido de vacíos de 20% a partir de la utilización de tres métodos, obteniendo resultados similares para cada uno de los casos. (ACI Committee 522, 2010: 1-36; Dang Hanh Nguyen et al, 2014: 271-282; Hernán de Solminihac et al, 2007: 23-36).

COMPONENTES		UNIDAD
Relación Agua/Cemento (A/C)	0,35	-
Cemento	362	kg
Agua	127	kg
Agregado Grueso (PG 3-9)	1567	kg
Agregado Fino	0	kg
Volumen de Vacíos Teórico ( $V V_T$ )	20	%
PUV Teórico	2056	kg/m <sup>3</sup>

**Tabla 1:** Dosificación Final.

## Análisis del comportamiento del hormigón drenante como reservorio

Para estudiar el comportamiento del reservorio elaborado con hormigón drenante, se propone el análisis de una edificación que cuenta con planta baja más dos pisos y una superficie impermeable de 266,09 m<sup>2</sup> como se muestra en la figura 1.

Siguiendo los lineamientos de la Ordenanza N°11.959 se requiere para el sistema convencional con reservorio un volumen de 2750 litros, para el cual se adopta un tanque estándar de 1,50 m de diámetro, una altura de 1,80 m con un diámetro de salida de 40 mm, ocupando un área en la cochera de aproximadamente 1,8 m<sup>2</sup>. El sistema que contiene un repartidor requiere un volumen menor de almacenamiento, de aproximadamente 1500 litros, para el cual se utiliza un tanque de 1,2 m de diámetro, una altura de 1,6 m y un diámetro de salida de 32 mm, ocupando una superficie de 1,1 m<sup>2</sup>.

Para los reservorios de hormigón drenante con y sin infiltración se proponen dos solados de 11,5 x 2,5 m, con una superficie total de 57,5 m<sup>2</sup> y un espesor de 0,25 m, formando parte del sector por donde circulan los vehículos. En la primera alternativa se permitirá la infiltración mientras que en la segunda se colocará un geotextil impermeable, en ambos casos se contará con una salida de 63 mm. Se adopta de forma conservadora una tasa de infiltración constante de 20 mm/h (Michael L. Leming et al, 2014: 7-8).

Uno de los parámetros a tener en cuenta en la dosificación del hormigón es la relación de vacíos. Se debe buscar un punto de equilibrio entre sus propiedades debido a que el incremento de la porosidad produce una disminución de la resistencia, y viceversa.

A medida que el agua se dirige al reservorio, se llega al punto en que se colmata su capacidad y el fluido emerge de la superficie por desborde. Se prevé una boca de desagüe abierta que recibe el excedente y lo dirige directo al sistema urbano, de la misma manera que un sistema convencional.

Para el correcto funcionamiento del sistema, es decir que el agua acumulada pueda salir ya sea por medio de la salida calculada, por desborde o infiltración, es necesario que se garantice un medio que permita un correcto flujo en su interior. Esto se logra procurando la interconectividad entre los distintos puntos del volumen del solado, propiedad fundamental que otorga el uso de hormigón drenante. Además, es conveniente generar una pequeña pendiente de 1:200 que facilite el flujo hacia la salida del reservorio.

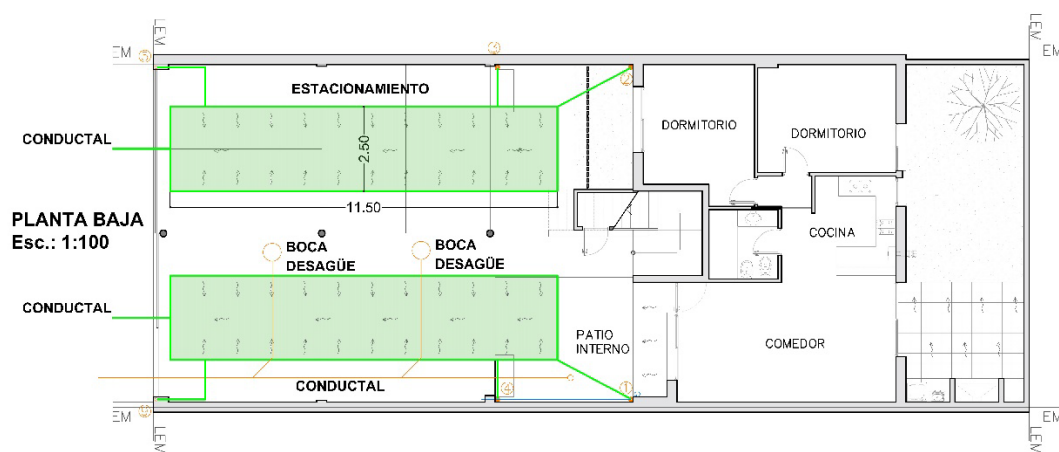


Figura 1: Planta baja con reguladores de hormigón drenante

Continuando con el análisis, se adopta una tormenta de diseño para la ciudad de Santa Fe que se muestra en la figura 2 para un tiempo de recurrencia de 2 años (Alejandro Secchi, Rosana Mazzón, 2013)

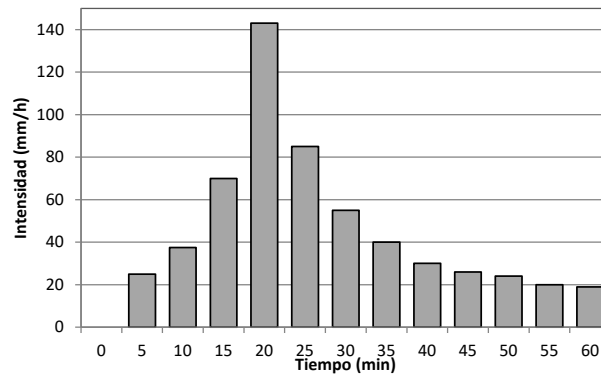


Figura 2: Hietograma de tormenta de diseño  $T_r = 2$  años.

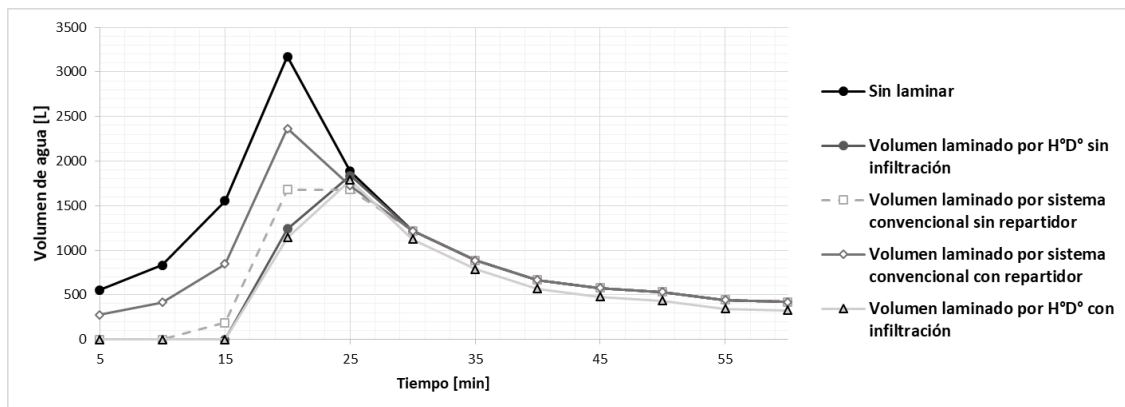


Figura 3: Comparación de volúmenes laminados

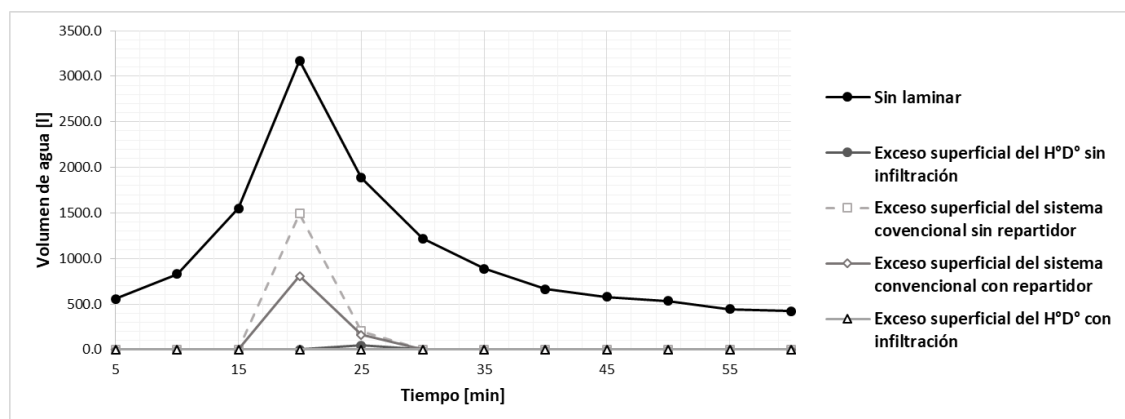


Figura 4: Comparación de volúmenes de exceso

En base al principio de conservación de masas, se realiza para cada alternativa un análisis de equilibrio del sistema en el tiempo. La variable de entrada es el volumen de agua obtenido a partir del hietograma de diseño, mientras que la variable de salida se compone de la infiltración al suelo y conducción al sistema pluvial.

Observando la figura 3 se puede distinguir que el uso del hormigón drenante como reservorio permite reducir los volúmenes de agua de lluvia durante los picos de las tormentas en mayor

medida que ambos sistemas convencionales. En particular, a los 20 minutos (periodo de mayor intensidad) es cuando se aprecia una disminución del 64% y 62% para los reservorios con y sin infiltración respectivamente, mientras que los sistemas convencionales con y sin repartidor presentan un descenso de 25% y 47% del total respectivamente.

De la figura 4 se advierte que los volúmenes liberados superficialmente en el caso de los reservorios propuestos son mínimos en comparación con los actualmente utilizados, llegando a no existir exceso cuando se permite la infiltración.

## Conclusiones

De lo desarrollado en este informe podemos concluir que la utilización de sistemas alternativos de hormigón drenante tiene grandes ventajas en comparación con los comúnmente utilizados: permite reducir los picos de tormentas en mayor cantidad, sin observarse una diferencia apreciable cuando existe infiltración; presenta grandes variedades de diseño ya sea por la versatilidad en su forma o la utilización de aditivos que permiten diferentes colores en el hormigón; evita la pérdida de área útil cuando se lo utiliza como reemplazo del solado, especialmente en edificaciones en altura.

## Referencias

- ACI Committee 522, (2010). *522R-10 Report on Pervious Concrete*. Farmington Hills: American Concrete Institute, 1-36.
- de Solminihac, H., Videla, C., Fernández, B., Castro, J. (2007). "Desarrollo de mezclas de hormigón poroso para pavimentos urbanos permeables", *Materiales de Construcción*, Vol. 57, 287, 23-36.
- Leming, M.L., Malcom, H.R., Tennis, P.D. (2007). *Hydrologic Design of Pervious Concrete*. Skokie, Illinois, USA: Portland Cement Association, 0-72.
- Nguyen, D.H., Sebaibi, N., Boutouil, M., Leleyter, L., Baraud, F. (2014). "A modified method for the design of pervious concrete mix", *Construction and Building Materials*, 73, 271–282
- Ordenanza N°11.959/13. (2013). "Sistema de regulación de excedentes pluviales", Honorable Concejo Municipal de la Ciudad de Santa Fe, Ciudad de Santa Fe, Santa Fe, Argentina, 1-5.
- Secchi, A., Mazzón, R. (2013). "Regulación de excedentes pluviales en cuencas urbanas", XII Simposio Iberoamericano sobre planificación de sistemas de abastecimiento y drenaje, Buenos Aires, Argentina, 11 al 15 de noviembre.
- Secchi, A., Mazzón, R. (1994). *Nuevas tecnologías para contribuir a la solución de inundaciones en grandes ciudades*. Santa Fe, Argentina: Instituto Nacional del Agua, 0-11.

## **CÁLCULO DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA EN MUESTRAS DE AGUA SUBTERRÁNEA DE LA CIUDAD DE RAFAELA**

### **CALCULATION OF THE WATER QUALITY INDEX IN GROUNDWATER SAMPLES FROM THE CITY OF RAFAELA**

---

**Alejandra LÓPEZ, Brenda Elisa COSTAMAGNA, Mariana Milagros CARREL.**

Facultad Regional Rafaela. Acuña 49. (2300) Rafaela. Pcia. de Santa Fe. Argentina.

E-mail autores: [alejandralopezcivil@gmail.com](mailto:alejandralopezcivil@gmail.com) [breencostamagna1@gmail.com](mailto:breencostamagna1@gmail.com)  
[mcarrel99@gmail.com](mailto:mcarrel99@gmail.com)

#### **Resumen**

Debido al papel fundamental que tienen las fuentes de agua en el desarrollo de la vida en el planeta, es de vital importancia estudiar las características de éstas y dar a conocer esa información de una manera fácilmente analizable para todos, aún para quienes no posean conocimientos detallados del tema.

El Índice de Calidad de Agua (ICA) se obtiene mediante fórmulas cuantitativas que engloban parámetros de diferente naturaleza y brinda una sencilla idea de la calidad del agua en cuestión. Esto permite gestionar de manera correcta las fuentes de agua subterránea disponibles, conocer para qué actividades es útil, y someterla a los tratamientos requeridos para evitar efectos en la salud por el consumo o contacto con contaminantes presentes.

Finalmente, los valores del ICA obtenidos, permiten estudiar sistemas de remoción de contaminantes alternativos, económicos y sencillos para mejorar la calidad del agua en aquellos lugares que la consumen sin tratamientos previos.

**Palabras Claves: Calidad de agua, Aguas subterráneas, Índice de calidad de agua.**

#### **Abstract**

Due to the fundamental role that water sources have in the development of life on the planet, it is vitally important of vital importance to study their characteristics and make this information known in an easily analyzable way for everyone, even for those who do not have detailed knowledge about the topic.

The Water Quality Index (ICA) is obtained through quantitative formulas that include parameters of different nature and provides a simple idea of the quality of the water in question. This allows the correct management of available groundwater sources, awareness of its utility for certain activities, and treatments required to avoid health effects from consumption or contact with contaminants present.

Finally, the ICA values obtained allow the study of alternative, cheap and simple pollutant removal systems to improve water quality in those places that consume it without previous treatments.

**Keywords: Water quality, Groundwater, Water quality index.**



## 1. Introducción

El agua es un recurso sumamente importante para que el desarrollo de la vida en el planeta pueda llevarse a cabo. En nuestro país, el agua subterránea es una de las principales fuentes de provisión de este recurso, y en muchos lugares se consume sin tratamientos de potabilización. Lo que puede traer consecuencias a largo plazo, afectando la salud.

En el laboratorio de Química, el Grupo GEM realizó el muestreo de más de 100 muestras de aguas subterráneas y se analizaron fisicoquímicamente. Si bien las aguas subterráneas presentan una mayor protección a la contaminación antropogénica respecto de las superficiales, una vez que éstas son contaminadas es muy difícil y costoso lograr la remoción de los contaminantes, como el arsénico. Además, suelen contener contaminantes de origen natural que se encuentran presentes por la erosión de las rocas.

El arsénico es uno de los principales contaminantes que se encuentra en una amplia región del norte y centro de Argentina (Bissen y Frimmel, 2003). Este elemento produce daños considerables en la salud humana si se consume de manera prolongada. El límite máximo de alteración de la calidad natural está determinado por las normas que definen la aptitud para su uso. La Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Código Alimentario Argentino (CAA), determinaron que el límite de arsénico en aguas para consumo humano es 0,01 mg As/l.

Con los resultados de los análisis fisicoquímicos se confeccionó una base de datos para el cálculo del Índice de Calidad de Agua ICA. Un ICA brinda una manera conveniente de resumir la gran cantidad de datos generados en los monitoreos y facilita la comunicación de estos resultados a una audiencia no especializada (Valcarcel Rojas et al., 2009).

El objetivo del trabajo es calcular los Índices de Calidad de Agua de las muestras de aguas subterráneas, iniciando con pozos de la ciudad de Rafaela y posteriormente realizarlo en las muestras de todo el departamento Castellanos.

## 2. Metodología

### 2.1. Conceptos previos:

Los indicadores ambientales son medidas físicas, químicas, biológicas, sociales o económicas que reportan información importante sobre un factor ambiental particular. Pueden ser cuantitativos o cualitativos, dependiendo de la naturaleza de la medición o apreciación.

El índice de calidad de agua (ICA) es un indicador ambiental, una herramienta que permite identificar la calidad de agua de un cuerpo superficial o subterráneo en un tiempo determinado. Se obtiene mediante una fórmula que incorpora datos de múltiples parámetros en un tiempo determinado. El método ICA ha sido utilizado debido a su capacidad de expresar de forma integral la información de la calidad del agua subterránea de alguna región determinada (Sadat-Noori, et al., 2014).

### 2.2. Muestras de aguas subterráneas

Las muestras de agua subterránea fueron tomadas de pozos encamisados ya existentes con profundidades entre 12 y 30 metros. Se analizaron los siguientes parámetros, según APHA (2017): pH, sólidos totales, dureza total, cloruros, sulfato, nitratos y arsénico.

### 2.3. Cálculo del ICA. Método: UWQI (Universal Water Quality Index):

Fue desarrollada y aplicada para obtener un índice simplificado que establece la calidad del agua. Para el cálculo se emplea una ecuación de tipo aditivo o suma ponderada.

#### 2.4. Formulación de un índice de Calidad de agua:

En primer lugar, se seleccionó un área de estudio. En esta primera instancia se eligió trabajar con las muestras de aguas subterráneas de la ciudad de Rafaela, localizadas en 4 zonas.

Posteriormente se procedió a:

1. Seleccionar parámetros. En este caso se tomaron los 7 detallados en el ítem 2.2.
2. Asignar una ponderación ( $w_i$ ) a cada parámetro, en concordancia a su importancia relativa en la calidad del agua para consumo humano. La ponderación máxima fue de cinco. (Tabla 1)

**Tabla 1: Pesos relativos de los parámetros según su importancia para la salud humana**

Número de muestra	$w_i$	$W_i$
pH	1,00	0,04
Sólidos totales (mg/l)	5,00	0,19
Dureza Total (mg CaCO <sub>3</sub> /l)	3,00	0,12
Cloruros (mg Cl <sup>-</sup> /l)	4,00	0,15
Sulfatos (mg SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> /l)	3,00	0,12
Nitrato (mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /l)	5,00	0,19
As (mg As/l)	5,00	0,19

3. Calcular el peso relativo ( $W_i$ ) de cada parámetro de acuerdo con la ecuación del método del peso aritmético.

$$W_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

Siendo,  $W_i$  la ponderación relativa,  $w_i$  el peso de cada parámetro y  $n$  el número de parámetros.

4. Determinar una escala de valoración de la calidad para cada parámetro ( $q_i$ ).  
Dividiendo la concentración resultante de cada muestra de agua analizada por su respectivo límite máximo permisible ( $S_i$ ) (según el Código Alimentario Argentino), y multiplicar el resultado por 100:

$$q_i = \frac{C_i}{S_i * 100}$$

Siendo  $q_i$  la calificación de la calidad,  $C_i$  la concentración de cada parámetro químico en cada muestra de agua en mg/l y  $S_i$  el límite máximo permisible en mg/l (CAA, 2007)

5. Finalmente, calcular el ICA mediante el valor de  $S_{li}$ , usando la ecuación:

$$S_{li} = W_i * q_i$$

Siendo,  $S_{li}$  el subíndice de cada parámetro,  $W_i$  la ponderación relativa y  $q_i$  la calificación de la calidad.

$$ICA = \sum Sli$$

Siendo, ICA el índice de calidad del agua y Sli el subíndice de cada parámetro.

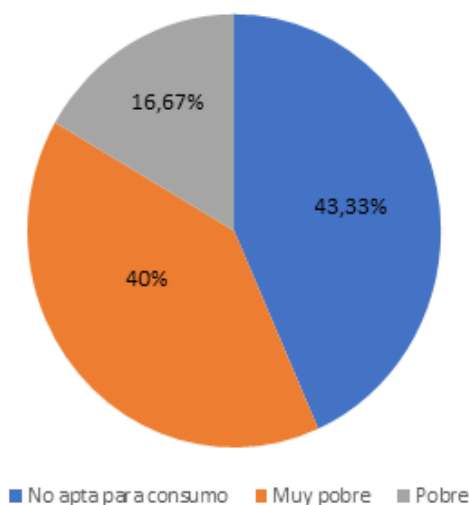
### 3. Resultados

Luego de realizar los cálculos correspondientes se determinó el ICA en cada uno de los pozos de muestreos, y los valores arrojados se comparan con las clasificaciones de la siguiente tabla (Tabla 2), y se plasmaron en el gráfico de la Figura 1.

**Tabla 2: clasificación según la calidad de agua**

Valor de ICA	Calidad del agua
Menor de 50	Excelente
De 50 a 100	Buena
De 100 a 200	Pobre
De 200 a 300	Muy pobre
Mayor de 300	No apta para consumo humano

**Figura 1: Porcentajes obtenidos según la clasificación del ICA en aguas subterráneas de Rafaela**



Se puede observar que no hay pozos con calidad de agua subterránea excelente ni buena. El mayor porcentaje (43,3%) resultó en la clasificación de no aptas para consumo, siguiendo la considerada muy pobre (40%) y el 16,7 % corresponde a las pobres. Esto se debe principalmente a las altas concentraciones de arsénico, nitratos y sales (sólidos totales) que contienen las aguas subterráneas de Rafaela.

El ICA permite llevar a cabo diferentes acciones como la difusión de información, manejar los recursos hídricos de una manera más eficiente y particular, clasificar el recurso en áreas que sirvan luego para tomar decisiones en su empleo, controlar que se aplique la normativa vigente e incluso proponer actualizaciones necesarias.

#### 4. Conclusiones

El ICA demostró que la calidad química del agua subterránea de la ciudad de Rafaela no es aceptable en ningún pozo monitoreado para su consumo humano directo. Es necesario un proceso previo de potabilización o algún método alternativo de remoción de los parámetros que no cumplen con la legislación vigente.

Esto nos invita a continuar con las experiencias y ampliar los datos calculando los ICA de la región con los resultados obtenidos en proyectos previos.

#### Referencias

- APHA. Rice, E. W., Baird, R. B., & Eaton, A. D. (2017). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 9-56. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation
- Bissen M., Frimmel F.H. (2003). Arsenic - a review - Part 1: Occurrence, toxicity, speciation, mobility. Acta Hydrochim. Hydrobiol. 31(1), 9-18.
- Código Alimentario Argentino Capítulo XII Bebidas Hídricas, Agua y Agua Gasificada Agua Potable Artículo 982 - (Resolución Conjunta SPRyRS y SAGPyA N° 68/2007 y N° 196/2007).
- Organización Mundial de la Salud, “Guías para la calidad del agua potable”, (2007). Biblioteca de la OMS, vol. 1, n.° 3, p. 1-398.
- Sadat-Noori, S., Ebrahimi, K., & Liaghat, A. (2014). Groundwater Quality Assessment using the Water Quality Index and GIS in Saveh-Nobaran aquifer, Iran. Environ. Earth Sci., 71, 3827-3843.
- Valcarcel Rojas, L.V., Alberro Macías, N., Frías Fonseca D. (2009). “El Índice de Calidad de agua como herramienta para la gestión de los recursos hídricos”. Revista electrónica de la Agencia de Medio Ambiente. Año 9- N°16- ISSN- 1683-8804

## “Biohormigones: Viabilidad de las bacterias y su afectación en las propiedades físico-mecánicas del hormigón”

### “Bioconcretes: viability of bacteria and their effect on the physico-mechanical properties of concrete”

Sharon Rupp

Centro de Investigación y Desarrollo para la Construcción y la Vivienda (CECOVI), Facultad Regional Santa Fe, Universidad Tecnológica Nacional.  
sharonrupp99@hotmail.com

Catalina Cerutti

Centro de Investigación y Desarrollo para la Construcción y la Vivienda (CECOVI), Facultad Regional Santa Fe, Universidad Tecnológica Nacional.  
catalinacerutti24@gmail.com

**Resumen:** Las estructuras de hormigón armado pueden presentar fisuras en cualquier momento de su vida útil. Estas fisuras no solo afectan a la estructura estéticamente si no que pueden afectar su resistencia y sobre todo su durabilidad ya que dichas fisuras son un camino que facilita el ingreso agua, gases y sustancias nocivas. Esto puede provocar otras patologías como la corrosión y pueden afectar la vida útil de las estructuras. A razón de eso, se plantea el uso de materiales autoreparantes. El biohormigón es un material que permite la autoreparación de fisuras a partir de la incorporación de bacterias que inducen la precipitación de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ). Se propone realizar un análisis bibliográfico con el fin de observar el efecto que tiene la incorporación de bacterias en las propiedades del hormigón y la magnitud de fisuras que pueden ser reparadas. Además, se identifica la viabilidad de las bacterias dentro de la masa del hormigón en trabajos de otros autores.

**Palabras claves:** Biohormigón, Hormigón autoreparante, Bacteria, Fisura.

**Abstract:** Reinforced concrete structures can show cracks at any time during their useful life. These cracks not only affect the structure aesthetically if they cannot affect its resistance and especially its durability since these cracks are a way that facilitate the entry of water, gases and harmful substances. This can cause other pathologies such as corrosion and can affect the useful life of structures. For this reason, the use of self-repairing materials is proposed. Bio concrete is a material that allows the self-repair of cracks from the incorporation of bacteria that induce the precipitation of calcium carbonate ( $\text{CaCO}_3$ ). It is proposed to carry out a bibliographic analysis in order to observe the effect that the incorporation of bacteria has on the properties of concrete and the magnitude of cracks that can be repaired. In addition, an assessment is made of the viability of bacteria within the concrete mass.

**Keywords:** Bio concrete, Self-healing concrete, Bacteria, Fissure.

#### Introducción:

El hormigón es uno de los materiales más utilizados en la construcción. Debido a muchos

factores, se generan solicitaciones que exceden la capacidad resistente del hormigón y provocan fisuras en las estructuras que pueden aparecer en cualquier momento de la vida útil de las mismas. La aparición de estas grietas no solo afecta estéticamente a las estructuras, las fisuras si no son reparadas a tiempo facilitan el ingreso de agua, gases y otras sustancias nocivas que pueden deteriorar internamente el material provocando una disminución de la vida útil de las estructuras. En términos medio ambientales, el hormigón resulta un material insostenible debido a la gran emisión de CO<sub>2</sub> producto de la fabricación de cemento, a razón de esto es necesario hacer del hormigón un material más duradero. Una alternativa es la de reparar las fisuras in situ, esta técnica implica un costo sin mencionar que existen fisuras de difícil accesibilidad para ser reparadas. A razón de esto hace algunos años se ha comenzado a investigar el uso de materiales capaces de auto repararse sellando las fisuras. En el presente trabajo se hace énfasis en aquellos hormigones capaces de auto curar sus fisuras a través de la incorporación de bacterias. Se considerará la afectación de las bacterias en las propiedades físico-mecánicas y evaluando como es la supervivencia de estas dentro de la masa de hormigón.

## **Desarrollo:**

### **1. Denominaciones de los materiales autoreparantes.**

Del análisis bibliográfico realizado se ha encontrado que los autores suelen emplear distintos términos para referirse a los materiales autoreparantes, por lo que en este apartado se propone realizar un repaso de las denominaciones más empleadas.

Los hormigones autorreparables son un tipo de hormigón capaz de sellar de forma autónoma las fisuras que en él se producen. En este sentido y con el fin de prolongar la vida útil del hormigón, Muhammada, et al. adoptan varios enfoques, uno de ellos se basa en utilizar productos expansivos (inducidos por microbios) para generar la precipitación del carbonato de calcio.

Otros de los autores consultados introducen el término de biohormigón, una mezcla de hormigón tradicional, bacterias y lactato de calcio (alimento para bacterias). Este material permite la autoreparación de problemas patológico, como minimizar las fisuras presentes en las estructuras de hormigón (Freitas, et al., 2021). Uno de los autores se refiere a hormigón autocurativo para mencionar aquel material que integra bacterias encapsuladas que precipitan el carbonato de calcio a través de la biomineralización sellando así fisuras (Algaifia, et al., 2020). Otra bibliografía consultada habla en forma más general de materiales de construcción vivos (LBM) que son capaces de realizar funciones biológicas y estructurales (Espitia-Nery, et al., 2019). En este sentido, se puede considerar que los Biohormigones son materiales autoreparantes, los cuales, por medio de la incorporación de bacterias, generan la auto curación de fisuras.

### **2. La biomineralización como metodología para generar materiales autoreparantes.**

La incorporación de bacterias al hormigón, no es la única forma de generar materiales autoreparantes, Muhammada et al. y Espitia-Nery et al. mencionan también la incorporación de compuestos poliméricos para producir auto curación del hormigón. Sin embargo, varios autores indican la incorporación de bacterias como metodología para la generación este tipo de materiales (Muhammada, et al., 2016), (Freitas, et al., 2021), (Espitia-Nery, et al., 2019), (Heveran, et al., 2020), (Schwantes-Cezario, et al., 2018). Se trata del desarrollo de hormigón autocurativo o biohormigón a partir de la incorporación de bacterias, las cuales inducen la precipitación de carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>) a través de la biomineralización.

### **3. Incorporación de las bacterias al hormigón.**

Existen diferentes metodologías de incorporación de las bacterias en el hormigón para generar

un material autoreparante. Uno de los autores consultados (Muhammada, et al., 2016) indica que los cultivos bacterianos pueden ser inyectados en la superficie del hormigón o bien pulverizados sobre la superficie de un hormigón agrietado. En el caso donde se añadieron las bacterias directamente a la mezcla de hormigón, durante el proceso de elaboración, se obtuvieron mejores resultados.

Varios autores coincidieron en incorporar las bacterias dentro de la masa del hormigón. Uno de los autores indica que las bacterias se añadieron directamente a la mezcla de hormigón (Muhammada, et al., 2016). Sin embargo, otro menciona la incorporación de bacterias encapsuladas (Espitia-Nery, et al., 2019). Ésta última, se basa en adicionar esporas bacterianas con nutrientes encapsulados en la matriz del hormigón, que luego se rompen entrando en contacto con agua, oxígeno o humedad, penetrando en las fisuras y sellándolas por el proceso de biomineralización.

Por otra parte, Heveran et al. mencionan los materiales de construcción vivos (LBM) que fueron creados inoculando un andamio de hidrogel de arena estructural inerte con una cianobacteria fotosintética. El andamio proporcionó soporte estructural para la bacteria, que endureció la matriz del hidrogel mediante la biomineralización de carbonato de calcio. (Heveran, et al., 2020)

#### 4. Viabilidad de las bacterias dentro de la masa del hormigón.

La incorporación de bacterias en el agua de amasado del hormigón expresó mejor resultado que el de la pulverización o inyección, sin embargo, el entorno hostil, dentro de la matriz de hormigón disminuyó la vida útil de las bacterias. Los trabajos existentes carecen todavía de una comprensión clara de los factores que afectan al crecimiento bacteriano en las condiciones que proporciona el hormigón (Algaifia, et al., 2020). Uno de los motivos de la baja supervivencia bacteriana se debe al alto pH (entre 12 y 13) y a las condiciones de humedad. En este sentido, Espitia-Nery et al. indica que la supervivencia bacteriana después de diez días de curado estaba entre 1,9% y 7% debido al alto pH y estado seco del hormigón. Chelsea M. Heveran et al, evaluaron la viabilidad de las cianobacterias a diferentes temperaturas y humedades. Este autor informó que a temperatura ambiente (20°C) y humedad relativa (HR) de las muestras no eran viables a los 7 días, pero cuando se mantuvo las muestras a 50% y 100% de HR se observó que el 9% y 14% de las bacterias sobrevivieron después de 30 días. En el caso de una temperatura menor (4°C) los LBM (materiales de construcción vivos) mostraron una viabilidad reducida en comparación con los almacenados a mayor humedad, pero aun así el inoculo inicial sobrevivió a los 14 días.

Como resultado de lo antes expuesto, la eficacia de la autoreparación disminuye con el tiempo (Muhammada, et al., 2016). Algaifia et al. hacen referencia a varios autores que reportan una tasa de curación más significativa cuando las fisuras se desarrollan a una edad temprana. En relación a esto, mencionan que la proporción de curación de las fisuras era muy pequeña cuando la edad de agrietamiento del hormigón era superior a 60 días. Estos resultados fueron atribuidos a la disminución del número de bacterias dentro de la matriz del hormigón.

Se ha demostrado que agregar las bacterias directamente, sin ningún tipo de protección, en la matriz del hormigón minimiza la supervivencia de bacterias en poco tiempo (Espitia-Nery, et al., 2019). Existen formas de encapsular las bacterias mejorando su rendimiento, esta técnica es más eficaz debido a que se extiende la supervivencia de las bacterias, provocando un rendimiento más prolongado (Muhammada, et al., 2016).

Según indica Espitia-Nery, et al, las capsulas pueden aumentar la supervivencia de las bacterias, pero al mismo tiempo deben ser lo suficientemente fuertes para resistir el proceso de mezclado del hormigón, lo suficientemente frágiles para romperse cuando aparezcan grietas. Además, deben formar una unión fuerte con la matriz del hormigón para evitar efectos negativos en las propiedades mecánicas.

#### 5. Afectación de las propiedades físico-mecánicas.

Para evaluar la afectación de la incorporación de las bacterias en las propiedades físico-mecánicas del hormigón, se hará énfasis en tres propiedades de interés: el fraguado, la permeabilidad y la resistencia a la compresión.

#### 5.1. Fraguado.

Es de interés indagar acerca de la afectación de la incorporación de bacterias en esta propiedad debido a que la presencia de materia orgánica en el agua de amasado afecta los tiempos de inicio y fin de fragüe del hormigón (Gonzales, et al., 2019). Sin embargo, no se encontró información de la afectación de las bacterias en este proceso.

#### 5.2. Permeabilidad.

Como se describió a lo largo de este informe se incorporan bacterias al hormigón con el objetivo de cerrar poros y fisuras a partir de la biomineralización (Schwantes-Cezario, et al., 2018), provocando reducción de la permeabilidad. En este sentido, mediante la pulverización del cultivo bacteriano sobre la superficie de un hormigón agrietado, se comprueba una reducción en la permeabilidad al agua debido a la auto curación (Muhammada, et al., 2016).

#### 5.3. Resistencia a la compresión.

El valor de la mejora en la resistencia del hormigón es notoriamente variable, incluso con la incorporación de la misma especie bacteriana. Algaifia et al. observaron un aumento de la resistencia a la compresión de entre 19,26% y 53% en comparación con la muestra de control, otros investigadores indicaron una mejora de entre 6% y 8%. Chelsea et al. reportaron que la resistencia a la compresión por la mineralización mediada por las cianobacterias no fue significativa. Schwantes-Cezario et al. tampoco observaron disminución en la resistencia media de las muestras con esporas añadidas en comparación con la referencia. Sin embargo, otro estudio demostró que la adición de bacterias directamente a la matriz de hormigón mejora las propiedades mecánicas (Espitia-Nery, et al., 2019).

### 6. Evaluación del avance de autoreparación de fisuras.

Varios estudios indican que la técnica principal para evaluar el tamaño de las fisuras rellenadas es la observación visual realizada en el microscopio, imágenes digitales y/o fotografías (Muhammada, et al., 2016) (Algaifia, et al., 2020). También puede utilizarse ultrasonidos y tomografía computarizada de rayos X (Muhammada, et al., 2016).

Muhammada et al. (2016) evaluaron la auto curación a partir de la profundidad de las fisuras selladas, arrojando una profundidad de fisuras tapadas, de 27,2 mm y 32 mm. Demostrando que la encapsulación de bacterias puede ser más eficaz para sellar fisuras de un tamaño máximo de 0,97 mm de ancho. Otros autores lograron la curación completa de la boca de una fisura de 0,4 mm de ancho, siendo la proporción de curación en la parte más profunda menor al 15% (Algaifia, et al., 2020). Espitia-Nery et al. afirma que la reparación autógena se limita a fisuras de menos de 0,2 mm. Schwantes-Cezario et al. reportaron que en hormigones con adiciones de esporas de *B. Subtilis* las fisuras de hasta 0,19 mm de ancho fueron selladas, mientras las muestras sin adición de esporas las fisuras permanecieron iguales durante todo el periodo analizado.

### Conclusiones:

Se realizó una revisión bibliográfica acerca de los materiales autoreparantes haciendo énfasis en aquellos que adquieren esta propiedad a partir de la incorporación de bacterias. Se identificó cómo afecta la incorporación de las bacterias sobre algunas propiedades físico-mecánicas del hormigón y cómo es la viabilidad de estos microorganismos dentro de la masa de hormigón a partir de los resultados obtenidos por diferentes autores. A partir de esto se pudieron extraer las



siguientes conclusiones:

- a. Existe un mejor rendimiento del biohormigón a edades tempranas debido a que la viabilidad de las bacterias va disminuyendo con el tiempo a causa del entorno hostil dentro de la matriz de hormigón.
- b. El pH y la humedad dentro de la masa del hormigón afectan la vida de las bacterias.
- c. La viabilidad mejora utilizando cepas de bacterias formadoras de esporas o encapsulando los microorganismos para prolongar su vida. Aun así, la supervivencia a largo plazo del inóculo inicial es limitada.
- d. Debido a la curación de las fisuras y sellado de poros a partir de la precipitación del carbonato de calcio, se reduce la permeabilidad del hormigón.
- e. El impacto de las bacterias en la resistencia a compresión del hormigón aún no es significativo.
- f. Todos los enfoques de la auto curación revelaron que la técnica de encapsulación es más eficaz debido a la extensión de la vida útil de la bacteria para un rendimiento más prolongado.

### Referencias:

- Algaifia, H. A., Bakar, S. A., Sam, A. R., Ismail, M., Abidina, A. R., Shahir, S., & Altowayti, W. A. (2020). "Insight into the role of microbial calcium carbonate and the factors involved in self-healing concrete." *Construction and Building Materials* (254).
- Heveran, C. M., Williams S. L., Qiu, J., Cook, S. M., Cameron, J. C., & Srubar, W. V. (2020). "Biom mineralization and Successive Regeneration of Engineered Living Building Materials." *Matter*, 481-494.
- Espitia-Nery, M. E., Corredor-Pulido, D. E., Castaño-Olivero, P. A., Rodríguez-Medina, J. A., Ordoñez-Bello, Q. Y., & Pérez-Fuentes, M. S. (2019). "Mechanisms of encapsulation of bacteria in self-healing concrete: review." *Dyna*, 86(210).
- Freitas, A. Á., Romao, E. M., & Barros, S. d. (2021). "Bioconcreto: Uma revisão de sua aplicação na construção civil." *Research, Society and Development*, 10(4).
- Muhammada, N. Z., Shafaghat, A., & Keyvanfar, A. (2016). "Tests and methods of evaluating the self-healing efficiency of concrete: A review." *Construction and Building Materials* (112), 1123-1132.
- Schwantes-Cezario, N., Peres, M. V., Fruet, T. K., Nogueira, G. S., Toralles, B. M., & Cezario, D. D. (2018). "Crack filling in concrete by addition of *Bacillus subtilis* spores - Preliminary study." *Dyna*, 85(205).
- Gonzalez, D., Guillarducci, A., Grether, R., Guerrero, S., Andrés, F. (2019). "Precipitación de carbonato de calcio inducida por microorganismos. Evaluación de su utilidad en la reparación de fisuras en morteros de experimentación." Actas del 3° Encuentro Latinoamericano y Europeo de Edificaciones y Comunidades Sostenibles, Santa Fe-Paraná, Argentina, 22 al 25 de mayo, 947-953.

## Simulación numérica del flujo de agua subterránea del acuífero freático en la cuenca del Arroyo Cululú, Santa Fe (Argentina)

### Numerical simulation of Groundwater flow of the phreatic aquifer in the Cululú stream Basin, Santa Fe (Argentina)

**Natalia Ramos**

Facultad Regional Rafaela (Universidad Tecnológica Nacional)  
[Ramos.nataliab@gmail.com](mailto:Ramos.nataliab@gmail.com)

**Joan Franzen**

Facultad Regional Rafaela (Universidad Tecnológica Nacional)  
[Joanfranzen2@gmail.com](mailto:Joanfranzen2@gmail.com)

**Andrés Capelino**

Facultad Regional Rafaela (Universidad Tecnológica Nacional)  
[andrescapelino@gmail.com](mailto:andrescapelino@gmail.com)

**Resumen:** La región sur de Sudamérica ha sido afectada por eventos climáticos extremos, aumentando el riesgo de inundaciones. El estudio de la problemática hídrica merece un abordaje profundo para evitar desastres naturales futuros. El enfoque de análisis y solución del problema se debe abordar desde el estudio de sistemas, donde la cuantificación numérica de los procesos hidrológicos adquiere mayor relevancia.

El área de estudio comprende la cuenca del arroyo Cululú con una superficie de 9500 km<sup>2</sup>, registros de precipitaciones anuales crecientes y una relación precipitación-recarga de acuífero freático que es de principal interés para entender el funcionamiento hidráulico y establecer medidas de acción ante distintos escenarios climáticos. La metodología utilizada en este trabajo comprende la elaboración de un modelo conceptual hidrogeológico y su validación mediante la simulación numérica utilizando VISUAL MODFLOW. El modelo fue calibrado en estado estacionario y muestra que el flujo de agua subterránea es condicionado por la recarga.

**Palabras claves:** hidrogeología, simulación, acuífero, Arroyo Cululú, VISUAL MODFLOW

**Abstract:** The southern region of the South American continent has been affected by extreme weather events increasing the risk of floods. The study of water problems is a current challenge that deserves an in-depth approach to avoid future natural disasters. The analysis and problem solving approach must be approached from the study of systems, where the numerical quantification of hydrological processes acquires greater relevance.

The study area includes the Cululú stream basin with a surface area of 9500 km<sup>2</sup>, annual precipitation records with an increasing trend and a precipitation-recharge relationship of the phreatic aquifer which is the main interest to understand the hydraulic operation and establish action measures before different climate scenarios. The methodology used for the development of the work comprises the elaboration of a hydrogeological conceptual model and its validation through numerical simulation using VISUAL MODFLOW. The model was calibrated in steady state and shows that groundwater flow is conditioned by recharge.

**Keywords:** hydrogeology, simulation, aquifer, Cululú stream, VISUAL MODFLOW

## Introducción

Las consecuencias de la variabilidad climática como resultado de cambios en eventos extremos ha significado pérdidas económicas y sociales muy significativas, en especial, cuando la precipitación es la variable que interviene directamente generando dramáticos acontecimientos como es el caso de inundaciones en áreas urbanas y rurales (Grimm y Tedeschi, 2009) Según los datos presentados en Giorgi (2002), el sur de América del Sur mostró un aumento de la precipitación del 14% durante el período 1901-1998 (98 años). Este es el mayor incremento de todas las regiones subcontinentales. Otros estudios también muestran una tendencia creciente de precipitaciones en la Cuenca del Plata para el período 1977-2006 (Forte Lay et al., 2008). Castañeda y Barros (1994) mencionan que la precipitación anual al este de los Andes, entre los paralelos 22°S y 45°S, se incrementó en la segunda mitad del siglo XX, siendo en algunos sitios superior al 30%. Marengo et al. (2009) realizaron una predicción climática para América del Sur y sus resultados indican un aumento en los eventos de precipitación extrema para el período 2071-2100 en comparación con la situación actual. Esta condición climática pronosticada aumentaría el riesgo de futuras inundaciones, lo que generaría enormes pérdidas económicas. Las consecuencias de la variabilidad climática en la cuenca del Plata, de la cual forma parte la Cuenca de Cululú, se hicieron evidentes durante los años 2003 y 2004. En el año 2003, las consecuencias socioeconómicas de los eventos hidrológicos extremos se hicieron notorios en la provincia de Santa Fe catalogándose como la peor catástrofe ambiental de la Argentina de las últimas décadas. Un aumento repentino de 4 m del río Salado, cerca de la ciudad de Santa Fe, provocó la inundación de partes de la ciudad donde 120000 personas fueron desplazadas de sus casas y como resultado directo 23 personas murieron (Ferreira, 2006). La inundación fue causada por un evento de precipitación extrema que tuvo lugar en la parte sur de la cuenca del río Salado que se encuentra en la provincia de Santa Fe y en donde el sistema hidrográfico de descarga más representativo es la cuenca del arroyo Cululú (Giampeieri et al., 2004). Conocer la profundidad del nivel freático y su relación ante variaciones provocadas por eventos climáticos extremos es muy importante a la hora de planificar estrategias eficaces en el manejo de recursos hídricos y, de esta manera, mitigar el riesgo de inundaciones evitando pérdidas socioeconómicas importantes (Ferreira et. al., 2012). Para obtener una visión del impacto del cambio climático en los procesos hidrológicos y, por lo tanto, en el comportamiento de los acuíferos, se pueden utilizar modelos matemáticos. Estos modelos pueden proporcionar una visión rápida del comportamiento espacial y temporal de un sistema usando diferentes escenarios climáticos como entrada, lo que resulta en predicciones para el comportamiento de los sistemas en escenarios futuros (Wang y Anderson, 1982).

## Metodología

El área de estudio comprende la cuenca del arroyo Cululú, con una superficie aproximada de 9500 km<sup>2</sup>, una amplitud de 130 km en sentido Este-Oeste y de 100 km en sentido Norte-Sur, es parte de la cuenca del río Salado de Santa Fe y, por lo tanto, una subcuenca que puede desempeñar un papel importante en eventos hidrológicos en el futuro. Gran parte del territorio de la Provincia de Santa Fe se desarrolla en un ambiente geomorfológico típico de llanura donde existe un escaso relieve lo cual condiciona la casi inexistencia de una red de drenaje definida y organizada en donde la amplitud y frecuencia de los cambios climáticos ocurridos están manifiestas en el registro sedimentario desarrollado durante el período Cuaternario (Krohling y Brunetto, 2013). La cuenca del arroyo Cululú es la mayor de las subcuencas que componen la cuenca fluvial del Salado. Su morfología está controlada por lineamientos tectónicos y con un área plana de pendiente general muy suave hacia el este con principal desarrollo de una red de afluentes sobre la margen derecha con cañadas subparalelas que hacia el este se integran a la red fluvial (Iriondo, 2012; Krohling y Brunetto, 2013). Geológicamente, la disposición estratigráfica, ordenada en el sentido de las edades crecientes muestra en la culminación de la columna a los sedimentos pampeanos (acuífero Pampeano), depósitos cuaternarios

(Pleistoceno) de origen eólico y fluvial constituidos por loess y limo loessoides con  $\text{CaCO}_3$  concrecional que en su sección superior contiene a la capa freática, mientras que la base es un estrato limo arcilloso de que se comporta como acuitardo, y es límite con la formación Puelche (acuífero Puelche), de origen fluvial, formada por arenas amarillentas cuarzosas de grano fino a mediano correspondientes al periodo transicional Neógeno-Cuaternario (Pleistoceno Inferior-Plioceno) (Auge, 2004). El paquete sedimentario conformado por el acuífero Pampeano y Puelche se denomina hidrogeológicamente como sección epiparaniana y es el portador de aprovisionamiento de agua subterránea en todo el territorio de la provincia de Santa Fe (Fili y Tuchneider, 1977). El área de estudio se encuentra en su mayor parte en la Provincia de Santa Fe. Es parte de la región Chaco Pampeana y de la Cuenca del Río de la Plata. Como se describió anteriormente, el clima en esta región ha cambiado en las últimas décadas. Esto también ha afectado las descargas de los ríos y los niveles freáticos en la región alrededor de la cuenca de Cululú. Los niveles freáticos promedio anuales aumentaron 9 m en tres décadas y el aumento del módulo anual del nivel del agua del río Salado en un 100% desde los años 70 en la Ruta Provincial 70, Provincia de Santa Fe (Ferreira y Rodríguez, 2005).

Este trabajo comprende dos actividades principales, elaboración del modelo conceptual del funcionamiento hidráulico y simulación numérica del flujo de agua subterránea del acuífero freático de la cuenca del arroyo Cululú. A continuación, se detalla la metodología seguida en cada una.

1-Elaboración del modelo conceptual: se siguió una metodología clásica adaptada de Bredehoft (2005) y Betancur et al. (2012), que comprendió: a) Recopilación y análisis de información bibliográfica. Recopilación de información meteorológica, piezométrica, hidrométrica, hidroquímica y geológica. b) Muestreo de pozos y cuerpos de agua superficial. Se realizaron campañas de reconocimiento y muestreo de pozos del acuífero Pampeano. En cada lugar de muestreo se midieron los parámetros siguientes: nivel estático, altura hidrométrica, pH, conductividad, temperatura del agua y del aire. Se extrajeron muestras de agua para la determinación de iones mayoritarios. Las salidas de campo fueron realizadas en colaboración con becarios e investigadores afectados al proyecto (interrumpido por pandemia). Se evaluaron lugares adecuados para la instalación de freatómetros para establecer una red homogénea de medición de niveles. c) Sistematización, procesamiento y análisis de la información. Se elaboró una base de datos geoespacial vinculada con información hidrométrica, meteorológica, topográfica, geológica, fratiométrica e hidroquímica con el objeto de generar mapas específicos, como así también la estimación de la recarga. e) Integración de la información. Mediante la integración de la información sistematizada se generó el modelo conceptual de funcionamiento hidráulico del acuífero Pampeano en el área de estudio formulando distintas hipótesis de funcionamiento.

2-Simulación del flujo de agua subterránea: a modo de referencia se siguió para la elaboración de ciertas tareas el marco metodológico general propuesto por Anderson y Woessner (1992). En primer lugar, sobre la base del modelo conceptual hidrogeológico, se simuló numéricamente el flujo subterráneo mediante el código MODFLOW (McDonald y Harbaugh, 1988). MODFLOW resuelve la ecuación de flujo subterráneo mediante el método de Diferencias Finitas, con el soporte de la interfaz visual del software VISUAL MODFLOW (WaterloHydrogeologicInc). Esta interfaz permite facilitar al usuario integrar todos los elementos del modelo conceptual necesarios para una buena interpretación, permitiendo la organización de la información en elementos del territorio simulado como el contraste entre diversas hipótesis de trabajo. El programa permite importar archivos en formato Shapefile para la definición y construcción de las diferentes componentes de la estructura del modelo (dominio de modelación, zonificación de la recarga, conductividad hidráulica, explotación, recursos superficiales y condiciones de borde representados en el modelo). Luego se realizó un análisis completo de los resultados de las simulaciones comparando los distintos balances de masa.

## Resultados

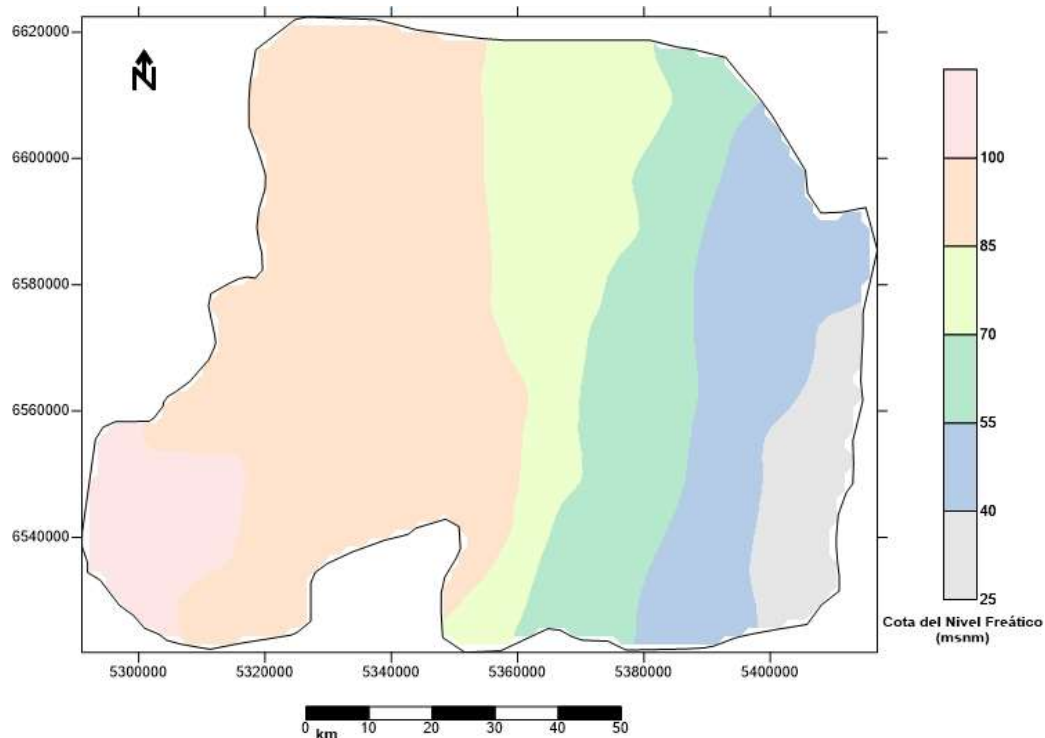


Figura 1 - Mapa con valores de datos freáticos.

La figura 1 muestra que el flujo de agua subterránea es en sentido oeste este, con valores de 105 msnm en el sector oeste y de 25 msnm en el sector este. El patrón de flujo se ve condicionado por la litología del acuífero y por los escasos gradientes hipsométricos e hidráulicos correspondientes a zonas de llanura. El modelo fue desarrollado utilizando como parámetros base una conductividad hidráulica de 2.5 m/d, una recarga de 58 mm, un tamaño de celda de 1 km<sup>2</sup> (10000 celdas) y las condiciones de borde (tipo Dirichlet) de 105 msnm y 25 msnm en los bordes oeste y este respectivamente.

## Conclusiones

El área es muy extensa para generar un modelo global con la escasa disponibilidad de datos existente, por lo que se debería analizar la posibilidad de generar modelos locales para estimar con mayor precisión los parámetros geohidráulicos adecuados para el modelo global. Cabe mencionar que algunos ya se están llevando a cabo en la ciudad de Rafaela.

El patrón de flujo de agua subterránea obtenido en el modelo presentado en el mapa freático es en sentido Oeste – Este correspondiéndose con los resultados obtenidos por Tascón y Márquez (2021) en el modelo conceptual y numérico local de Rafaela.

Por otra parte, se debería complementar la información con la hidrogeoquímica a los efectos de poder estimar con mayor precisión la ubicación de las áreas de recarga (regional y local), descarga (regional) y condiciones de borde del modelo. Asimismo, se correspondería realizar una campaña de reconocimiento, ubicación y medición de freáticos y luego una tarea de medición con una ventana temporal adecuada. Dichas operaciones, junto con la elaboración del modelo numérico, fueron postergadas por pandemia. Por lo tanto, se muestran resultados preliminares del Proyecto en ejecución.

## Agradecimientos

Este trabajo se llevó a cabo bajo la dirección del Dr. Ing. Juan J. Nittmann perteneciente al Grupo de Investigación en Aplicaciones de Métodos Numéricos en Ciencia e Ingeniería (GIAMNCI) de la UTN Facultad Regional Rafaela.

## Referencias

- Anderson M. P., Woessner W. W. 1992. Applied groundwater modeling - simulation of flow and advective transport. Academic Press. 381 pp.
- Auge M. P. 2004. Hidrogeología Ambiental. Servicio Geológico y Minero Argentino. Dirección de Geología Ambiental y Aplicada. SEGEMAR. 131 pp.
- Betancur T., Palacio C. A., Escobar F. J. 2012. Conceptual models in hydrogeology, methodology and results. En: Kazemi G. 2012. Hydrogeology a global perspective. InTECH. 231 pp.
- Bredehoeft J. 2005. The conceptualization model problem - surprise. Hydrogeology Journal. 13:37-46pp.
- Castañeda M. E., Barros V. 1994. Las tendencias de la precipitación en el Cono Sur de América al este de los Andes. Meteorológica. (19): 23–32 pp.
- Ferreira G., Rodríguez L. 2005. Uso de niveles freáticos para la caracterización de la recarga/descarga. XX Congreso Nacional del Agua. Mendoza. Argentina. 12 pp.
- Ferreira G. 2006. Sistema de alerta hidrológico de la cuenca del Río Salado, provincia de Santa Fe, Argentina: avances en su implementación. Climate Variability and Change— Hydrological Impacts. IAHS Pub. 175-179 pp.
- Ferreira G., Marizza M., Rodríguez L. 2012. Utilización de información procedente de teledetección para el análisis de sistemas subterráneos. Aqua-LAC. (4): 9-18 pp.
- Fili M. P., Tujchneider O. C. 1977. Características geohidrológicas regionales del subsuelo de la Provincia de Santa Fe (Argentina). Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral. 8:105-113 pp.
- Forte Lay J., Scarpati O., Capriolo A. 2008. Precipitation variability and soil water content in Pampean Flatlands (Argentina). Geofísica Internacional. 47(4). 341-354 pp.
- Giampieri R. C., Rodriguez L., Vionnet C. A. 2004. Estudio del desborde del Río Salado sobre la ciudad de Santa Fe, Argentina, Abril 2003. Rev. Int. de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil. Vol. 4(1): 1- 18 pp.
- Giorgi, F. 2002. Variability and trends of sub-continental scale surface climate in the twentieth century. Part I: Observations. Climate Dynamics. 18: 675-691 pp.
- Grimm A. M., Tedeschi R. G. 2009. ENSO and Extreme Rainfall Events in South America. Journal of Climate. (22): 1589-1609 pp.
- Iriondo M. H. 2012. Aguas subterráneas y superficiales de la Provincia de Santa Fe. Museo de Ciencias Naturales Florentino Ameghino. 290 pp.
- Krohling D., Brunetto E. 2013. Marco geológico y geomorfología de la cuenca del Arroyo Cululú. En: Bases conceptuales y metodológicas para el ordenamiento territorial en el medio rural. Libroclíc Ediciones. 485-512 pp.
- Marengo, J. A., Jones R., Alves R. M., Valverde M. C. 2009. Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. International Journal of Climatology. (29) 2241-2255 pp.
- McDonald M. G., Harbaugh A. W. 1988. MODFLOW, A modular three dimensional finite difference ground water flow model. U. S. Geological Survey Report. 588 pp.
- Tascón L., Márquez M. 2021. Modelo hidrogeológico del acuífero Pampeano en la ciudad de Rafaela, Santa Fe. Aplicación mediante análisis del Sistema de drenaje existente en Plaza Honda. (en proceso de defensa). Proyecto Final. Dpto. Ing. Civil. Facultad Regional Rafaela. 230 pp.
- Wang H. F., Anderson M. P. 1982. Introduction to groundwater modeling: Finite Difference and Finite Element Method. Freeman and Company. 237 pp.

## **Huella de carbono y balance de carbono en establecimientos lecheros de la provincia de Santa Fe bajo diferentes sistemas de alimentación.**

### **Carbon footprint and carbon balance in dairy farms under different feeding systems in the province of Santa Fe.**

**Daiana Albrecht y Juan Beltramo**

Departamento de la Licenciatura en Administración Rural (Acuña 49, Rafaela, Santa Fe),  
Facultad Regional Rafaela.

daialbre@gmail.com, beltramojuanma@hotmail.com

#### **Resumen**

El objetivo de este estudio fue evaluar emisión de GEI (Gases de Efecto Invernadero) y estimar huella de carbono (HC) y balance de carbono (BC) en sistemas de producción de leche bovina reales en Santa Fe. Para la estimación de las emisiones de GEI y la HC desde la cuna hasta la tranquera, se utilizó metodología del IPCC (2006) y para el secuestro de carbono orgánico del suelo (COS) la metodología descrita por Ricard y Viglizzo (2020). La principal fuente de emisión fue la fermentación. El sistema RTM seguido de los ASbcac y ASacac presentaron menores valores de HC y BC con respecto a los AS con bajo concentrado y los RPM. Este trabajo sugiere que existe potencial de reducir la HC de la leche mediante la aplicación de prácticas que no necesariamente implican la intensificación de los sistemas. El secuestro de COS es prometedor como una estrategia de mitigación.

**Palabras claves:** GEI, huella de carbono, mitigación, secuestro de carbono, sistemas lecheros.

#### **Abstract**

The objective of this study was to evaluate GHG emissions and estimate the carbon footprint (CF) and carbon balance (CB) in real milk production systems in Santa Fe. The IPCC (2006) methodology was used to estimate GHG emissions and the carbon footprint from cradle to farm, and the methodology described by Ricard and Viglizzo (2020) was used for soil organic carbon sequestration (SOC). The main source of emissions was methane enteric fermentation. The RTM system followed by ASbcac and ASacac showed lower values of HC and BC with respect to AS with low concentrate and RPM. This work suggests that there is potential to reduce milk CF by applying practices that do not necessarily involve the intensification of the systems. COS sequestration is promising as a mitigation strategy.

**Key words:** GHG, carbon footprint, mitigation, carbon sequestration, dairy systems.

## Introducción

El productor agropecuario se enfrenta al desafío de mejorar la eficiencia de uso de los recursos disponibles y, al mismo tiempo, reducir la contaminación ambiental. La producción animal representa una fuente significativa de gases de efecto invernadero (GEI) a través de la emisión de metano ( $\text{CH}_4$ ) y óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), además de la contaminación del agua con nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) y la volatilización de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ). Los GEI reciben especial atención por su vinculación al cambio climático. Si bien Argentina representa menos del 1% de las emisiones de GEI a nivel mundial, al firmar el Acuerdo de París, el país ha asumido un compromiso significativo en la agenda de la adaptación y mitigación del cambio climático, particularmente en el caso de Argentina se han asumido compromisos de reducción ante la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (Moreira Muzzio, 2019). Por lo tanto, un desafío nacional es el de promover sistemas de producción lechera sostenibles que puedan mantener o incrementar la producción de leche, su retorno económico y promuevan aspectos sociales, mientras se reduce el impacto ambiental. En consecuencia, el foco está puesto en determinar las emisiones de GEI del sector, particularmente en orden de identificar o desarrollar las prácticas más sustentables que se puedan aplicar a los variados sistemas de producción nacional.

El secuestro de carbono (COS), definido como la remoción de  $\text{CO}_2$  de la atmósfera y su almacenamiento en sumideros ecológicos, como por ejemplo la materia orgánica del suelo, es una de las estrategias de mitigación más prometedoras. Sin embargo, nuestros sistemas de producción de leche atraviesan un proceso de concentración, con más vacas por tambor, y si bien se mantiene una base pastoril, se ha incrementado la participación de silajes y alimentos concentrados en la dieta de los animales, con el objetivo de mantener e incrementar los volúmenes de leche producidos, proliferando los modelos con animales en confinamiento. A pesar de la importancia que tiene en nuestro país la producción lechera, hasta el presente existe poca información sobre emisiones de GEI, la huella de carbono y el balance de carbono (emisiones – secuestro) a escala predial.

El objetivo de este estudio fue evaluar la emisión de GEI y estimar la huella de carbono (HC) junto al balance de carbono (BC) en sistemas de producción de leche bovina reales en la provincia de Santa Fe bajo diferentes sistemas de alimentación.

## Desarrollo

### Materiales y métodos:

Se seleccionaron nueve tambos contrastantes desde el punto de vista de alimentación a través de un muestreo aleatorio simple de encuestas realizadas por el INTA (2014-2015). Un sistema de ración totalmente mezclada (RTM), cuatro pastoriles con ración parcialmente mezclada (RPM) y cuatro pastoriles con alimentos entregados por separado (AS). Dentro de los RPM y AS, se trabajó con cuatro tipos de sistemas de alta carga animal ( $\geq 1,5 \text{ VT.haVT}^{-1}$ ) y alta cantidad de concentrado ( $\geq 6 \text{ kg.VO.día}^{-1}$ ) (acac), alta carga animal y baja cantidad de concentrado (acbc), baja carga animal y alta cantidad de concentrado (bcac) y por último, baja carga animal y baja cantidad de concentrado (bcbc).

La estimación de las emisiones de GEI ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ) se realizó mediante un enfoque de análisis de ciclo de vida hasta la tranquera del establecimiento. Se determinó como unidad funcional los kg de leche corregida por grasa y proteína (LCGP) producidos. Se utilizaron las ecuaciones del Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2006) que representaron las



distintas fuentes de emisión en el ciclo productivo, es decir aquellas emisiones pre-cadena, tales como las asociadas a la producción y transporte de alimento, fertilizantes y otros insumos importados al establecimiento y aquellas propias del sistema de producción. Se consideraron las siguientes fuentes de GEI: emisiones de CH<sub>4</sub> de la fermentación entérica y de las heces depositadas en pasturas, emisiones directas e indirectas de N<sub>2</sub>O provenientes de la orina y heces de animales en pastoreo, las emisiones de N<sub>2</sub>O de los residuos de los cultivos y de los fertilizantes aplicados y las emisiones de CO<sub>2</sub> por el uso de combustibles fósiles y energía eléctrica utilizados para las tareas agropecuarias. Las emisiones asociadas con la producción de medicamentos y plaguicidas fueron excluidas debido a la falta de datos disponibles (Cederberg y Mattsson, 2000).

Las emisiones de GEI se expresaron en unidades de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>eq) teniendo en cuenta el potencial de calentamiento global (PCG) de cada gas (IPCC, 2014) asumiendo un horizonte temporal de 100 años. Los PCG fueron 25, 298 y 1 para el CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O y CO<sub>2</sub>, respectivamente.

El secuestro de carbono orgánico del suelo (COS) por parte de las pasturas se estimó según Ricard y Viglizzo (2020). Sin embargo, se debe tener en cuenta que dicha metodología no se encuentra validada por el IPCC y además fue generada para su aplicación en sistemas ganaderos de baja carga animal. Se calculó la HC por kg de leche corregida por grasa y proteína (LCGP) y el BC para cada tambo (diferencia entre HC y COS).

#### Resultados y discusión:

La intensidad de emisión por hectárea (E.ha<sup>-1</sup>) promedio fue 9,60 tnCO<sub>2</sub>eq.ha<sup>-1</sup>, la HC 0,87 kgCO<sub>2</sub>eq.kgLCGP<sup>-1</sup>, el COS 0,16 kgCO<sub>2</sub>eq.kgLCGP<sup>-1</sup> y el BC 0,72 kgCO<sub>2</sub>eq.kgLCGP<sup>-1</sup>. Los sistemas con baja carga tuvieron menores E.ha<sup>-1</sup> (Cuadro 1).

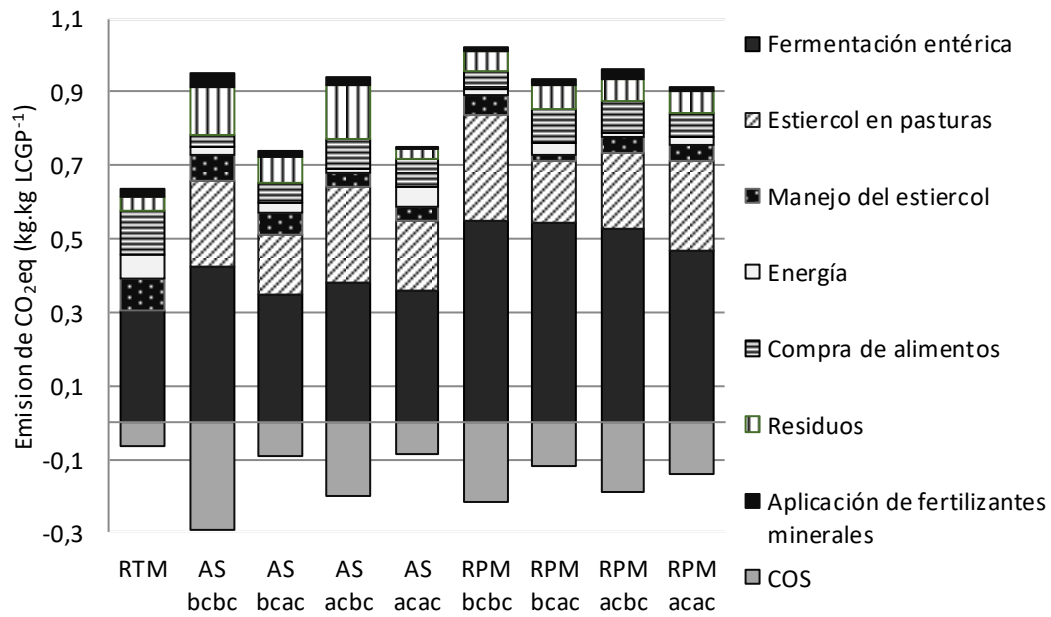
**Tabla 1. Características generales de los sistemas lecheros evaluados.**

Participantes	RTM	AS bcbc	AS bcac	AS acbc	AS acac	RPM bcbc	RPM bcac	RPM acbc	RPM acac
Superficie vaca adulta (haVT)	100	120	89	78	135	102	97	47	150
N° de vacas adultas (VT)	250	99	130	149	371	141	120	108	310
N° de vacas en ordeño (VO)	210	86	108	110	314	114	105	110	250
Producción de leche (kg LCGP.VO.día <sup>-1</sup> )	22,5	16,8	21,7	20,0	21,9	19,3	21,0	20,0	22,3
Carga animal (VT.haVT <sup>-1</sup> )	2,50	0,82	1,46	1,90	2,75	1,38	1,24	1,90	2,07
Concentrado (kg.VO.día <sup>-1</sup> )	8,40	3,39	7,20	5,50	7,00	3,80	8,00	5,50	9,50
Emisión de GEI (tnCO <sub>2</sub> eq.haVT <sup>-1</sup> )	10,94	4,18	7,09	9,72	14,0	8,01	7,76	12,3	12,4
Huella de carbono (kgCO <sub>2</sub> eq.kgLCGP <sup>-1</sup> )	0,64	0,95	0,74	0,94	0,75	1,02	0,93	0,96	0,92
Balance de carbono (kgCO <sub>2</sub> eq kg LCGP <sup>-1</sup> )	0,57	0,66	0,65	0,74	0,66	0,81	0,81	0,78	0,78

RTM: ración totalmente mezclada, AS: alimentos separados; RPM: ración parcialmente mezclada; bcbc: baja carga y baja cantidad de concentrado; bcac: baja carga y alta cantidad de concentrado; acbc: alta carga y baja cantidad de concentrado; acac: alta carga y alta cantidad de concentrado.

El sistema RTM seguido de los ASbcac y ASacac presentaron menores valores de HC y BC con respecto a los AS con bajo concentrado y los RPM. La principal fuente de emisión fue la fermentación entérica en todos los sistemas (Figura 1), seguida por la deposición de estiércol en pasturas en los RPM y AS. En el RTM la segunda fuente de emisión fue la compra de alimentos. Los AS con bajo concentrado (ASbcbc y ASacbc) tuvieron mayores emisiones por los residuos de los cultivos y pasturas, pero presentaron mayor secuestro de COS, junto con los RPM con bajo concentrado (RPMbcbc y RPMacbc). En los ASbcbc, ASacbc, RPMbcbc y RPMacbc, el secuestro de COS representó el 30,8%, 21,5%, 21,0% y 19,4% de la HC. En los AS

con alto contenido de concentrado el 12,1% en promedio, 14,1% en los RPM con alto concentrado y 10,9% en el RTM.



**Figura 1: Fuentes de emisión, huella de carbono y captura de CO<sub>2</sub>eq por unidad de producto en los sistemas lecheros seleccionados.**

### Conclusiones

Este trabajo sugiere que existe potencial de reducir la HC de la leche mediante la aplicación de prácticas que no necesariamente implican la intensificación de los sistemas. El secuestro de COS como estrategia de mitigación en lechería es promisorio, pero es importante el contar con datos de campo en distintos sistemas productivos del país, así como también de factores de emisiones locales para alcanzar estimaciones más adecuadas de nuestros sistemas de producción.

## Referencias

Cederberg, C., Mattsson, B. 2000. Life cycle assessment of milk production — a comparison of conventional and organic farming. *Journal of Cleaner Production* 8(1):49-60

IPCC. 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston, H.S., Buenida, L., Miwa, K., Nagara, T. & Tanabe, K. (eds). Published: IGES, Japan.

IPCC, 2014. CAMBIO CLIMÁTICO 2014. Informe de síntesis. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf)

Moreira Muzio, M. 2019. Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero : Argentina-2019 / Macarena Moreira Muzio ; Fabián Gaioli ; Sebastián Galbusera. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación.

Ricard, M.F., Viglizzo, E.F. 2019. Improving carbon sequestration estimation through accounting carbon stored in grassland soil. *MethodsX*, 2215-0161.

## Estimación de parámetros para un modelo de circuito equivalente de una batería ion-litio

### Parameter estimation for an equivalent circuit model of a lithium-ion battery

**Rodrigo G. Alarcón**

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Reconquista  
ralarcon1493@comunidad.frrq.utn.edu.ar

**Martín A. Alarcón**

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Reconquista  
malarcon@comunidad.frrq.utn.edu.ar

**Resumen:** En este trabajo se modela una batería de ión-litio comercial a través de un circuito equivalente eléctrico, el cual se conforma de diferentes componentes para simular su comportamiento dinámico. Como los valores de estos componentes, varían de acuerdo al estado de carga de la batería, se presenta un procedimiento para la estimación de parámetros basado en el método de mínimos cuadrados, utilizando la herramienta Simulink<sup>®</sup> Design Optimization<sup>™</sup> de MATLAB<sup>®</sup>.

**Palabras claves:** Batería Ion-Litio, Modelo, Simulación, Estimación de parámetros.

**Abstract:** In this work, a commercial lithium-ion battery is modelled using an electrical equivalent circuit, which is made up of different components to simulate their dynamic behaviour. As the values of these components vary according to the state of charge of the battery, a procedure for parameter estimation based on the least-squares method is presented, using the Simulink<sup>®</sup> Design Optimization<sup>™</sup> tool of MATLAB<sup>®</sup>.

**Keywords:** Lithium-Ion Battery, Model, Simulation, Parameter estimation.

**Introducción:** Los modelos de baterías se han convertido en una herramienta indispensable para el análisis de su comportamiento. Pueden encontrarse varios enfoques, entre los que se destacan los modelos electroquímicos (Klein et al., 2012), matemáticos (Li and Ke, 2011) y de circuitos equivalentes (Jackey et al., 2013). Ninguno de estos enfoques es lo suficientemente preciso, por si solo, como para representar todos los aspectos que describen el comportamiento dinámico de la batería. Es por esto, que el modelado debe adoptarse acorde las condiciones y especificaciones de uso para cada aplicación.

El poder modelar una batería, y a una mayor escala un banco de baterías, nos permitirá conformar sistemas aun mas complejos como una microrred (Alarcón et al., 2020); siendo estas el paso previo para la concepción de las denominadas redes inteligentes o smartgrid.

El análisis de las características del sistema físico a identificar es de vital importancia para la modelización. La estimación de parámetros se refiere a los medios y técnicas para estudiar un modelo a través de los datos medidos o experimentales, principalmente para el desarrollo de una descripción matemática adecuada de los mismos.

**Desarrollo:** Se toman las características de una batería ion-litio comercial, como se muestra en la Tabla 1:

Parámetros	Valor
Tensión nominal	12 V
Capacidad nominal	400 Ah
Corriente desc/carg max.	200 A (1 C)

Tabla 1: Batería MASTERVOLT-MLI Ultra 12/5500

Existen varias formas de modelar una batería, los modelos electroquímicos, matemáticos y los circuitos equivalentes eléctricos. En este caso utilizamos el modelo de circuito equivalente pro-

puesto por (Chen and Rincon-Mora, 2006), el cual se aprecia en la Figura 1. El modelo se compone de dos circuitos separados, que se relacionan entre si por una fuente de tensión controlada por tensión  $V(V_{Soc})$  y una fuente de corriente controlada por corriente  $I_b$ . El de la izquierda, modela la capacidad de almacenamiento y la carga almacenada durante los procesos de carga o descarga. El de la derecha, describe la resistencia interna representada por  $R_s$  y el comportamiento transitorio frente a distintas cargas representado por  $R_{ts}$ ,  $C_{ts}$ ,  $R_{tl}$  y  $C_{tl}$ .

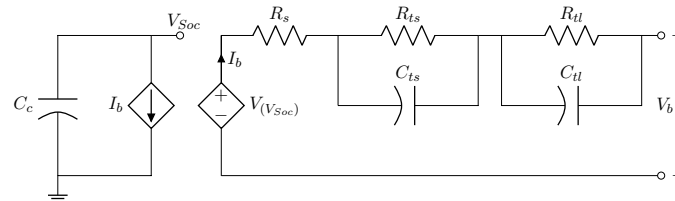


Figura 1: Circuito equivalente de la batería

Para determinar valores tentativos de los componentes de este circuito, se aplica el método de extracción de parámetros en el dominio temporal propuesto por (Hentunen et al., 2014), el cual consiste en analizar las características de la curva de tensión en el periodo de descarga y relajación de la batería, luego de aplicar pulsos de corriente de descarga y/o carga.

Las resistencias y capacitancias halladas, variarán de acuerdo al estado de carga de la batería, por lo que, se obtendrán diferentes valores dependiendo del estado de carga inicial. A fin de determinar cuales valores de resistencia y capacitancia representan de mejor manera el modelo, se desarrolla un procedimiento para la estimación de parámetros del circuito equivalente de la batería a partir de datos experimentales medidos y ensayados utilizando la herramienta **Simulink® Design Optimization™** de **MATLAB®** (Inc, 2015).

Se obtienen valores tentativos de los parámetros, partiendo de un estado de carga inicial de la batería de 80 %, los cuales se aprecian en la Tabla 2.

Parámetros	Valor
$R_s$	0.0003 $\Omega$
$R_{ts}$	0.00094206 $\Omega$
$R_{tl}$	0.0038208 $\Omega$
$C_{ts}$	168880 F
$C_{tl}$	9089600 F

Tabla 2: Parámetros tentativos circuito equivalente

El proceso de estimación de parámetros se inicia obteniendo datos experimentales  $V_{bid}$ , los cuales utilizaremos como referencia. Para ello, ensayamos la batería frente a una señal de entrada  $I_{bid}$  para conocer la respuesta temporal. Por tal motivo, se montó una plataforma de simulación en Simulink®, obteniendo las curvas de identificación (Figura 2).

Lo siguiente, es obtener la respuesta temporal del circuito equivalente, es decir los datos ensayados  $V_{bsim}$ , para la misma señal de entrada utilizada en la obtención de  $V_{bid}$ . Representando el circuito equivalente en Simulink® y adoptando los parámetros tentativos hallados, obtenemos la curva  $V_{bsim}$  como se aprecia en la Figura 3.

El objetivo de la estimación de parámetros se centra en encontrar los valores de los parámetros del modelo  $\theta = [R_s \ R_{ts} \ R_{tl} \ C_{ts} \ C_{tl}]$ , los cuales permitan el ajuste con  $n$  muestras de la tensión  $V_{bid}$ , donde  $\theta$  puede variar entre "0" y "+ $\infty$ ". La obtención de los parámetros del modelo se realiza minimizando la función de costo indicada en la ecuación (1), que es el sumatorio del cuadrado del error de la diferencia entre la tensión  $V_{bid}$  y la  $V_{bsim}$ .

$$J(\theta) = \sum_{k=1}^n (V_{bid}(k) - V_{bsim}(k, \theta))^2 \quad (1)$$

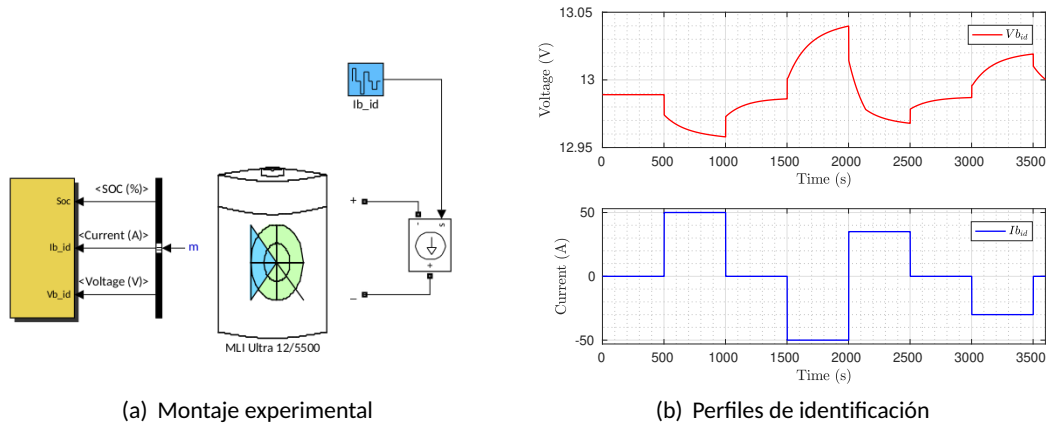


Figura 2: Datos experimentales medidos

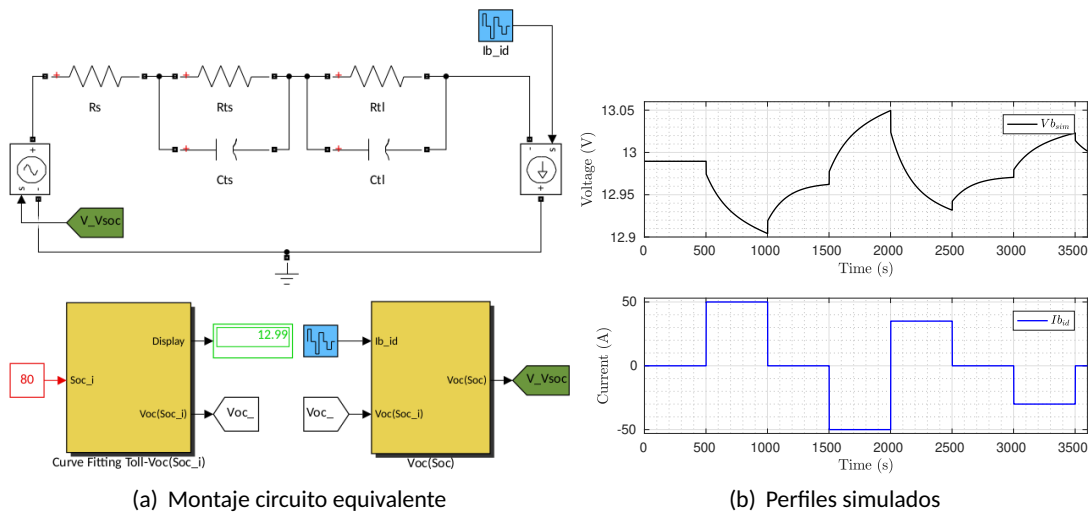


Figura 3: Datos ensayados o simulados

El proceso iterativo de estimación minimiza la suma de los errores al cuadrado entre la tensiones obtenida del modelo del circuito equivalente  $Vb_{sim}$  y la del montaje experimental  $Vb_{id}$ , hasta que el error  $e(k)$  sea lo suficientemente pequeño, como se muestra en la Figura 4.

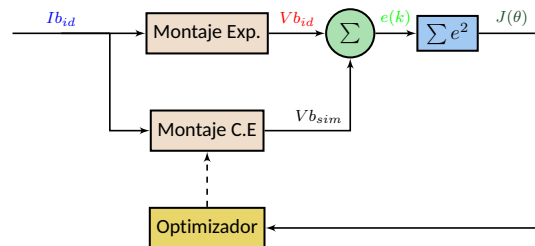


Figura 4: Proceso de estimación

El problema de minimización se resuelve con Simulink<sup>®</sup> Design Optimiazation<sup>™</sup> de MATLAB<sup>®</sup>. Esta herramienta proporciona una interfaz interactiva que ayuda a minimizar la función de costo entre  $Vb_{sim}$  y  $Vb_{id}$ , utilizando el método no lineal de mínimos cuadrados para la estimación de parámetros. El algoritmo empleado para resolver el problema de minimización es *trust-region-reflective*.

Iniciamos la herramienta seleccionando **Analysis/Parameter Estimation**. Como primer medida,

debemos especificar que parámetros se van a estimar, con sus valores iniciales y los límites para cada uno, como se indica en la Tabla 3.

Parámetros	Valor inicial	limite
$R_s$	0.0003 $\Omega$	$[0, +\infty]$
$R_{ts}$	0.00094206 $\Omega$	$[0, +\infty]$
$R_{tl}$	0.0038208 $\Omega$	$[0, +\infty]$
$C_{ts}$	168880 F	$[0, +\infty]$
$C_{tl}$	9089600 F	$[0, +\infty]$

Tabla 3: Parámetros a estimar con sus valores iniciales y límites

Simulando para un estado de carga inicial de la batería del 80 % se obtienen dos curvas que se aprecian en la Figura 5. La primera,  $Vb_{id}$ , representa la respuesta del montaje experimental y la segunda,  $Vb_{sim_i}$ , la respuesta del circuito equivalente con los valores tentativos iniciales de los parámetros; en el que se presenta un error relativo máximo de 0.41 %.

Utilizando la citada herramienta de estimación de parámetros, se obtiene la curva  $Vb_{sim_f}$  de la Figura 5, correspondiente a la respuesta del circuito equivalente con los valores calculados por la herramienta. Se puede apreciar una mejora en la precisión del modelo del circuito equivalente, obteniendo un error relativo máximo de 0.18 %. Los nuevos valores de los parámetros se observan en la Tabla 4

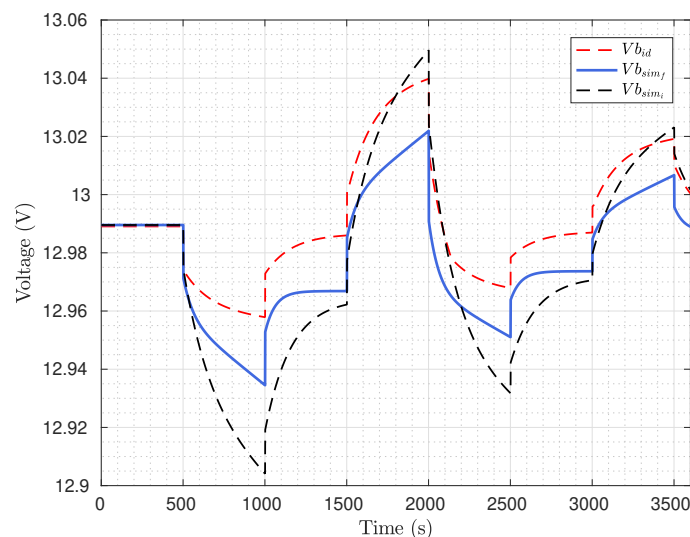


Figura 5: Resultados de la simulación

Parámetros	Valor
$R_s$	0,00036396 $\Omega$
$R_{ts}$	0,00028325 $\Omega$
$R_{tl}$	0,0041962 $\Omega$
$C_{ts}$	216470 F
$C_{tl}$	5667300000 F

Tabla 4: Valores finales del circuito equivalente

Con la finalidad de validar el modelo, se realiza una nueva simulación con un perfil de corriente diferente. El ensayo se lleva a cabo adoptando una corriente  $Ib_v$  caracterizado por dos pulsos de corriente de descarga de 50 (A) seguidos por dos pulsos de carga de la misma magnitud con una duración de 500 (s) y periodos de relajación de 500 (s). Iniciando la validación con un estado

de carga inicial de la batería del 40 %, el máximo error relativo cometido es del 0.19 %. La curva  $V_{b_{ref}}$  representa el voltaje de la batería obtenido del montaje experimental, mientras que la curva  $V_{b_{CE}}$  corresponde al montaje del circuito equivalente. El resultado de la simulación se aprecia en la Figura 6.

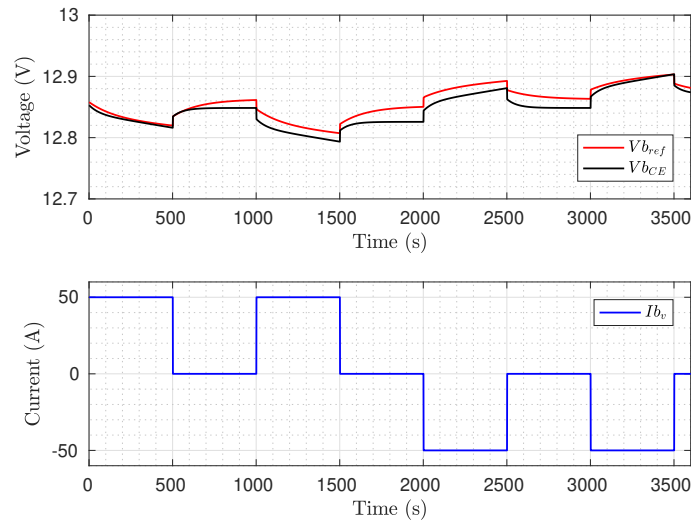


Figura 6: Simulación de validación

**Conclusiones:** Se presento y desarrollo un procedimiento para la estimación de los parámetros de un modelo de una batería ion-litio, a partir de datos experimentales medidos. Este procedimiento se basa en el uso de la herramienta Simulink<sup>®</sup> Design Optimization<sup>™</sup> de MATLAB<sup>®</sup>, la cual se utiliza para la identificación paramétrica de modelos. Como condicionamiento, esta técnica depende de los métodos y algoritmos de optimización incluidos en Simulink<sup>®</sup>. A partir de estos parámetros obtenidos, se puede formular una representación en espacio de estados, para utilizarlo en estrategias de gestión para la energía almacenada en las baterías.

### Referencias:

- Alarcón, M. A., Alarcón, R. G., González, A. H., and Ferramosca, A. (2020). Modeling a residential microgrid for energy management. In *2020 Argentine Conference on Automatic Control (AADECA)*, pages 1–6. IEEE.
- Chen, M. and Rincon-Mora, G. A. (2006). Accurate electrical battery model capable of predicting runtime and iv performance. *IEEE transactions on energy conversion*, 21(2):504–511.
- Hentunen, A., Lehmuspelto, T., and Suomela, J. (2014). Time-domain parameter extraction method for thévenin-equivalent circuit battery models. *iee transactions on energy conversion*, 29(3):558–566.
- Inc, T. M. W. (2015). Simulink design optimization user's guide.
- Jackey, R., Saginaw, M., Sanghvi, P., Gazzarri, J., Huria, T., and Ceraolo, M. (2013). Battery model parameter estimation using a layered technique: an example using a lithium iron phosphate cell. *SAE Technical Paper*, 2:1–14.
- Klein, R., Chaturvedi, N. A., Christensen, J., Ahmed, J., Findeisen, R., and Kojic, A. (2012). Electrochemical model based observer design for a lithium-ion battery. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 21(2):289–301.
- Li, S. and Ke, B. (2011). Study of battery modeling using mathematical and circuit oriented approaches. In *2011 IEEE Power and Energy Society General Meeting*, pages 1–8. IEEE.



## **Análisis comparativo de modelos matemáticos para el ajuste de las curvas de secado de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)**

### **Comparative analysis of mathematical models for the adjustment of quinoa drying curves (*Chenopodium quinoa* Willd.)**

**Alberto Ravagnan** - E-mail de autores: [al.ravagnan@gmail.com](mailto:al.ravagnan@gmail.com)

Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnología de los Alimentos (CIDTA).  
Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Rosario

#### **Resumen**

Se analizaron diversos modelos matemáticos con el fin de determinar cual es el que mejor se ajusta a los datos experimentales del secado de granos de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Para cada modelo se analizó el error cuadrático medio, siendo el modelo de Midilli el cual presentó mejor ajuste.

**Palabras clave:** Quinoa; Secado; Modelo; Midilli

#### **Abstract**

Mathematical models were analyzed in order to determine which is the one that best fits the experimental data of the drying of quinoa grains (*Chenopodium quinoa* Willd.). The mean square error was analyzed for each model, being the Midilli model the one that presented the best fit.

**Keywords:** Quinoa; Drying; Model; Midilli

#### **Introducción**

La quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) es una planta anual, cultivada desde Colombia hasta Argentina y Chile, siendo los principales productores Bolivia, Perú y Ecuador (Abugoch, 2009). Es considerada un pseudocereal debido a sus propiedades semejantes a las de los cereales. El secado o deshidratación de alimentos, es el método más antiguo empleado para su conservación, en el cual las propiedades físicas y bioquímicas cambian principalmente debido a la pérdida de humedad (Flores, 2007).

El conocimiento de la cinética de secado de los materiales biológicos es esencial para el diseño, la optimización y el control del proceso de secado (Sacilik y col., 2006). Entre los modelos de secado basados en la teoría de difusión de líquidos encuentran: Newton, Page, Page modificado, Henderson y Pabis modificado. Estos modelos de secado no solo permiten predecir el mejor proceso, sino que también ofrecen herramientas para predecir las condiciones de almacenamiento y empaque; además, ayudan a establecer el contenido final de humedad de los productos agrícolas y los requisitos del proceso de secado (Torregroza-Espinosa et al., 2014). El objetivo de este trabajo fue modelar matemáticamente las curvas de secado de granos de quinoa obtenidas en las condiciones operativas de secado.

## Materiales y métodos

### Tratamiento de muestra

La quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd) fue provista por la distribuidora Zucchi (Rosario, Santa Fe). Los granos se desaponificaron por vía húmeda con agua a pH=6 y relación granos: agua igual a 1:3 [5]. Se secaron en estufa (Neo Line con circulación de aire) a tres temperaturas: 40°C, 60°C y 80°C y dos velocidades del aire: 0,2 m/min (v1) y 0,7 m/min (v2).

### Modelos de secado

Se aplicaron los siguientes modelos matemáticos de secado para cada condición operativa de (Tabla 1):

Page	$HR = e^{(-kt^n)}$
Lewis	$HR = e^{(-kt)}$
Midilli	$HR = a * e^{(-kt^n)} + b * t$
Pabis	$HR = a * e^{(-kt)}$
Logarítmico	$HR = a * e^{(-kt)} + c$

**Tabla 1.** Modelos matemáticos de secado

Para la determinación de los parámetros teóricos de cada modelo se utilizó el comando solver de Excel. Se hizo tender a cero la diferencia cuadrática entre los valores obtenidos experimentalmente y los valores obtenidos teóricamente.

### Resultados

Para cada modelo se obtuvieron valores de mínimos cuadrados que se muestran en la Tabla 2. En amarillo se han resaltado los valores más bajos obtenidos para cada temperatura y velocidad de aire.

Tabla EMC					
Condiciones	Modelos				
	Page	Lewis	Pabis	Midilli	Logaritmico
80°C, v1	0.017534341	0.086680981	0.065544961	0.000678609	0.001673032
80°C, v2	0.011202869	0.061086273	0.046929611	0.002930765	0.006522011
60°C, v1	0.005886036	0.249460608	0.125254408	0.002494151	0.031312056
60°C, v2	0.003333201	0.045317344	0.016172147	0.000824596	0.00240501
40°C, v1	0.074666167	0.905082406	0.511751149	0.012309008	0.027474472
40°C, v2	0.011990337	0.151828479	0.056275484	0.005959761	0.014162309

**Tabla 2.** Mínimos cuadrados obtenidos para cada modelo matemático

Como se puede observar el modelo de Midilli es el que mejor se ajusta a los datos experimentales siguiendo luego el modelo Logarítmico y el de Page. Los modelos de Lewis y Pabis, si bien se ajustan bien en algunos casos no muestran tan buen ajuste como los primeros tres mencionados.

Se procede a realizar el siguiente análisis en base al modelo de Midilli ya que es el que presenta mejor ajuste para todas las condiciones. El mismo, presenta cuatro parámetros a diferencia de los demás modelos que poseen menor cantidad (1).

$$HR = \frac{H_t - H_e}{H_0 - H_e} = a * e^{(-kt^n)} + b * t \quad (1)$$

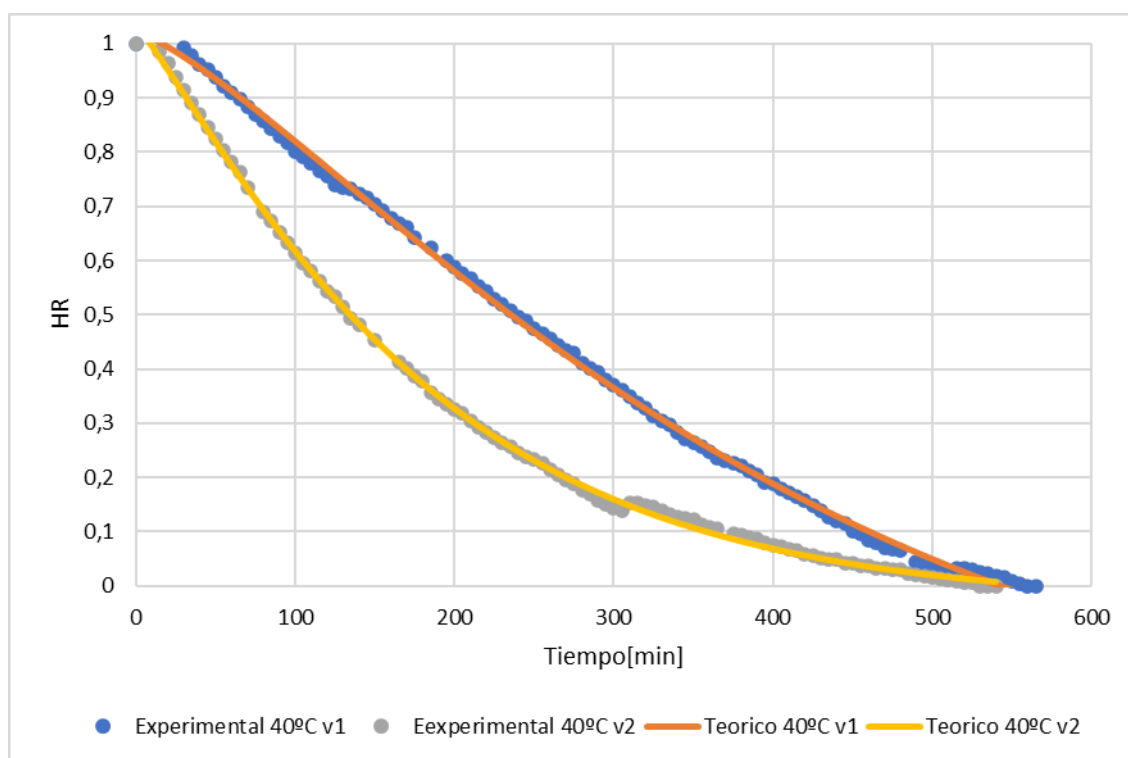
Los parámetros son k, n, b y a. Ht: humedad en base seca para cada tiempo, He: humedad en el equilibrio y H<sub>0</sub>: humedad inicial.

En la Tabla 3, se muestran los parámetros obtenidos para cada condición de secado.

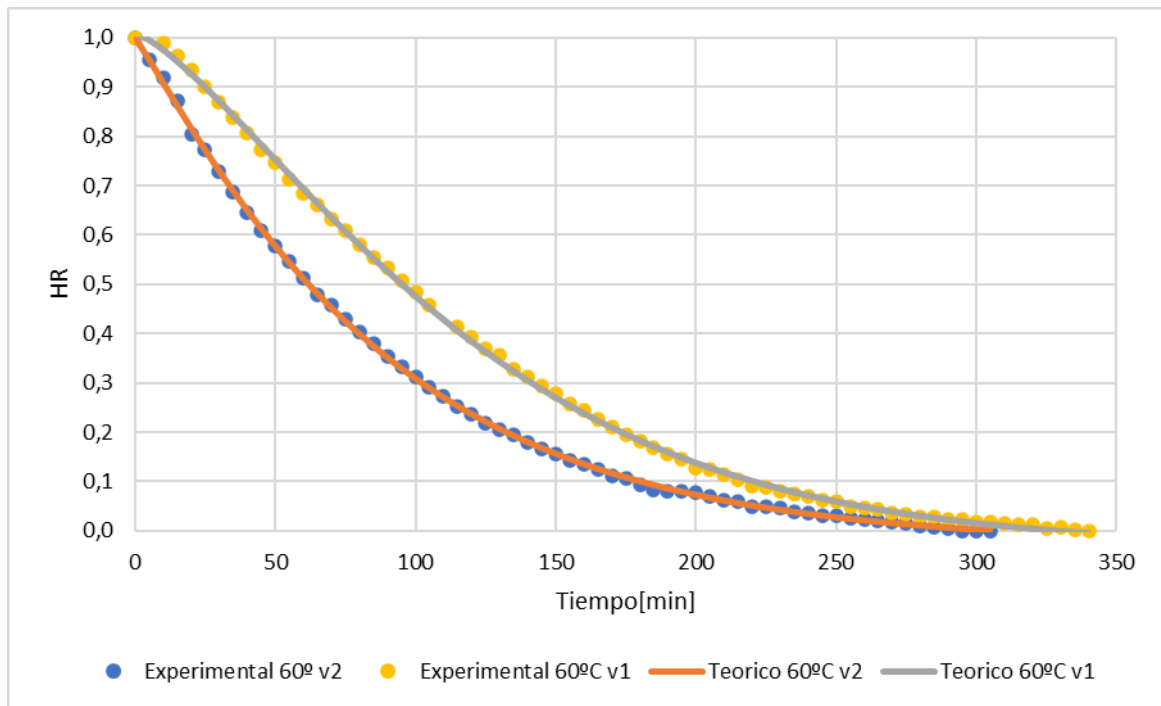
	40°C, v2	40°C, v1	60°C, v2	60°C, v1	80°C, v2	80°C, v1
<b>k</b>	0.00260013	0.00037131	0.00769329	0.00139667	0.00699338	0.00674317
<b>a</b>	1.03409681	1.02284017	1.00068276	1.00920418	0.9786601	0.99001868
<b>n</b>	1.14520344	1.34407677	1.08810086	1.36052428	1.21439186	1.14182209
<b>b</b>	-4.28E-05	-0.0003251	-6.7222E-05	-7.3084E-05	-0.00033423	-0.00069205

**Tabla 3.** Parámetros obtenidos para el modelo de Midilli para cada condición de secado.

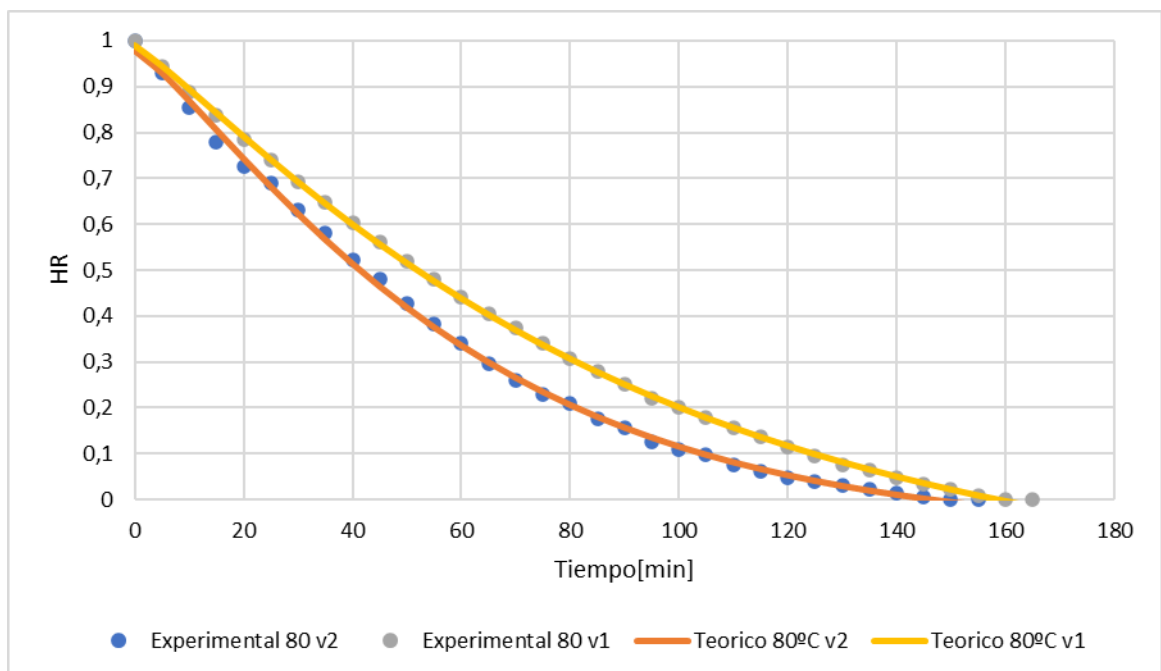
Las curvas de secado de quinoa experimentales y teóricas para el modelo de Midilli se obtuvieron para cada tratamiento de la muestra (Figura 1, 2 y 3).



**Figura 1.** Ajuste del modelo de Midilli para curvas de secado a 40°C



**Figura 2.** Ajuste del modelo de Midilli para curvas de secado a 60°C



**Figura 3.** Ajuste del modelo de Midilli para curvas de secado a 80°C

Se observa que las temperaturas de secado más altas conducen a tasas más altas de eliminación de humedad y, por lo tanto, tiempos de secado más cortos debido a las mayores diferencias de temperatura entre la muestra y el medio de secado. Este comportamiento es independiente de la velocidad del aire.

Por otro lado, para una misma temperatura de secado, a mayor velocidad del aire, es mayor la eliminación de humedad. La velocidad de aire actúa aumentando los coeficientes globales de

transferencia de materia y de calor, lo que disminuye el tiempo de deshidratado de los alimentos.

### **Conclusiones y trabajos a futuro**

Se encontró que el modelo que mejor ajusta las curvas de secado de quinoa para las condiciones ensayadas es el modelo de Midilli. Sería útil evaluar el modelo a otras temperaturas y velocidades de aire para ver si existe una funcionalidad entre los parámetros que lo componen y esas variables, con el fin de generar ecuaciones que permitan calcular dichos parámetros sin necesidad de datos experimentales.

### **Referencias**

- Ávila-Gómez, A.; Montes-Montes, E.; Remolina-López, J.; Torregroza-Espinosa, A. (2014). "Modelado de las Cinéticas de Secado de tres Variedades de Yuca industrial". *Dyna*, 81(186), 184-192.
- Elicin, A.K.; Sacilik, K.; Unal, G. (2006). "Drying kinetics of Üryani plum in a convective hot-air dryer". *Journal of Food Engineering*, 76(3), 362-368.
- Flores, N. (2007). "Drying Foods". *Food and Nutrition Publications*. New Mexico State University, Guide, E-322.

# Movilidad Sostenible en Argentina Sustainable Mobility in Argentina

Virginia Isabela Paduan

Paula Stroili

(Grupo CETRAM – UTN FRSF): [virginiapaduan@gmail.com](mailto:virginiapaduan@gmail.com); [stroili.paula@gmail.com](mailto:stroili.paula@gmail.com)

## Resumen

En el marco del Proyecto de Investigación y Desarrollo: “DISEÑO DE ESTRATEGIAS PARA LA PROMOCIÓN DE LA MOVILIDAD SOSTENIBLE EN AGLOMERADOS URBANOS – CASO DE ESTUDIO GRAN SANTA FE”, desde el “*Grupo Científico de Estudios de Transporte, Accidentología y Movilidad CETRAM*” se llevó a cabo una recopilación de información y antecedentes de normativas y planes estratégicos relacionados con la Movilidad Urbana Sostenible en Argentina (particularmente en la ciudad de Santa Fe). La información hallada muestra que el tema es incipiente en nuestra ciudad en comparación con ciudades de otros países, y permite fundar una buena base de análisis y diagnóstico de la situación.

## Palabras claves

Movilidad, sostenibilidad, medioambiente, estrategias, normativa

## Abstract

Under the Project of Investigation and Development: “DESIGN OF STRATEGIES FOR THE PROMOTION OF SUSTAINABLE MOBILITY IN URBANS AGGLOMERATIONS – CASE STUDY GRAN SANTA FE”, from “*Scientific Study Group on Transport, Accidentology and Mobility*” (CETRAM in Spanish) took out a collection of information and a history of regulatory and strategic plans related to Sustainable Urban Mobility in Argentina (particularly in the city of Santa Fe). The information found shows that the issue is incipient in our city compared with cities in other countries and give us a good base of analysis and diagnostic of the situation.

## Keywords

Mobility, sustainable, environment, strategies, normative

## Introducción

El crecimiento poblacional y la expansión de las urbes han traído consecuencias negativas en las ciudades en materia social y ambiental. Esta problemática, ha llevado a la población mundial a concientizarse sobre el cuidado y la conservación del entorno que habita, lo cual es posible con gestiones basadas en un Desarrollo Sostenible.

El término *Desarrollo Duradero/Sostenible* se abordó por primera vez en el *Informe Brundtland*<sup>1</sup>; allí se lo define como, aquel que satisfaga las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las propias<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> De la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo en 1987.

<sup>2</sup> Naciones Unidas(1987). “Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo – Anexo: Nuestro futuro común”, Documentos oficiales de la Asamblea General, cuadragésimo segundo período de sesiones, suplemento (A/42/427), 4 de agosto de 1987, 23.

En la actualidad, el sector transporte es el que mayor perjuicio genera en el entorno: contaminación ambiental, sonora, emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI), consumo de energía, siniestros viales, problemas de salud y accesibilidad, así como también uso inapropiado del espacio público, entre otros.

El sector transporte se define/caracteriza con 3 palabras claves: movilidad, transporte y accesibilidad.

*Movilidad*, se refiere al conjunto de características relativas al desplazamiento de individuos de un punto a otro independiente del servicio o infraestructura que se emplee para tal fin<sup>3</sup>. Las posibilidades de movilidad por una ciudad son las que brindan a su población la *accesibilidad* (capacidad que poseen la población y las empresas/organizaciones de alcanzar las oportunidades que ofrece la ciudad; lo cual determina el nivel económico de la aglomeración).

A la vez, la movilidad para que sea posible, debe contar con una estructura, y ahí es donde aparece la palabra *transporte*. Este concepto considera a los modos, servicios e infraestructura que permiten el desenvolvimiento de la movilidad individual.

La *movilidad urbana* es un *derecho social*<sup>4</sup>, y por tal una ciudad debe brindar accesibilidad universal siendo a la vez de alta calidad. Esto significa que la prioridad debe ser asignada al movimiento de personas, a través del transporte no motorizado y activo (caminata y bicicleta), el transporte público y sistemas integrados multimodales, por encima de los vehículos particulares, lo que fomentará una práctica y cultura de movilidad sustentable que será responsabilidad de las entidades públicas diseñar y gestionar.

La *gestión de la movilidad* es un término para las estrategias que propician un uso más eficiente de los recursos del transporte, es decir, es planificar hacia una movilidad sostenible.

En Argentina el proceso de urbanización alcanza valores altos, con el 92% de su población en zonas urbanas<sup>5</sup>. El diseño de sus ciudades favorece y fomenta el uso del vehículo particular, y la inversión en infraestructura y transporte urbano es baja, no satisfaciendo la demanda. Como resultado, la movilidad urbana deficiente, afecta negativamente la habitabilidad de la ciudad y al medioambiente.

Siguiendo los pasos de otros países, se busca modificar la situación actual a fin de disminuir nuestro impacto negativo, en materia de movilidad y transporte, en el ambiente. Para ello, se debe repensar/rediseñar las ciudades hacia una movilidad sostenible. A tal fin, esta presentación resume la documentación hallada sobre la gestión de la Movilidad Urbana Sostenible en Argentina y particularmente la Ciudad de Santa Fe.

## Desarrollo

A nivel mundial se han redactado y adoptado varios planes de acción con el objetivo final de prevenir una interferencia humana “peligrosa” en el sistema climático. En línea histórica: Protocolo de Kioto (1997), Acuerdo de París (2015) y Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible (2015). Argentina adhirió a todos ellos.

*La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible* es la de mayor relevancia actualmente. Es un plan de acción que plantea 17 Objetivos con 169 metas que abarcan las esferas económica, social y

---

<sup>3</sup> Concepto dado en boletín de FAL (Facilitación del transporte y el comercio en América Latina y el Caribe) Edición N°323, N°7, 2013.

<sup>4</sup> Declaración de Lima – Libro Blanco de la Movilidad Urbana en América Latina. Agosto 2014.

<sup>5</sup> Aliano, Sol et al. (2019). “Movilidad Sustentable: Desafíos para la Argentina”. CTAE UNICEN, y FARN, 3.

ambiental. La misma implica un compromiso común y universal, no obstante, puesto que cada país afronta una realidad diferente, los Estados fijan sus propias metas nacionales, apegándose a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Argentina suscribió la Agenda 2030 en 2015 y comenzó a implementarla a partir de enero 2016. Para ello, redactó su propio plan de acción, destacándose los siguientes objetivos (enmarcados en el *ODS 11: Ciudades y Comunidades Sostenibles*):

1. Crear una Red de Ciudades Sustentables
2. Movilidad sustentable
3. Disminución del consumo de energía en el transporte
4. Disminución de la contaminación ambiental y sonora provocada por el transporte motorizado
5. Reducir la emisión de GEI provocada por el transporte motorizado.

Con enfoque en el cumplimiento de los ODS en 2017 se desarrollaron planes de acción sectoriales, entre ellos uno específico en materia de transporte: “Plan de Acción Nacional de Transporte y Cambio Climático” y otro en materia de energía: “Eficiencia Energética en Argentina”, que posee una división específica para el sector transporte.

Además, se redactó la Ley de Promoción de la Movilidad Sustentable, que establece un marco legal, económico y de difusión pública para promover la utilización de medios de movilidad sustentables en todo el territorio nacional.

Cabe destacar que cada provincia del territorio argentino debe adherirse a la Agenda 2030 Argentina y a los planes y normativas, quedando a su disposición cómo trabajar la temática y la inversión monetaria destinada.

#### Santa Fe - Provincia

La provincia de Santa Fe adhirió a la Agenda 2030 de Argentina y redactó una propia en 2017, siguiendo los lineamientos generales, pero adecuándolos a su territorio. La misma posee 3 ejes, dónde se destaca la conectividad, accesibilidad, calidad ambiental y desarrollo sustentable.

Luego, en materia de movilidad y transporte, la provincia redactó 2 normativas (2018):

- Ley para promover el desarrollo de la movilidad sustentable en el territorio: en la cual se destaca el transporte bicicleta y transporte público colectivo, dejando sin especificar otros temas relacionados necesarios para completar un sistema integrado de movilidad sustentable.
- Ley para fomentar la industrialización de vehículos eléctricos y con tecnologías de energías alternativas en el ámbito provincial.

A ambas deben adherirse particularmente las ciudades y comunas, quedando a su disposición cómo implementarlas.

#### Santa Fe - Ciudad

En la ciudad de Santa Fe se han encontrado gran cantidad de normativas referidas a la planificación y ordenamiento de la movilidad en el territorio. Según medio de transporte:

- Bicicleta: planificación de infraestructura, equipamiento urbano y estacionamientos.
- Colectivos: carriles exclusivos, red de estaciones de transferencia multimodal.
- Vehículo particular: ciudad 30 y estacionamiento medido (no aplica a motocicletas).



Gran parte de lo hallado es en materia de transporte bicicleta, un punto positivo ya que es uno de los medios de menor impacto ambiental, pero no es el único medio de transporte en una ciudad. Además, cabe destacar, que gran parte de dichas normativas no se hacen cumplir en la actualidad, influyendo negativamente en el uso de la bicicleta como medio de transporte y fomentando aún más el uso del vehículo particular<sup>6</sup>.

### Ciudades de la Provincia de Santa Fe

#### Rosario

Es una de las ciudades más grandes, desarrolladas y con mayor cantidad de habitantes de la Provincia de Santa Fe. Desde hace unos años aplica estrategias de movilidad sostenible, como ser: concientizando a la sociedad con la “Semana de la Movilidad Sustentable” y ofreciendo un SPB<sup>7</sup> en gran parte de la ciudad. Además, en 2011 comenzó a implementar un “Plan Integral de Movilidad”, donde se instala a la movilidad urbana y territorial como parte fundamental de la planificación urbanística y de los lineamientos estratégicos de la ciudad.

#### Rafaela

Es otra ciudad comprometida con el desarrollo sostenible, para lo cual ha creado el “Instituto para el Desarrollo Sustentable”. El mismo está comprometido con los ODS y lleva a cabo actividades enfocadas en ellos, además de articular con otros actores de la ciudad para tratar cuestiones relevantes de carácter fundamental relacionados con el cuidado del medio ambiente.

Aquí se encontraron estrategias referidas al transporte en bicicleta y a los vehículos eléctricos / de energías alternativas.

#### Avellaneda

Posee un Plan de Movilidad Urbana Sostenible y Bajo en Carbono basados en los medios de transporte ambientalmente amigables, accesibles e inclusivos según los ODS 7, 11 y 12. Además, en la actualidad es la ciudad que cuenta con más infraestructura exclusiva ciclista construida del norte de la provincia de Santa Fe.

Por otra parte, conviene destacar el trato que le dieron al tema, dos ciudades argentinas que no corresponden a la provincia de Santa Fe. A continuación, se describen brevemente las líneas rectoras:

#### Bahía Blanca - Provincia de Buenos Aires

Una de las ciudades argentinas más comprometidas con brindarle a sus habitantes una movilidad sostenible y accesible, que le otorgue una buena calidad de vida. Han implementado acciones para priorizar la movilidad activa, principalmente, caminata y bicicleta, otorgando mayor accesibilidad (sobre todo en su microcentro).

#### Ciudad Autónoma de Buenos Aires – Provincia de Buenos Aires

Cuenta con un Plan de Movilidad Sustentable, que prioriza el transporte público y promueve el uso de éste y los medios de movilidad saludables, como andar en bicicleta y caminar. Por otra parte, su Plan Urbano Ambiental, posee artículos sobre transporte y movilidad. Anualmente se

---

<sup>6</sup> Más que nada, ahora en situación de pandemia que las personas no quieren utilizar el transporte público de pasajeros.

<sup>7</sup> Sistema Público de Bicicletas

celebra el día del peatón, como manera de concientizar a la población, y fundamentalmente a los conductores de vehículos sobre la vulnerabilidad de éstos.

## Discusión

En comparación con otras ciudades de la provincia, Santa Fe debe comprometerse aún más con la movilidad sostenible. Creando un espacio dentro de los órganos de gobierno que implemente acciones para el cumplimiento de los ODS y redactando un Plan Integral de Movilidad enfocado en el uso de medios de movilidad con menor perjuicio al ambiente y sociedad (no solo la bicicleta) y que lleve a disminuir el uso del vehículo particular motorizado (principalmente, los que utilizan combustible fósil).

## Conclusiones

Se observa una creciente concientización en Argentina, principalmente en Santa Fe (provincia y ciudad), sobre el cuidado del medioambiente. Pero, la documentación relacionada a dicho tema es escasa, y falta regulación común para el territorio; ya que el libre albedrío otorgado a las provincias y ciudades, hace muy dispar la aplicación de los planes sectoriales y las normativas en el país.

El que se implementen buenos planes estratégicos de movilidad en la ciudad va a ser positivo no solo por la buena imagen que otorga el compromiso con el medioambiente, sino por las ventajas que da a la ciudad: disminuye la contaminación ambiental y sonora, y la emisión del GEI; mejora la habitabilidad y salud de la población; hace a la ciudad más competitiva, mejorando su economía; entre otros. Sobre todo, porque es una ciudad capital, es centro de instituciones administrativas y educativas, y de parques industriales (es decir, hay gran movilización de personas y bienes, y se debe contrarrestar la contaminación de las empresas).

## Bibliografía

Bonfatti, A. y Galassi, R. (2012). Plan estratégico provincial de Santa Fe: Visión 2030. Ministerio de Gobierno y Reforma del Estado de la Provincia de Santa Fe. Disponible en: < <http://www.santafe.gov.ar/archivos/PEP.pdf> >

Honorable Cámara de Diputados de la Nación Argentina. (2019). "Ley de Promoción de la Movilidad Sustentable". Congreso de la Nación. Buenos Aires, Argentina. Disponible en: < <https://www.hcdn.gob.ar/proyectos/textoCompleto.jsp?exp=4602-D-2019&tipo=LEY> >

Ley 13.857 de 2018. [Legislatura de la Provincia de Santa Fe]. Política de movilidad sustentable. Santa Fe. 07 de enero de 2019.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable & Presidencia de la Nación. (2019). "Plan Nacional de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático. Versión 1 – 2019". Argentina. Disponible en: < <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/330000-334999/332234/res447-1.pdf> >

Ministerio de Transporte y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable. (2017). "Plan de Acción Nacional de Transporte y Cambio Climático. Versión I – 2017". Argentina. Disponible en: < [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/plan\\_de\\_accion\\_nacional\\_de\\_transporte\\_y\\_cc\\_1.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/plan_de_accion_nacional_de_transporte_y_cc_1.pdf) >

# Estudio computacional de transitorios en cojinetes bajo lubricación hidrodinámica

## Computational study of transients in hydrodynamic journal bearings

**Lucas J. Donnet**

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe

[lucasdonnet8@gmail.com](mailto:lucasdonnet8@gmail.com)

**Maximiliano O. Frutos**

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe

[maximilianoomarfrutos@gmail.com](mailto:maximilianoomarfrutos@gmail.com)

### Resumen

En este trabajo se presenta un modelo numérico basado en la resolución de las ecuaciones de Navier-Stokes mediante el Método de Volúmenes Finitos que permite la obtención de la trayectoria del muñón de un cojinete hidrodinámico en transitorios debidos a cargas dinámicas. El objetivo final de dicho modelo es la simulación de cojinetes con geometrías arbitrarias para la carcasa, en donde no es válido el análisis mediante la ecuación de lubricación de Reynolds. Los resultados presentados corresponden a la validación del modelo mediante la teoría clásica para el comportamiento dinámico de cojinetes lisos. A partir de allí se simulan cojinetes reales de longitud finita donde los desarrollos teóricos brindan respuestas parciales. La herramienta utilizada se desarrolló sobre la plataforma OpenFOAM(R) logrando el acoplamiento fluido estructura necesario para representar la interacción del muñón y el fluido lubricante, lo cual incluye el uso de mallas deformables.

**Palabras clave:** Cojinetes hidrodinámicos, interacción fluido estructura, método de volúmenes finitos

### Abstract

This work presents a numerical model based on the resolution of the Navier-Stokes equations by means of the Finite Volume Method to obtain the shaft trajectory of a hydrodynamic journal bearing in transitories due to dynamic loads. The objective of such a model is the simulation of journal bearings with arbitrary geometries for the bushing where the use of the Reynolds lubrication equation is no longer valid. The presented results correspond to the model validation against the classical theory for smooth journal bearings. From there real journal bearings with finite length were simulated where the present theory brings only limited results. The used tool was developed over the OpenFOAM(R) platform achieving the fluid structure interaction required to represent the interaction of the shaft with the lubricant fluid, which includes the use of deforming meshes.

**Keywords:** Journal bearings, fluid structure interaction, finite volume method

## Introducción

Los cojinetes hidrodinámicos consisten en el conjunto Eje-Carcasa-Lubricante en el cual se apoyan muchos sistemas mecánicos. Éstos, permiten el movimiento rotativo entre sus partes reduciendo la fricción, desgaste y calentamiento. Su principio de funcionamiento se fundamenta en la lubricación hidrodinámica presente entre las superficies del eje y la carcasa que se encuentran separadas por una delgada película lubricante evitando el contacto metal-metal. La presión en la película necesaria para la sustentación es producida por el movimiento de la superficie del muñón, y se crea debido al arrastre de lubricante hacia una zona cuneiforme a una velocidad lo suficientemente alta.

La existencia de este tipo de lubricación depende principalmente del estado de carga del rotor, de las condiciones de funcionamiento y las propiedades físicas del lubricante. Además, es fundamental la existencia de un suministro adecuado de lubricante en todo momento, no siendo esencial alcanzar una elevada presión de inyección (Vignolo, 2016; Merelli, 2020). El estudio del comportamiento de los cojinetes hidrodinámicos es de vital importancia para el diseño de maquinaria, en cuanto a rendimiento asociado a las pérdidas por fricción.

En este artículo se presenta una revisión de la nomenclatura y las principales consideraciones de la teoría clásica de lubricación hidrodinámica, que serán aplicadas para la validación de un modelo numérico de uso en cojinetes reales. Para la simulación de estos cojinetes se han realizado modificaciones e incorporaciones a la herramienta de Mecánica de Fluidos Computacional OpenFOAM(R).

## Estudio teórico

La geometría del cojinete se encuentra determinada por los parámetros que se observan en la Figura 1, es decir, diámetro  $D$ , largo  $b$ , huelgo  $h$  (definido por el espacio entre el muñón y la carcasa) y la excentricidad  $e$ . Otro parámetro geométrico de importancia es la excentricidad relativa  $\varepsilon = e/h$  cuyo valor es 0 para el caso de un muñón perfectamente concéntrico con la carcasa y 1 cuando está en contacto con ella.

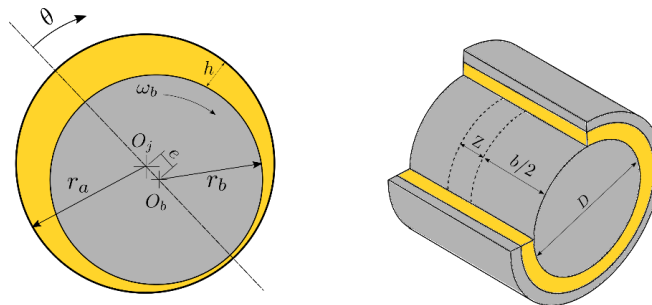


Figura 1: Parámetros geométricos de un cojinete hidrodinámico.

La distribución de presiones a lo largo de la circunferencia de la película de fluido se encuentra descrita por la Ecuación de Reynolds (Ec. 1), esta surge de la integración de las ecuaciones de Navier-Stokes y la de continuidad considerando hipótesis simplificativas. En primer lugar, en cuanto al fluido, se asume que es de tipo newtoniano, es decir, que existe una proporcionalidad directa entre el esfuerzo y el gradiente de velocidad. Por otro lado, a este fluido se lo caracterizará como incompresible (las variaciones de densidad a lo largo del fluido son despreciables). En cuanto al flujo, se asume que las fuerzas inerciales y de cuerpo pueden ser despreciadas cuando se comparan con los términos viscosos y se considera un flujo laminar (si existiese turbulencia, serían necesarias modificaciones en la ecuación de Reynolds). Como última simplificación, se considera que cualquier efecto debido a la curvatura es despreciable. Esto implica que el espesor de la película lubricante es mucho menor que el radio del cojinete, de modo que el dominio físico del flujo puede ser *desenvuelto*. Esto permite el uso del sistema de coordenadas cartesianas. La ecuación de Reynolds tiene la siguiente expresión,

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\rho h^3}{12 \eta} \frac{\partial}{\partial x} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left[ \frac{\rho h (u_a - u_b)}{2} \right] + \rho \left( w_a - w_b - u_a \frac{\partial h}{\partial x} \right) + h \frac{\partial \rho}{\partial t} \quad (1)$$

Donde:  $\rho$  es la densidad del lubricante,  $\eta$  es su viscosidad dinámica,  $u_a$  y  $u_b$  son las velocidades tangenciales de la carcasa y el muñón respectivamente,  $w_a$  y  $w_b$  sus velocidades radiales.

El estudio analítico de la ecuación de Reynolds resulta complejo para el caso de cojinetes reales, pero puede simplificarse en dos casos extremos cuya resolución analítica se encuentra en la bibliografía (Hamrock, 1991): el cojinete infinitamente largo (Solución de Sommerfeld, Ec. 2), y el cojinete infinitamente corto (Solución de Ocvirk, Ec. 3). La primera de ellas no considera fugas laterales del lubricante por los extremos del cojinete, por lo que la presión en la dirección axial se mantiene

constante. Por otro lado, la solución de Ocvirk sí considera este efecto, lo que conduce a una distribución parabólica de las presiones en esa dirección.

$$p(\theta) = 6\eta \left(\frac{r_b}{c}\right)^2 \left\{ \frac{\dot{\epsilon}}{\epsilon} \left[ \frac{1}{(1 + \epsilon \cos(\theta))^2} - \frac{1}{(1 + \epsilon)^2} \right] + (w_b - 2\dot{\phi}) \left[ \frac{\epsilon \sin(\theta)(2 + \epsilon \cos(\theta))}{(2 + \epsilon^2)(1 + \epsilon \cos(\theta))^2} \right] \right\} \quad (2)$$

$$p(\theta) = \frac{6c\eta}{h^3} \left(\frac{b^2}{4} - y^2\right) \left[ \frac{\partial \epsilon}{\partial t} \cos(\theta) + \epsilon \sin(\theta) \left( w - \frac{w_b}{2} \right) \right] \quad (3)$$

Donde,  $r_b$  es al radio del muñón,  $\epsilon$  la excentricidad relativa,  $\dot{\phi}$  la velocidad angular de precesión del muñón,  $\theta$  el ángulo perimetral. Debido a que el fluido es incapaz de resistir presiones menores que su presión de vapor se aplica la condición de Gumbel, la cual consiste en asignar un valor nulo de presión a la región de fluido con presiones negativas.

### Resultados numéricos

Para la resolución del transitorio de funcionamiento de cojinete propuesto se construyó un modelo con interacción fluido-estructura, donde el dominio fluido y la integración de la posición del muñón se resuelven mediante OpenFOAM. Esta herramienta permite simular una amplia gama de problemas, resolviendo en forma directa las ecuaciones de Navier-Stokes para mallas dinámicas (Ec. 4) y de esta manera prescindir de todas las hipótesis simplificadoras adoptadas en el modelo de Reynolds para el caso de sólidos no deformables.

$$\frac{\partial}{\partial t} \rho \vec{v} + \vec{\nabla} [\rho (\vec{v} - \vec{b}) \otimes \vec{v}] = -\vec{\nabla} p + \vec{\nabla} \cdot [\eta (\vec{\nabla} \vec{v} + \vec{\nabla} (\vec{v})^T)] + \rho \vec{g} \quad (4)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{v} = 0 \quad (5)$$

Para poner a prueba la herramienta se propuso la resolución de los casos indicados en la Tabla 1.

Tabla 1: Parámetros geométricos de los cojinetes ensayados

	Sommerfeld	Ocvirk	Real
Radio carcasa ( $R_b$ ) [mm]	10,01	10,01	25,527
Radio muñón ( $R_a$ ) [mm]	10	10	25,4
Largo del cojinete ( $b$ ) [mm]	$\infty$	0,5	25,4
Densidad ( $\rho$ ) [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	819,3	819,3	819,3
Viscosidad ( $\eta$ ) [Pa s]	0,04323	0,04323	0,06890
Velocidad de giro ( $\omega$ ) [rad/s]	1000	1000	418,879
Masa del muñón ( $m$ ) [Kg]	10	0,38	0,47
Sobrecarga ( $F$ ) [N]	10000	0	40,67

La resolución se inicia con la generación de la malla del fluido dentro del cojinete sobre la cual se resuelve, a través de un modelo de Volúmenes Finitos, el campo de presiones y velocidades. A continuación, OpenFOAM procesa las presiones en la superficie del muñón para la determinación de las fuerzas del fluido mediante el solucionador `pimpleFoam`, que finalmente son utilizadas en la integración de la nueva posición y velocidad. No obstante, como el cálculo de presiones toma de referencia a la presión en el exterior del cojinete, para cumplir con la teoría de cojinetes infinitamente largos es necesario que la ubicación del punto de referencia de presiones se actualice en cada paso de tiempo y sea diametralmente opuesto al punto de menor huelgo, es decir, donde la presión es nula. Esto se logró modificando el código del solucionador generando la herramienta `myPimpleFoam`. Dicha problemática desaparece con la teoría de Ocvirk, dado que la referencia de presiones se encuentra en las caras frontal y trasera del conjunto, por lo que `pimpleFoam` no se modifica.

Como se mencionó anteriormente, el fluido es incapaz de resistir presiones por debajo de su presión de vapor. Para el estudio de ambas teorías simplificadoras, se trabajó sobre la librería encargada de calcular las fuerzas del fluido, para que sea capaz trabajar bajo la hipótesis *half-Sommerfeld/Gumbel* que asigna presiones nulas a las zonas cavitadas.

Debido al movimiento del muñón, la malla se deforma, por ende, se utilizó la librería `sixDoFRigidBodyMotion` de OpenFOAM, que es capaz de resolver el movimiento de traslación y rotación de un cuerpo sólido en tres dimensiones, teniendo en cuenta las fuerzas que actúan sobre él. En los casos presentados aquí, dicho solucionador sufrió una serie de alteraciones obteniéndose la librería `sixDoFRigidBodyMotionJournal`. Se logró que las celdas de la malla se deformen por igual en la dirección radial, y que el desplazamiento (debido a la traslación del muñón) sea lineal.

A su vez, OpenFOAM no cuenta con una librería para corregir el flujo debido al movimiento del muñón (`movingWallVelocity`) al mismo tiempo que lo corrige debido a la rotación de este (`rotatingWallVelocity`). Para que las condiciones de borde se correspondan con la física de un cojinete hidrodinámico, se creó una librería (`myFiniteVolume`) que realice ambas correcciones. Dicha condición de borde se declara bajo el nombre `rotatingMovingWallVelocity`. Para simular que el cojinete se encuentra bajo condiciones de carga, se incorporó a la librería `sixDoFRigidBodyMotionJournal` la opción `constantForce` que permite introducir una carga constante con la posibilidad de fijar su magnitud y dirección en los tres ejes del espacio.

El estudio del comportamiento del cojinete durante el transitorio es el que se produce entre el inicio de la rotación del muñón y su posición final o de equilibrio. Desde el punto de vista físico, dicha posición se encuentra definida por el balance entre la carga aplicada sobre el rotor y las fuerzas debidas a la presión en la película fluida. Esta última dependerá de diversos factores, como la geometría del cojinete, la velocidad de rotación y la viscosidad del fluido. El conjunto de posiciones de equilibrio asociadas a distintos valores de sobrecarga en el muñón se denomina *Journal Locus* (Szeri, 2011).

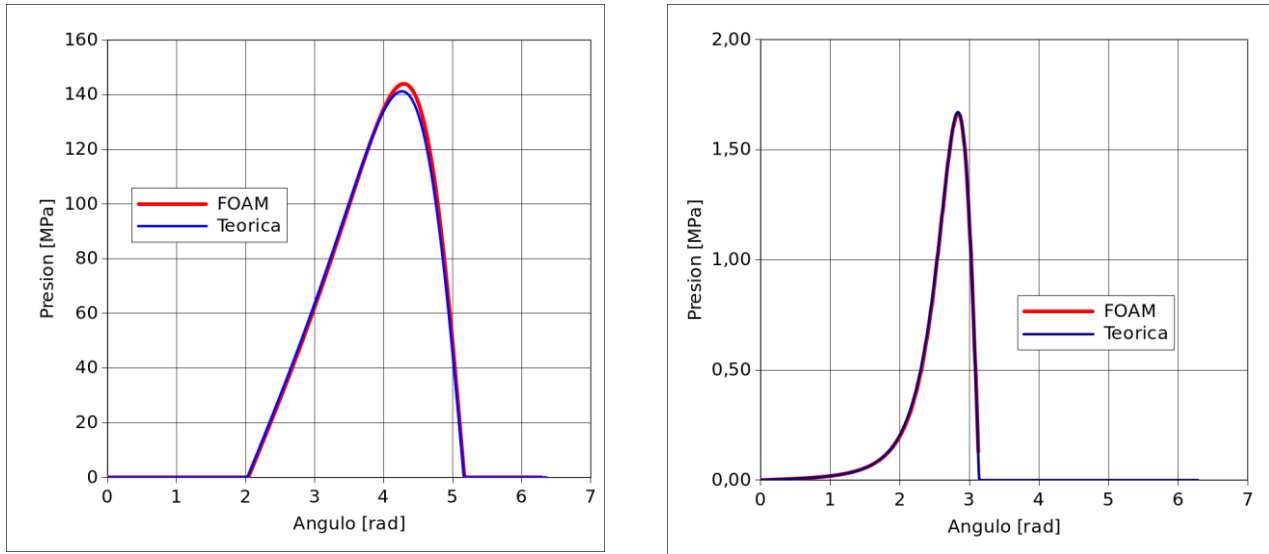


Figura 2. Distribución de presiones. Izquierda: Caso Sommerfeld, Derecha: Caso Ocvirk

En primera instancia, se verificó la distribución de presiones según OpenFOAM con las teóricas para ambos casos estáticos, las cuales observamos en la Figura 2, con un excelente acuerdo (error en el pico de presión de 1,948% para el caso Sommerfeld y 0,375% para Ocvirk). Luego se aplicó la herramienta de interacción fluido estructura desarrollada para simular la evolución del muñón desde el centro de la carcasa hasta su posición de equilibrio de cargas para los casos Sommerfeld y Ocvirk dinámicos tal como se observa en la Figura 3, mostrando en ambos casos muy buen acuerdo (para el caso Sommerfeld 3,17% en la dirección radial y 0,774% en dirección angular, y un error del 0,490% en dirección radial y 0,240% en dirección angular para el caso Ocvirk).

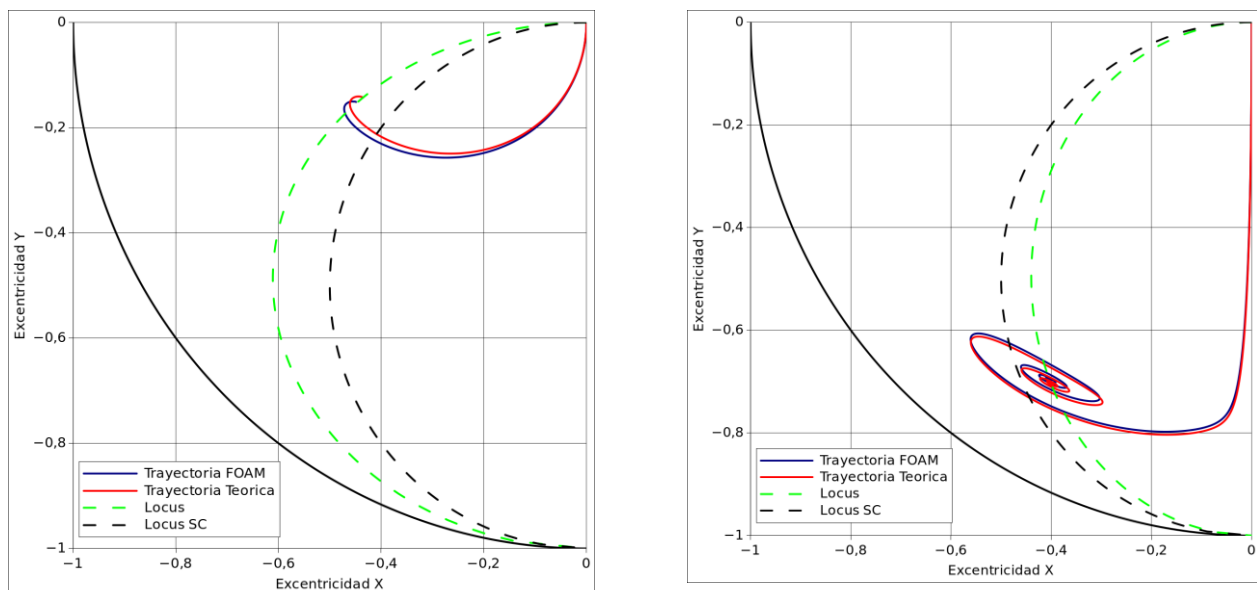


Figura 3: Transitorios a posición de equilibrio. Izquierda: Caso Sommerfeld, Derecha: Caso Ocvirk

Finalmente, para contrastar con un cojinete real se utilizaron datos provistos por Kirk y Gunter (Kirk y Gunter, 1970), tal como se presenta en la Figura 4. Vale aclarar que los resultados provistos por los autores fueron obtenidos aplicando la teoría de Ocvirk a un cojinete de longitud finita el cual no es exactamente representado por esta teoría. En este aspecto los resultados obtenidos se consideran más precisos que los originales, esto se verifica al observar que la posición de equilibrio calculada se acerca al *journal locus* semicircular característico de los cojinetes reales.

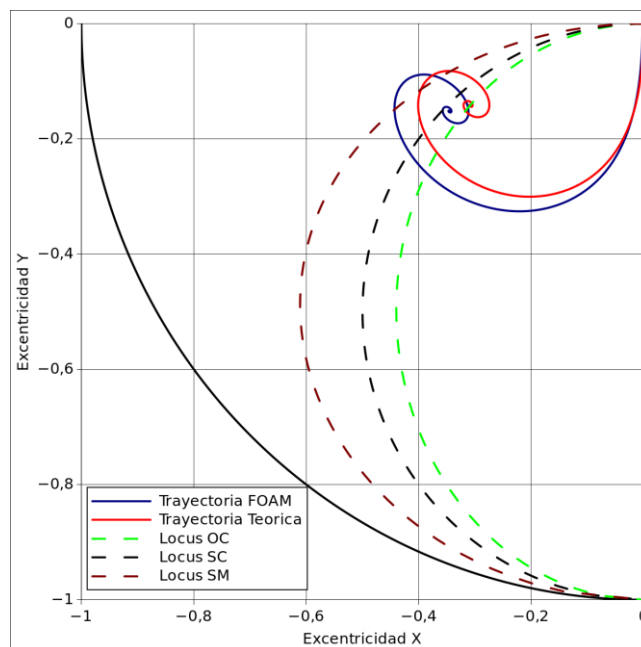


Figura 4: Transitorios a posición de equilibrio de un caso real

## Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos se concluye que el modelo numérico desarrollado en OpenFOAM funcionó en forma satisfactoria tanto en el caso de problemas estáticos como para la simulación de transitorios en cojinetes. El desarrollo de la herramienta implicó la implementación de modificaciones en las librerías originales de la suite de cálculo, así como la revisión exhaustiva de la teoría clásica de cojinetes hidrodinámicos. La herramienta obtenida será la base para la simulación incluyendo modelos de cavitación y texturas en la carcasa.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado bajo la dirección del Dr. Santiago Márquez Damián y el Dr. Federico Cavalieri, en el marco del proyecto ASUTIFE0007704TC “Estudio computacional de la cavitación en cojinetes hidrodinámicos”. Fecha de inicio 01/01/2020, fecha de finalización 31/12/2021. El trabajo cuenta con los aportes de Ángelo Rattero y Rocío I. Ribeiro becarios SCyT en el proyecto durante el año 2020, y de Jorge Palavecino becario doctoral en el Centro de Investigación de Métodos Computacionales (CIMEC), CONICET/UNL.

## Referencias

- Szeri, A.Z. (2011). *Fluid film lubrication*. Cambridge University Press. New York, USA.
- Hamrock, B.J. (1991). *Fundamentals of Fluid Film Lubrication*. NASA Reference Publication.
- Kirk, R.G y Gunter, E. J. Jr (1970). *Transient Journal Bearing Analysis*. NASA Contractor Report 1549.
- Merelli, C.E (2020). “Cojinetes hidrodinámicos en condiciones reales de uso. Estudio teórico y validación experimental”. Tesis de doctorado en Ingeniería. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, Argentina.
- Vignolo, G.G. (2016). “Estudio teórico-experimental de cojinetes hidrodinámicos en condiciones reales de uso”. Tesis de doctorado en Ingeniería. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, Argentina.

## **Preferencias de los consumidores rosarinos por mieles mono y multiflorales Consumer preferences for mono and multifloral honeys in Rosario**

**Lucía ARIAS, Pilar DIAZ**

CIDTA (Zeballos 1341), Facultad Regional Rosario, UTN

luciaarias96@gmail.com, pili\_diaz28@hotmail.com

### **RESUMEN**

Establecer las características sensoriales que direccionan la preferencia de los consumidores por cada alimento, resulta de gran interés para el área productiva. Distintos métodos, como el Mapeo de Preferencias Externo, se utilizan para establecer relaciones entre las características sensoriales y las preferencias de los consumidores. En este trabajo se estudió la percepción de los consumidores basada en atributos sensoriales como el sabor, color, textura y olor de ocho mieles, para determinar las causas de su aceptación o rechazo. Las mieles fueron caracterizadas sensorialmente por un panel de evaluadores de ocho miembros, mientras que 185 consumidores expresaron su preferencia por las mismas. Luego de realizar un Análisis de Componentes Principales con los resultados sensoriales generados por los evaluadores entrenados, se llevó a cabo un Mapa de Preferencias. Se encontró que el color y el estado físico de las mieles fueron las características más notables para establecer la preferencia. El olor/aroma característico complementó la preferencia, una miel fue rechazada por su olor/aroma animal.

**PALABRAS CLAVES:** Miel, Mapa de preferencias externo, Consumidores, descripción sensorial.

### **ABSTRACT**

Establishing the sensory characteristics that guide consumer preference for each food is of great interest for the production area. Different methods, such as External Preference Mapping, are used to establish relationships between sensory characteristics and consumer preferences. In this work, the perception of consumers based on sensory attributes such as the taste, color, texture and smell of eight honeys was studied to determine the causes of acceptance or rejection. Through a panel of eight members the honeys were sensory characterized, while 185 consumers expressed their preference for them. After performing a Principal Component Analysis with the sensory results of the trained assessors, a Preference Map was constructed. The results show that color and physical condition are the most notable characteristics in establishing preference. Preferences have been complemented by the flavor characteristics. A honey was rejected by animal odor.

**KEY WORDS:** Honeys, External preference map, Consumers, sensory description.



## 1. INTRODUCCIÓN

Las pruebas de análisis sensorial permiten traducir las preferencias de los consumidores en atributos bien definidos para un producto. La información sobre los gustos y aversiones, preferencias y requisitos de aceptabilidad, se obtiene empleando métodos de análisis denominados pruebas orientadas al consumidor. Las consultas a consumidores se manejan con un enfoque diferente al perfil sensorial descriptivo, pretendiendo estimar la respuesta de la población potencial de consumidores del producto respecto al gusto. El consumidor evalúa simplemente el grado de aceptabilidad del producto y su preferencia (Ramires-Navas, 2012: 83-102).

La respuesta hedónica de los consumidores se obtiene por lo general aplicando técnicas cuantitativas, cuyo objetivo principal es evaluar su reacción afectiva, solicitando que indiquen cuánto les gusta el producto en una escala hedónica de aceptabilidad (Popper et al., 2004: 853-858). Aunque los consumidores son capaces de definir claramente qué productos les gustan y cuáles no, no siempre son capaces de describir específicamente qué es lo que les gusta y lo que no les gusta de un producto (Van Kleef et al., 2006: 387-399). Por esta razón, en paralelo con la evaluación de la aceptabilidad, en general se llevan a cabo metodologías que permiten evaluar las características sensoriales de los productos (Worch, 2012).

Las técnicas de Mapeos de Preferencia permiten relacionar información acerca de las características del producto con la preferencia de los consumidores, con el objetivo de identificar los atributos que direccionan esa preferencia (Dooley et al., 2010:394-401; Van Kleef et al., 2006: 387-399). Existen dos enfoques básicos para el análisis de la preferencia de los consumidores, usualmente conocidos como Mapeos de Preferencia Interno y Externo, que difieren en la perspectiva de los datos y la información que se obtiene de ellos (Van Kleef et al., 2006: 387-399).

El primero se basa en la preferencia de los consumidores, que constituyen las variables, utilizando como individuos a los productos estudiados (Van Kleef et al., 2006). Por otro lado, el Mapeo de Preferencia Externo se basa en las características sensoriales de las muestras para construir el mapa sensorial y utiliza la información acerca de la preferencia de los consumidores como variable suplementaria. Permite unir las preferencias expresadas por los consumidores a las características sensoriales de los productos, mediante una regresión de preferencias individuales del consumidor en los dos primeros componentes principales de la matriz de covarianza de las calificaciones de análisis descriptivos (Guinard, 2008: 504-516).

El presente trabajo tuvo como objetivo correlacionar los datos descriptivos de ocho mieles de origen nacional, con datos hedónicos de grado de satisfacción mediante un mapa externo de preferencias, para determinar las causas de aceptación o rechazo por parte de los consumidores.

## 2. METODOLOGÍA

Se analizaron ocho mieles provenientes de Santa Fe, Chaco, Córdoba, Neuquén, Tucumán, Santiago del Estero e Islas de Delta Inferior del río Paraná. Se verificó su aptitud para el consumo, analizando acidez y contenido de hidroximetilfurfural. Todas las muestras resultaron aptas.

### 2.1 *Análisis Sensorial Descriptivo:*

Las 8 mieles presentadas a los consumidores habían sido previamente descriptas según IRAM 15980 (2014), por un panel entrenado de evaluadores sensoriales formado por ocho miembros. Éstos fueron seleccionados efectuando los siguientes ensayos: reconocimiento de gustos elementales (IRAM 20004, 1996), reconocimiento de olores (IRAM 20006, 2004), reconocimiento y descripción de texturas (IRAM 20005, 1996) y percepción del color (IRAM 20005, 1996). La formación de los evaluadores incluyó quince sesiones durante las cuales se les entrenó para realizar la prueba descriptiva (IRAM 20005, 1996).

Las pruebas se realizaron en un laboratorio sensorial con cabinas individuales, utilizando luz natural (IRAM 20003, 2012). Se sirvieron treinta gramos de cada muestra de miel a temperatura ambiente ( $23 \pm 2$  °C) en una copa de vidrio incolora de 160 ml de capacidad, etiquetada con un número de tres dígitos.

### 2.2. *Estudio con consumidores*

La herramienta utilizada para evaluar la aceptabilidad de la miel entre los consumidores rosarinos, fue una escala hedónica estructurada verbal de 5 puntos, siendo 1 “me disgusta mucho” y 5 “me agrada mucho”, con un punto neutro correspondiente a “ni me gusta ni me disgusta”.

Participaron 185 consumidores con edades comprendidas entre 21 y 60 años. Los participantes fueron seleccionados al azar por conveniencia y el cuestionario tuvo lugar en febrero de 2020.

### 2.3. *Tratamiento estadístico de los resultados.*

Se utilizó el método multivariado de Análisis de Componentes Principales (ACP), técnica utilizada para reducir la dimensionalidad de un conjunto de datos. El estudio de las relaciones entre variables, consiste en resumir el conjunto de éstas en un número pequeño, llamadas componentes principales. Cada componente principal, se puede considerar como representante de un grupo de variables, que aparecen relacionadas entre sí. Para llevar a cabo el ACP se utilizó el paquete FactoMineR del software R Studio, versión 4.0.3 (R Core Team, 2013).

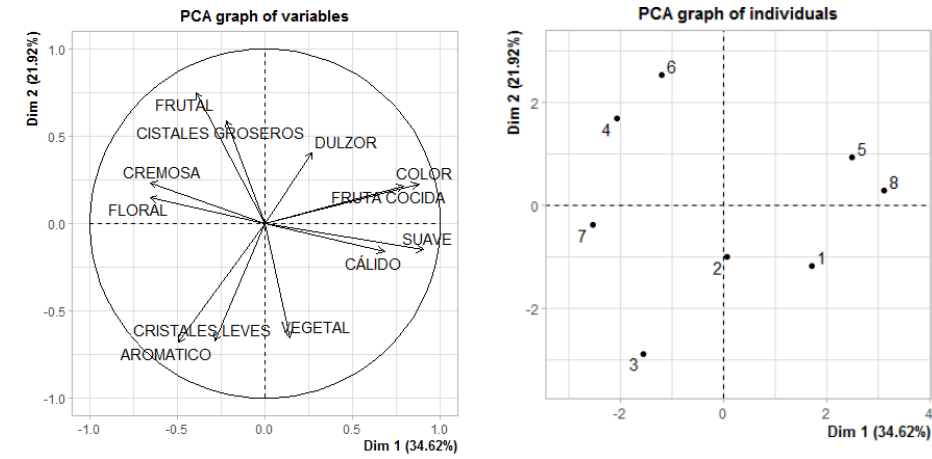
## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados sensoriales descriptivos generados por el panel de evaluadores se indican en la Tabla 1. A partir de estos resultados, se obtuvo la Figura 1 que muestra el biplot con las primeras dos componentes principales que representan el 57% de las variables originales,

descartando el resto, ya que no aportan mayor información. Cada variable (descriptor sensorial) está representada por un vector y cada individuo (muestra de miel), por un punto. Mientras mayor es el módulo de un vector y más cercano se encuentra a un eje, mayor influencia tiene esa variable en esa componente principal, como es el caso del color y de la textura suave en la Dimensión 1 (Dim 1). La Dimensión 2 (Dim 2) se relaciona con el tamaño de los cristales y con los descriptores de olor y aroma. Se puede apreciar que las mieles 5 y 8 son muy parecidas entre sí, oscuras y con olor a fruta cocida. Por otra parte, las mieles 6 y 4 están fuertemente relacionadas con el olor frutal, la presencia de algunos cristales en la 6 y la cremosidad en la 4. Las mieles 1 y 2 poseen colores ámbar, no son claras ni oscuras y son suaves. Finalmente, las mieles 7 y 3 son muy claras, presentando la 3 leves cristales y la 7, textura cremosa.

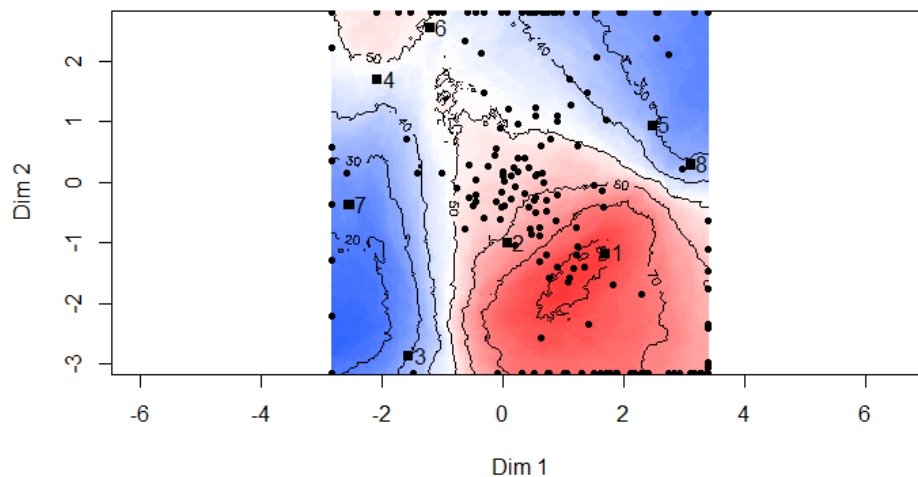
<b>MIEL 1</b>	Miel líquida. Color ámbar. Olor moderado a vegetal seco (madera) y cálido (caramelo). Dulzor moderado y persistente. De textura muy suave.
<b>MIEL 2</b>	Miel líquida. Color ámbar claro. Olor y sabor vegetal y floral sutil. Dulzor moderado. De textura suave y de fácil disolución en la boca.
<b>MIEL 3</b>	Miel cristalizada. Muy clara. Olores y sabores aromáticos especiados y vegetales secos. Dulzor moderado. No es ácida ni astringente. Los cristales se perciben ligeramente en la boca.
<b>MIEL 4</b>	Miel cremosa y muy clara. Olor floral sutil y sabor floral- frutal. Dulzor intenso y persistencia media. No es ácida ni astringente, de textura suave y cristales imperceptibles en la boca.
<b>MIEL 5</b>	Miel líquida ámbar oscuro. Olor a fruta cocida, intenso y persistente. Dulzor intenso y sabor frutal a ciruelas pasa y cálido a melaza. Levemente ácida.
<b>MIEL 6</b>	Miel parcialmente cristalizada color ámbar claro. Olor y sabor frutal cítrico, con sensación refrescante. Dulzor moderado, no es ácida. Presenta una textura áspera.
<b>MIEL 7</b>	Miel cremosa y muy clara. Dulzor débil. Olor moderado con notas florales y animal proteico. Sabor vegetal- aromático. Textura untuosa.
<b>MIEL 8</b>	Miel líquida muy oscura. Olor a fruta cocida, a quemado, a húmedo. Dulzor moderado, sabor frutal vinoso y débil nota química a quemado. Textura muy suave.

**Tabla 1. Características sensoriales de las ocho muestras de miel obtenidas mediante el análisis sensorial descriptivo**



**Figura 1. Análisis de Componentes Principales para los descriptores sensoriales de las mieles descritas por el panel de evaluadores sensoriales**

Luego, se relacionaron los datos sensoriales con las preferencias de los consumidores elaborando un mapa de preferencias (Figura 2). Se puede observar que la miel con mayor aceptabilidad entre los encuestados fue la número 1, seguida por la 2, lo cual indica una preferencia hacia las mieles color ámbar, no tan claras ni tan oscuras, muy fluidas y suaves. Siguen en los porcentajes de preferencia las mieles 6 y 4, lo que indica una marcada tendencia de los consumidores encuestados hacia las mieles que no son oscuras. En un nivel prácticamente idéntico, se encuentran las mieles 3, 5 y 8 lo cual podría atribuirse al color oscuro (mieles 5 y 8) o muy claro (miel 3) y a la cristalización. La miel 7 fue la menos aceptada; como físicamente es muy parecida a la miel 4, la baja aceptabilidad se atribuyó a la presencia de olor animal.



**Figura 2. Mapa de Preferencias Externo desarrollado con la aceptabilidad expresada por los consumidores**

#### 4. CONCLUSIÓN

A partir del mapa externo de preferencias fue posible determinar la principal causa de aceptación o rechazo de los consumidores, siendo esta el color de la miel. Los encuestados

prefirieron las mieles ámbar claro. Además, se notó una tendencia a preferir las mieles fluidas o cremosas en vez de las cristalizadas y con cristales groseros. El olor/aroma complementó la preferencia por las mieles, al rechazar una miel con olor animal.

Se dará continuidad a este trabajo ampliando el número de consumidores encuestados y abarcando un área geográfica más extensa, para obtener información sobre las preferencias respecto al consumo de miel, tendiente a incrementar el mercado interno en Argentina.

## REFERENCIAS

Dooley, L., Lee, YS., Meullenet, JF. (2010). "The application of check-all-that-apply (CATA) consumer profiling to preference mapping of vanilla ice cream and its comparison to classical external preference mapping". *Food Quality and Preference*, 21, 394-401.

Guinard, JX. (2008). "Data collection and analysis methods for consumer testing". *Food for Health in the Pacific Rim. Food & Nutrition Press*. 504-516.

IRAM 15980 (2014). Miel. Análisis Sensorial. Guía general para establecer el perfil sensorial.

IRAM 20003. (2012). Análisis sensorial. Guía general para la instalación de locales de ensayo. Editado por Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Buenos Aires, Argentina.

IRAM 20004. (1996). Método de investigación de la sensibilidad del gusto. Editado por Instituto Argentino de Normalización y Certificación. Buenos Aires, Argentina.

IRAM 20005-1. (1996). Análisis Sensorial. Guía general para la selección, entrenamiento y monitores de evaluadores. Evaluadores. Editado por Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Buenos Aires, Argentina.

IRAM 20006. (2004). Iniciación y entrenamiento de los evaluadores en la detección y reconocimiento de olores. Editado por Instituto Argentino de Normalización y Certificación, Buenos Aires, Argentina.

Popper, R. et al. (2004). "The effect of attribute questions on overall liking ratings". *Food Quality and Preference*, 15(7), 853-858.

R Core Team V.4.0.3 (2013). R: A language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing, Vienna, Austria.

Ramírez-Navas, J.S. (2012). "Análisis sensorial: Pruebas orientadas al consumidor". *Revista ReCiTeIA*, 12(1), 83-102.

Van Kleef, E., Van Trijp, H.C.M., Luning, P. (2006). "Internal versus external preference analysis: An exploratory study on end-user evaluation". *Food Quality and Preference*, 17, 387-399.

Worch, T. (2012). "The Ideal Profile Analysis: From the validation to the statistical analysis of Ideal Profile data". (Ph. D. Thesis). Agrocampus-Ouest, Rennes, France.

**Este trabajo ha sido realizado bajo la dirección de la Ing. Lucrecia Pozzo y la Dra. María Cristina Ciappini, en el marco del proyecto UTI 4751TC.**

## **Análisis de la Movilidad Sostenible en Europa y Latinoamérica** **Analysis of Sustainable Mobility in Europe and Latin America**



**Rodrigo Arriondo**

(Grupo CETRAM – UTN FRSF) - rodrigoarriondo@gmail.com

**Sebastián Pisati**

(Grupo CETRAM – UTN FRSF) - sebastianpisati@gmail.com

**Fernando Seco Ermácora**

(Grupo CETRAM – UTN FRSF) - fseco.ermacora@gmail.com

### **RESUMEN**

La ineficiencia de los sistemas de transporte es un problema que ha aquejado a ciudades de todo el mundo en las últimas décadas. Frecuentemente, con medidas centradas en satisfacer necesidades de la población, relegando la sostenibilidad o el impacto por un uso ineficiente de la energía. Así surge el concepto de movilidad sostenible, estableciendo un equilibrio social, económico y ambiental, entre los diferentes medios de transporte.

El presente trabajo se enmarca dentro del PID: “Diseño de estrategias para la promoción de la Movilidad Sostenible en aglomerados urbanos - Caso de estudio Gran Santa Fe” dentro del Grupo Científico de Estudios de Transporte Accidentología y Movilidad (CETRAM), perteneciente a la U.T.N. - Facultad Regional Santa Fe. De esta manera, se analizaron normativas y medidas, generadas e impulsadas desde los Estados y organizaciones no gubernamentales, comparando las situaciones actuales de Europa y Latinoamérica, pudiendo establecer diferencias y similitudes entre ambas regiones.

**Palabras claves:** Movilidad - sostenible - transporte - energía - ambiente

### **ABSTRACT**

The inefficiency of transportation systems is a problem that has plagued cities around the world in recent decades. Frequently, with arrangements focused on meeting the needs of the population, relegating sustainability or the impact of inefficient use of energy. This is how the concept of sustainable mobility arises, establishing a social, economic and environmental balance between the different means of transport.

This work is inside the Research and Development Project: "Design of strategies for the promotion of Sustainable Mobility in urban agglomerates - Gran Santa Fe case study" within the Scientific Group of Studies of Transport Accidentology and Mobility (CETRAM), belonging to the U.T.N. – Facultad Regional Santa Fe. In this sense, regulations, reports and measures, generated and promoted by different State and non-governmental bodies, were analyzed. The current situations of both Europe and Latin America were studied, being able to differentiate differences and similarities between both regions.

**Key words:** Mobility - sustainable - transport - energy - environment

## 1. INTRODUCCIÓN

De un tiempo a esta parte, la Movilidad Sostenible ha sido tema de discusión que ha ocupado a muchas ciudades en el mundo, creando espacios de debate, ciertas políticas públicas orientadas, y también grupos y organizaciones independientes que buscan generar conciencia sobre la temática.

La contaminación ambiental y el avance del uso del vehículo automotor particular son algunos de los tantos factores que han motivado la necesidad de distribuir el espacio público de una manera más equitativa para todos los ciudadanos de una determinada región.

Con el objetivo de permitir que convivan, en un mismo espacio, tanto personas como todos los medios de transporte, han surgido medidas a corto, mediano y largo plazo que buscan entre otras medidas: Fomentar de la movilidad ciclista, incorporar vehículos eléctricos, proponer áreas específicas de baja velocidad de circulación, la recuperación del espacio público por parte de las personas (peatonalización), restringir la circulación en función de las emisiones y de vehículos de carga en zonas céntricas, entre muchas otras.

### 1.1 Concepto de Movilidad Sostenible

Según destaca Guerra (2020), el Banco Mundial establece que: “la visión de movilidad sostenible gira en torno a cuatro metas mundiales: 1) acceso equitativo; 2) seguridad y protección; 3) eficiencia, y 4) contaminación y capacidad de respuesta a problemas climáticos” (Mohieldin & Vandycke, 2017).

Otras definiciones, afirman que la movilidad sostenible es el conjunto de desplazamientos que se producen en un contexto físico. Mientras que los sistemas de transporte son los medios que la hacen posible. Dichos desplazamientos tienen como objetivo, permitir la accesibilidad. Que no sólo implica el transporte, sino que es el resultado de la relación entre muchas variables, donde el ordenamiento territorial y la organización socioeconómica son fundamentales. (González, 2007).

En la actualidad, las grandes ciudades del mundo presentan problemas de movilidad que se deben a dos procesos muy concretos: En primer lugar, la utilización del espacio urbano para generar nuevas vías de transporte. Esto disminuye el espacio físico para construir y desarrollar la ciudad en sí, lo que conlleva a la expansión hacia las afueras y que las distancias resulten cada vez más largas, generando la necesidad de utilizar vehículos motorizados.

Y, en segundo lugar, la utilización de los suelos para un único tipo de actividad o servicio. Lo que genera que la cantidad de desplazamientos aumente debido a la distancia entre las actividades que se realizan.

## 2. DESARROLLO

### 2.1 Aplicación en Europa

La mortalidad infantil en siniestros viales y la crisis de petróleo derivaron en ciertas medidas cuyos objetivos fueron favorecer y fortalecer la movilidad sostenible en Europa (Gijzen et al., 2014). En este sentido y según lo describe la Carta Europea de los derechos de los Peatones (1988), se comienza a reconocer el derecho a vivir un ambiente sano, a disfrutar el espacio público y a vivir en centros urbanos planificados a medida de las personas y no del automóvil. En relación a esto, se generaron nuevos lineamientos, impulsados mayoritariamente por el

Parlamento Europeo. Estos, tenían como último fin la reducción en los niveles de gases de efecto invernadero (GEI), el fomento de transportes alternativos y la reducción del uso del vehículo particular a combustión fósil. Los documentos que establecían y reglamentaban estas proyecciones son: *El Libro Verde sobre medio ambiente urbano* (1990), Ratificación del *Protocolo de Kioto* (1997) y Guía de las Políticas Cicloviales Urbanas “*En bici: hacia ciudades sin malos humos*” (1999).

Por otro lado, en 2001 se publicó el primer *Libro Blanco del Transporte*, donde se definió la política de transportes con el horizonte en 2010, en línea con lo antes mencionado y agregando la adaptación del transporte público a las personas con discapacidad y el Libro Verde “*hacia una nueva cultura de la movilidad urbana*”, mayormente orientado a la reducción de emisiones contaminantes referidas a la movilidad en centros urbanos y rurales. La nueva versión del Libro Blanco: hoja de ruta hacia un espacio único europeo de transporte (2011) agrega, entre otros puntos esenciales, la necesidad de la elaboración de Planes de Movilidad Urbana, complementándose en 2013 con el Paquete de Movilidad Urbana, cuyo objetivo es diseñar instrumentos para apoyar a Entidades Locales en la elaboración de Planes de Movilidad Urbana Sostenible (PMUS), intercambiando información y experiencias a través de una plataforma digital.

Los PMUS establecen las políticas de movilidad para las personas, en lugar de centrarse en el tráfico o la infraestructura urbana. En ellos, se destacan: la importancia de considerar los costos externos de todos los modos de transporte, el enfoque participativo, la visión a largo plazo, la integración y el seguimiento regular, evaluando su desempeño actual y futuro. Por otro lado, se proponen medidas a implementar, entre las cuales se destacan: el fomento del uso de la bicicleta, el transporte público, la micromovilidad y los vehículos eficientes, limpios y/o de uso compartido; la integración de los modos de transporte, la regulación de accesos, la creación de zonas de tráfico limitado, zonas verdes de bajas o cero emisiones.

Las propuestas más recientes en la materia incluyen al Pacto Verde Europeo en 2019, apoyado por la Ley Europea del Clima cuyo fin es reducir un 90% las emisiones de GEI para 2050, que busca un aumento del uso de vehículos de cero emisiones, la disposición de soluciones alternativas sostenibles, la transición hacia la digitalización y automatización, mejora de la accesibilidad y la conectividad. También cabe mencionar la última publicación de United Nations Economic Commission for Europe - UNECE (2021) sobre movilidad y planeamiento territorial, un manual para el desarrollo de mecanismos de implementación para apoyar el trabajo que se viene implementando por los países miembros. En la misma línea, PEP (Transport, Health and Environment Pan-european Programme), destacó en sus publicaciones la importancia de apoyar el transporte saludable en el contexto del COVID-19 (2020), así como también lo fundamental que puede ser la creación de un planeamiento a escala continental para el fomento de la movilidad ciclista, anexando además una caja de herramientas (“toolbox”) de acciones para la promoción de este modo, según las mejores experiencias disponibles (UNECE, 2021).

A pesar de todos los avances en materia normativa, los resultados suelen variar según las regiones, y verse afectados por la situación particular de cada país o ciudad. Un claro ejemplo de estas diferencias puede verse en el marco normativo de cada país con respecto a las zonas de bajas emisiones. Existiendo en la Unión Europea más de 200 LEZ (Low Emission Zones), algunos países como Alemania e Italia concentraban en 2014 más de la mitad de estos planes,



mientras que, en otros países miembros, las medidas implementadas quizás se orientaban hacia otras acciones (Holman, C. et al., 2015).

En cuanto a la implementación de PMUS, se encontraron avances significativos en cuanto al potencial de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> a través de estos Planes. Un estudio del Joint Research Centre (Lopez-Ruiz et al., 2013) estimó que, si las medidas fueran implementadas en toda Europa, se alcanzaría una reducción de emisiones de alrededor de 8%, en comparación con 2010. Un valioso material en cuanto a la implementación de los PMUS es procesado y analizado por CIVITAS (SUMPs-UP y PROSPERITY), que señala un aumento del 25% en la cantidad de PMUS implementados entre 2013 y 2017 (Durlin et al., 2018).

Por otro lado, desde hace algunos años las ciudades europeas han tendido a regular un nuevo modo de transporte: la micromovilidad. Tal es el caso en París, donde desde 2019 existe una reglamentación para los patinetes eléctricos de alquiler, proponiendo aspectos mínimos sobre seguridad y también sobre el ordenamiento de estos vehículos en el espacio público.

La determinación de la eficacia para la reducción de las emisiones de GEI de una medida en particular se vuelve realmente dificultosa, por comprender que, al intentar aislar los resultados de cada acción, se incurre en una simplificación de un fenómeno integral como es la movilidad urbana. Sin embargo, las medidas implementadas y descritas anteriormente han comprobado su buen desempeño, en mayor o menor medida, dependiendo en parte de la integralidad del enfoque al implementarlas y de las necesidades reales de las personas que realizan sus viajes diarios en una ciudad determinada. Los antecedentes normativos generados y el análisis complementario de los mismos brindan un buen sustento teórico-práctico sobre el cual poder evaluar y repensar la temática, ya que las cifras y los indicadores obtenidos pueden ser útiles a la hora de comparar los marcos legales y las acciones específicas con las experiencias en otros países o regiones.

## **2.2 Aplicación en Latinoamérica**

En un enfoque amplio sobre Latinoamérica, se presenta una ausencia de normativas específicas de la temática. Esto trae a cuevas el hecho de tratarse de ciudades que no muestran el mismo grado de avance en materia de sustentabilidad.

De todas maneras, a pesar de la ausencia de leyes o normativas expresas, sí se encuentran programas o proyectos con lineamientos similares, varios de ellos impulsados con el fin de lograr los objetivos de desarrollo sostenible en la Agenda 2030 de la ONU.

Países como Chile, Colombia, México y Costa Rica apuestan por la movilidad eléctrica como eje fundamental en lo que respecta a movilidad sostenible. Este último, según el Registro Nacional de la Propiedad (2021) desde el año 2010 a la actualidad incrementó el ingreso de vehículos eléctricos, tanto automóviles, motocicletas y vehículos especiales, 233 unidades en 2010 a 3964 en el transcurso de este año hasta el mes de Julio, posicionándolo entre los primeros países latinoamericanos en vehículos per cápita.

En cambio, la ciudad de Lima (Perú) tiene su eje principal es el reordenamiento urbano, incrementando la red ciclista y peatonal, disminuyendo el área destinada a estacionamientos en la vía pública y el acceso del transporte de cargas a las zonas centrales.

Por otra parte, también se puede observar que los cambios vienen dados tanto de organismos públicos, como entes privados o acuerdos entre ambos. Tales son los casos de ciudades como Lima o Santiago de Chile. En la primera, empresas privadas se comprometen a fomentar

internamente el uso de bicicletas para sus empleados, implementando estacionamientos y vestuarios con duchas. Por su parte, en la capital chilena, existe un acuerdo llamado “compromiso público privado por la electromovilidad”, el cual busca renovar la flota del Transporte Público de Pasajeros (TPP) y reemplazar los vehículos particulares por vehículos de propulsión eléctrica, como también fomentar la investigación y el desarrollo de capital humano.

### 3. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En base a lo analizado, queda claro que existe una marcada diferencia temporal en cuanto a políticas de Movilidad Sostenible en Europa con respecto a Latinoamérica. Con respecto a esto, es posible concluir que los ejes de acción son diferentes y que, además, ninguno de los casos estudiados presenta normativas claras y definidas, en contraposición con la realidad europea, sobre las formas de actuar e implementar políticas dirigidas hacia una movilidad sostenible.

Por otro lado, cabe destacar la creciente preocupación sobre la situación actual en lo que refiera a emisiones e impactos ambientales. De acuerdo a algunas medidas aisladas implementadas, no lo reducen significativamente, y ni el ritmo ni el camino son claros.

### 4. REFERENCIAS

- DURLIN et al. (2018). “The status of SUMP in EU Member States”. Local Governments for Sustainability. European Platform on Sustainable Urban Mobility Plans – CIVITAS. Freiburg, Germany.
- GIJZEN et al. (2014). “Child mortality in the Netherlands in the past decades: An overview of external causes and the role of public health policy”. *Journal of public health policy*, vol: 35, págs 43-59. Netherlands.
- GONZÁLEZ, Mariano. (2007). *Ecologistas en Acción: “Ideas y buenas prácticas para la Movilidad Sostenible”*. Subvencionado por Ministerio de Medioambiente. España.
- GUERRA, Xavier. (2020). *Capacitación a socios de cooperativas de taxis del Cantón Riobamba: “Movilidad Sostenible”*. Escuela Superior Politécnica Del Chimborazo - Facultad de Administración de Empresas - Carrera De Gestión Del Transporte. Ecuador.
- HOLMAN, C., HARRISON, R., & QUEROL, X. (2015). “Review of the efficacy of low emission zones to improve urban air quality in European cities”. *Atmospheric Environment*, vol: 111, págs: 161-169. University of Birmingham. Edgbaston, Birmingham B15 2TT 13, United Kingdom.
- LÓPEZ RUIZ et al. (2013). “Quantifying the Effects of Sustainable urban Mobility Plans”. JRC Technical Report. Institute for Prospective Technological Studies. Seville, Spain.
- United Nations Economic Commission for Europe – UNECE (2021). “A Handbook on Sustainable Urban Mobility and Spatial Planning. Promoting Active Mobility”. Geneva, Switzerland.
- Sitio oficial de la ciudad de París (10 de julio de 2007). Paris renforce la régulation des trottinettes électriques en libre-service. <https://www.paris.fr/pages/paris-renforce-la-regulation-des-trottinettes-electriques-en-libre-service-6647>
- Ministerio de Ambiente y Energía, Dirección d Energía, Registro Nacional de la Propiedad (julio de 2021). *Vehículos eléctricos en Costa Rica – Dirección de Energía (minae.go.cr)*

## OPTIMIZACIÓN DE LA RECOLECCIÓN DE LECHE DE DIFERENTES CALIDADES.

### OPTIMIZATION OF THE COLLECTION OF MILK OF DIFFERENT QUALITIES.

---

**Martín LEGUIZAMON**

UTN - Facultad Regional Santa Fe

[martinlegui\\_10@hotmail.com](mailto:martinlegui_10@hotmail.com)

**Nabila ABZUG**

UTN - Facultad Regional Rafaela

[nabila\\_abzug@hotmail.com](mailto:nabila_abzug@hotmail.com)

---

#### Resumen

Identificar la ruta óptima para la recolección de leche en granjas lecheras remotas en áreas rurales es un problema de interés en la industria láctea. En este contexto, minimizar el mezclado de diferentes calidades y el tiempo de recorrido son medidas viables si el objetivo de las industrias es obtener leche de mejor calidad. Para solucionar este problema, en este trabajo se propone un modelo de optimización basado en la problemática de múltiples viajeros, contemplando equilibrar la ruta de transporte teniendo en cuenta su velocidad y el estado de los caminos rurales, buscando como objetivo minimizar la mezcla de leches de diferentes calidades.

**Palabras Claves:** Problema de múltiples viajantes; Industria Láctea; Optimización; calidad.

#### Abstract

Identifying the optimal route for milk collection on remote dairy farms in rural areas is a problem of concern in the milk industry. In this context, minimizing the mixing of different qualities and the routing time are important measures when the objective of the industries is to obtain better quality milk. To solve this problem, in this work, an optimization model based on the multiple travelling problem is proposed, contemplating balancing the transport route taking into account its speed and the state of rural roads, seeking as an objective to minimize the mixture of milk from different qualities.

**Keyword:** Multiple travelling problem; Milk industry; Optimization; Quality

---

#### 1. Introducción

Los tambos están dispersos en áreas rurales, distanciados de las plantas industriales (Paredes-Belmar et al., 2017). Por ello, la recolección de la leche impacta significativamente en el costo de la principal materia prima de las industrias lácteas (Lahrichi et al., 2015). Identificar el recorrido que minimiza el costo de recolección es un problema de ruteo de vehículos, VRP (Vehicle Routing Problem) y una variante del problema del viajante de comercio, TSP (Traveling

Salesman Problem) (Amiama et al., 2012). El problema se complejiza cuando se adiciona la necesidad de gestionar leches de diferentes calidades (Paredes-Belmar et al., 2016).

La resolución de este tipo de problemas ha sido abordada mediante enfoques heurísticos y de optimización clásica (Butler et al., 1997; Ostermeier et al., 2021). En el dominio de la recolección de leche, los métodos de optimización fueron pioneros (Butler et al., 1997).

En este trabajo se presenta un modelo de optimización basado en el problema de múltiples viajantes, mTSP (multiple Traveling Salesman Problem). En el modelado se tiene en cuenta la distancia entre los tambos a visitar, la velocidad de los transportes, el estado de los caminos, la cantidad de leche a recolectar y su calidad.

El trabajo se organiza del siguiente modo: en la Sección 2 se describe el problema, en la Sección 3 el modelo, en la Sección 4 se presenta un caso de estudio, en la Sección 5 los resultados y en la Sección 6 se plasman las conclusiones y el trabajo a futuro.

## 2. Descripción del problema

En la recolección de leche intervienen:  $m$  camiones con  $t$  tanques de diferentes capacidades, que inician su recorrido desde un estacionamiento, desplazándose a una cierta velocidad; los tambos, accedidos a través de caminos rurales de estado variable, que producen leche cuya calidad puede ser A, B o C, siendo A la mejor; y la industria láctea a la cual arriban los camiones. El objetivo es obtener la mayor cantidad de leche de calidad A mezclada lo menos posible con calidades inferiores, en el menor tiempo (menor recorrido) posible.

## 3. Modelo de optimización propuesto

### Función Objetivo

$$\min \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} * y_{kij} * \left(\frac{\varphi_{ij}}{v_k}\right) + \sum_{k=0}^m \sum_{t=0}^T [\omega_{ac} * Pac_{tk} + \omega_{ab} * Pab_{tk} + \omega_{bc} * Pbc_{tk}] \quad (1)$$

La función objetivo minimiza el tiempo de recorrido y la mezcla de leche de diferentes calidades.  $d_{ij}$  es la distancia entre los nodos  $i, j$  de la red de recolección de leche, integrada por el estacionamiento de camiones, los tambos y la industria.  $y_{kij}$  es una variable binaria que toma valor 1 si el camión  $k$  recorre el camino  $i, j$ .  $\varphi_{ij}$  es el factor que califica el camino  $i, j$ .  $v_k$  es la velocidad media del camión  $k$ .  $\omega$  son ponderaciones para penalizar la mezcla de leche.  $Pac_{tk}, Pab_{tk}, Pbc_{tk}$  son variables binarias que toman valor 1 si se mezclan las distintas calidades que completan su denominación en el tanque  $t$  del transporte  $k$ .

### Restricciones de recorrido

$$\sum_{j>1}^n \sum_{k=1}^m y_{kij} = 1; \quad \forall j \neq N \quad (2)$$

$$\sum_{i>1}^n \sum_{k=1}^m y_{kij} = 1; \quad \forall i \neq N \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^n y_{k1j} = 1 \quad \forall k \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n y_{ki1} = 1 \quad \forall k \quad (5)$$

La Ec. 2 indica que solo se llega a cada tambo por un camino. La Ec. 3 limita de igual manera la salida desde cada tambo. Quedan exceptuados los nodos primero (estacionamiento) y último (industria). La Ec. 4 restringe la salida de cada camión desde el primer tambo a un camino y la Ec. 5 tiene el mismo efecto para la llegada al mismo punto.

**Restricción de balanceo de recorrido**

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n y_{kij} \geq V + 2 \quad \forall k \quad (6)$$

La Ec. 6 impone un mínimo de  $V$  tambos a recorrer por cada camión.

**Restricción de recolección**

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n y_{kij} * P_j \leq C_k \quad \forall k \quad (7)$$

La Ec. 7 indica que cada camión carga toda la producción  $P_j$  de cada tambo  $j$  que recorre e impide que se supere la capacidad  $C_k$  del camión  $k$ .

**Restricciones de continuidad**

$$\sum_{j=1}^n y_{kij} - y_{kji} = 0 \quad \forall i, k ; i \neq j \quad (8)$$

$$y_{kii} = 0 \quad \forall i, k \quad (9)$$

La Ec. 8 especifica que el camión que ingresa al tambo  $j$  debe salir del mismo y la Ec. 9 define que un camión no puede llegar al mismo tambo desde el que sale.

**Restricción de eliminación de sub-ciclos**

$$U_i - U_j + (N - K) * y_{kij} \leq (N - K - 1) \quad \forall k, i, j ; i \neq j ; j \geq 2 \quad (10)$$

La Ec. 10 garantiza que el recorrido de cada camión incluya los nodos inicial y final.

**Restricciones de mezcla en tanque**

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n y_{kij} * P_j * \frac{[Q_j - C_{TEB}] * [Q_j - C_{TEC}]}{[C_{TEA} - C_{TEB}] * [C_{TEA} - C_{TEC}]} = VA_k \quad \forall k \quad (11)$$

$$\sum_{t=1}^T OA_{tk} * CT_{tk} = VA_k \quad \forall k \quad (12)$$

$$OA_{tk} + OB_{tk} + OC_{tk} \leq 1 \quad \forall t, k \quad (13)$$

$$OA_{tk} \leq AA_{tk} \quad \forall t, k \quad (14)$$

La Ec. 11 define el volumen de leche  $VA_k$  de calidad  $A$  que se carga en el camión  $k$ . El parámetro  $Q_j$  especifica la correspondiente al tambo  $j$  y  $C_{TEA}$ ,  $C_{TEB}$  y  $C_{TEC}$  el tipo de leche que completa su denominación. La Ec. 12 fuerza que la leche  $VA_k$  asignada al camión  $k$  se cargue en el tanque correspondiente a la calidad  $A$ .  $CT_{tk}$  es la capacidad del tanque  $t$  y  $OA_{tk}$  es la fracción que ocupa la calidad  $A$ . La Ec.13 indica que la suma de las fracciones de diferentes calidades no puede superar 1. La Ec. 14 activa la variable  $AA_{tk}$  que indica la existencia de leche de calidad  $A$  en el tanque  $t$ . Ecuaciones similares se definen para las calidades  $B$  y  $C$ .

$$AA_{tk} + AB_{tk} - 1 \leq Pab_{tk} \quad \forall t, k \quad (15)$$

$$AA_{tk} + AC_{tk} - 1 \leq Pac_{tk} \quad \forall t, k \quad (16)$$

$$AC_{tk} + AB_{tk} - 1 \leq Pbc_{tk} \quad \forall t, k \quad (17)$$

Las Ecs. 15, 16 y 17 activan penalizaciones en caso de existir dos calidades distintas en el tanque.  $AA_{tk}, AB_{tk}$  y  $AC_{tk}$  son variables binarias que indican la presencia de leche de la calidad definida por la segunda letra de su denominación.  $Pac_{tk}, Pab_{tk}$  y  $Pbc_{tk}$  indican mezcla de leche de las calidades definidas por la segunda y tercera letra de su denominación.

#### 4. Caso de estudio

El caso de estudio consta de 8 tambos, definiendo una red de recolección de 10 nodos ( $N = 10$ ) incluyendo el estacionamiento de los camiones y la industria. Se dispone de 2 camiones ( $m = 2$ ) que deben recorrer 4 tambos ( $V = 4$ ) cada uno. El modelo se implementó con el software de optimización LINGO, y la interfaz de ingreso de datos y de salida de resultados se implementó utilizando la planilla Excel de Microsoft. Por razones de espacio no se incluyen las matrices de distancia entre nodos y de calificación de los caminos.

La Tabla 1 muestra la cantidad en metros cúbico y la calidad (A, B o C) de la leche producida por los tambos. A cada calidad se le asigna una ponderación numérica.

	Salida C	Tambo 1	Tambo 2	Tambo 3	Tambo 4	Tambo 5	Tambo 6	Tambo 7	Tambo 8	Industria
Producción ( $m^3$ )	0	25	15	12	7	25	52	36	18	0
Calidad (denominación)	A	A	B	A	A	C	A	B	A	
Calidad (factor)	3	3	3	2	3	3	1	3	2	3

Tabla 1: Matriz de información de tambos

La Tabla 2 muestra la velocidad media, la cantidad de tanques y sus capacidades, y la capacidad total de cada camión.

	Transporte 1	Transporte 2
Velocidad (km/h)	2	3
T1 ( $m^3$ )	25	15
T2 ( $m^3$ )	20	25
T3 ( $m^3$ )	40	25
T4 ( $m^3$ )	50	0
Capacidad ( $m^3$ )	135	65

Tabla 2: Matriz de información de transportes

Las ponderaciones para penalizar la mezcla de leche son:  $\omega_{ac} = 3, \omega_{ab} = 2, \omega_{bc} = 1$

#### 5. Resultados

Los recorridos obtenidos se detallan en la Figura 1.

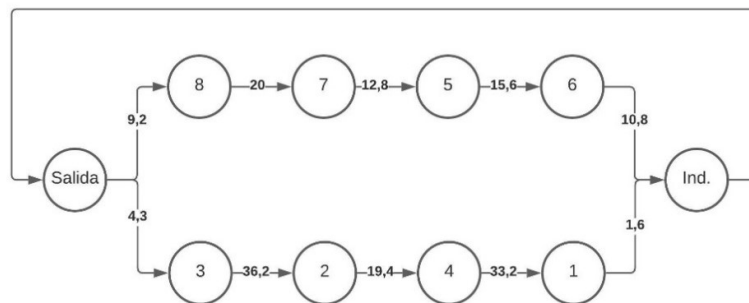


Figura 1: Recorrido de los transportes

En la Tabla 3 se observar la carga de los tanques según la calidad de leche.

	Transporte 1			Transporte 2		
	Calidad A	Calidad B	Calidad C	Calidad A	Calidad B	Calidad C
T1 (m <sup>3</sup> )	21,00	0,00	0,00	0,00	12,00	0,00
T2 (m <sup>3</sup> )	0,00	18,00	2,00	22,00	0,00	0,00
T3 (m <sup>3</sup> )	40,00	0,00	0,00	25,00	0,00	0,00
T4 (m <sup>3</sup> )	0,00	0,00	50,00	0,00	0,00	0,00

Tabla 3: Llenado de tanques

### 5.1. Análisis de resultados

Se observa que el recorrido de los camiones 1 y 2 es 68 y 95 kilómetros respectivamente. Esta diferencia se compensa con las velocidades, obteniéndose tiempos de recorrido parejos. Es llamativo que los dos tambos más cercanos a la industria (1 y 6) son los elegidos para finalizar los recorridos. También se observa que el recorrido del camión 2 es determinado por la calidad de los caminos mientras que el del camión 1 es determinado por las distancias entre tambos.

### 6. Conclusiones y trabajo futuro

El aspecto innovador del modelo propuesto relacionado con el dominio de la industria láctea radica en el balanceo del recorrido de los camiones considerando la velocidad de desplazamiento y el estado de los caminos, con el objetivo de minimizar el mezclado de leche de diferentes calidades. El modelo funciona correctamente y los resultados obtenidos son de utilidad para los transportistas y la industria. A futuro se evaluarán redes conformadas por mayor cantidad de tambos y transportes, a efectos de estudiar el impacto en el tiempo de cálculo. También se planea analizar el problema de la logística de recolección de leche con los principios de los sistemas físico-cibernéticos que dan fundamento a la industria 4.0.

### Reconocimientos

Los autores agradecen a los directores y a la UTN Facultad Regional Rafaela y UTN Facultad Regional Santa Fe por su constante apoyo y seguimiento para que este trabajo fuese posible. Este trabajo ha sido realizado bajo la dirección del Dr. Pedro L Querini, en el marco del proyecto "Proceso de digitalización de la cadena de suministro láctea basado en fundamentos de la industria 4.0" dirigido por el Mg. José Luis Torres y la Dra. Erica Fernández. (2021-2023)

### Referencias

- Butler, M., Williams, H. P. y Yarrow, L.-A. (1997). "The Two-Period Travelling Salesman Problem Applied to Milk Collection in Ireland". *Computational Optimization and Applications*, 7(3), 291–306.
- Carlos Amiama, Jacobo Salgado y José Manuel Pereira. (2012). "6 GESTIÓN DE RUTAS EN LA RECOGIDA DE LECHE. ESTUDIO DE CASOS". XVI Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos, Valencia, España, 11 al 13 de julio.
- Lahrchi, N., Gabriel Crainic, T., Gendreau, M., Rei, W. y Rousseau, L.-M. (2015). "Strategic analysis of the dairy transportation problem". *Journal of the Operational Research Society*, 66(1), 44–56.
- Ostermeier, M., Henke, T., Hübner, A. y Wäscher, G. (2021). "Multi-compartment vehicle routing problems: State-of-the-art, modeling framework and future directions". *European Journal of Operational Research*, 292(3), 799–817.
- Paredes-Belmar, G., Lüer-Villagra, A., Marianov, V., Cortés, C. E. y Bronfman, A. (2017). "The milk collection problem with blending and collection points". *Computers and Electronics in Agriculture*, 134(1), 109–123.
- Paredes-Belmar, G., Marianov, V., Bronfman, A., Obreque, C. y Lüer-Villagra, A. (2016). "A milk collection problem with blending". *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 94(6), 26–43.

## Aplicación del Método del Índice de Calidad para evaluar la frescura y predecir la vida útil de la Boga (*Leporinus obtusidens*) en la industria

## Application of the Quality Index Method to evaluate the freshness and predict the shelf life of Boga (*Leporinus obtusidens*) in the industry



Juan Pasetto; Belén Bogado

Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnología de los Alimentos CIDTA. Facultad Regional Rosario. Universidad Tecnológica Nacional  
[juancpasetto@gmail.com](mailto:juancpasetto@gmail.com); [bogbelen@gmail.com](mailto:bogbelen@gmail.com)

### RESUMEN

El Método del Índice de Calidad (QIM) está basado en una escala estructurada para medir la calidad sensorial de pescados frescos y congelados, que brinda información acerca de la frescura y la predicción de su vida útil remanente. El objetivo de este trabajo fue desarrollar este método aplicado a la boga, para su utilización en la industria pesquera. Se adquirieron piezas de pescado en el mercado de pescadores de Rosario; se analizaron las piezas frescas, se congelaron y descongelaron, analizando sus características sensoriales luego del descongelamiento. Se contó con ocho evaluadores sensoriales seleccionados y entrenados, quienes eligieron los atributos a medir y establecieron la puntuación a asignarles, según el grado de deterioro. Se obtuvo una herramienta útil para el control de calidad y frescura de boga en la industria frigorífica, que puede extenderse al comercio y también a los consumidores.

**PALABRAS CLAVE:** Índice de Calidad, Boga, Calidad sensorial

### ABSTRACT

The Quality Index Method (QIM) is based on a structured scale to measure the sensory quality of fresh and frozen fish, which provides information about freshness and the prediction of its remaining shelf life. The objective of this work was to develop this method applied to boga, for its use in the fishing industry. Fish pieces were obtained at the Rosario fishermen's market; fresh pieces were analyzed, frozen and defrosted, analyzing their sensory characteristics after defrosting. Eight sensory evaluators were selected and trained, who chose the attributes to be measured and established the score to assign them, according to the intensity of deterioration. A useful tool for quality control and freshness in boga in the fish processing industry was obtained, which can be extended to commerce and also to consumers.

**KEY WORDS:** Index of Quality, Boga, Sensory quality

### INTRODUCCIÓN

El pescado fresco es un producto altamente perecedero. Los suministros de pescado son variables y el pescado fresco solo puede ser almacenado por un corto tiempo. Para su comercialización, es esencial estimar su frescura, uno de los aspectos más importantes de los



productos pesqueros (Bernardi et al., 2013). Muchos métodos han sido probados, pero la evaluación sensorial es aún considerada como la técnica más efectiva para asegurar la frescura del pescado y establecer su deterioro (Martinsdóttir, 2002; Alasalvar et al., 2011; García Martínez et al., 2013).

Los métodos sensoriales, ejecutados de manera apropiada, son una herramienta rápida y segura, proveyendo información unificada sobre los alimentos (Hyldig et al., 2007). Se los suele considerar métodos subjetivos; sin embargo, cuando son realizados por un panel de evaluadores seleccionados, entrenados y monitoreados, se convierten en métodos precisos. No existe método instrumental individual que haya sido previsto para reemplazar los métodos sensoriales (Martinsdóttir et al., 2003).

Basado sobre un método de escala estructurada, el Método de Índice de Calidad (QIM) es sugerido como una herramienta práctica y objetiva para la evaluación del pescado fresco en el manejo de la producción, en la inspección oficial de los productos pesqueros así como en cualquier otra parte de la cadena (Hyldig y Green-Petersen, 2004), con la consiguiente estimación de la vida útil remanente de un lote (Huidobro et al., 2001; Esteves y Anibal, 2007).

Fue desarrollado originariamente en el Instituto de Investigación de Alimentos de Tasmania (Bremmer, 1985). Posteriormente, ha sido estudiado por muchos centros y desarrollado para muchas especies de pescado fresco, procesado y derivados de la pesca, gracias a los estudios de inter colaboración de distintos centros de investigación europeos y a nivel mundial.

El QIM es una guía sistemática y objetiva que simplifica el proceso de evaluación de la calidad. Se basa en la medición de parámetros sensoriales significativos, usando las características bien definidas de atributos de apariencia externa para pescado crudo y un sistema de puntuación por deméritos que va de 0 a 3 (Hyldig y Green-Petersen, 2004; Martinsdóttir, 2002). La suma de todos los atributos es llamada puntaje de deméritos o Puntaje del Índice QIM. El puntaje puede ser utilizado para evaluar los procedimientos de manipulación y almacenamiento, eficiencia del personal, duración del transporte, siendo particularmente útil para detectar problemas (Hyldig et al., 2007). El QIM puede también medir la influencia del transporte y el almacenamiento sobre la calidad sensorial y la vida útil remanente cuando el pescado es almacenado en hielo (Hyldig y Green-Petersen, 2004). Para las transacciones electrónicas, donde el comprador no puede ver el pescado, los QIMs tienen una clara ventaja sobre otros métodos sensoriales. Los índices de calidad pueden también jugar un rol importante en la trazabilidad, porque tal información puede ser utilizada a lo largo de toda la cadena para verificar su exactitud (Nielsen, 2005).

Los atributos que se deben evaluar durante la aplicación o desarrollo del esquema QIM son la piel, ojos, branquias, y textura. El olor de las branquias y para algunas especies, el olor de la mucosidad de la piel, también son evaluados. El color de la sangre y filetes son evaluadas en los pescados eviscerados.

Vaz-Pires y Seixas (2006) desarrollaron el primer esquema QIM para calamar, usando muestras frescas, enteras y lavadas con agua corriente antes de ser almacenado en hielo. Sykes et al. (2009), reportando que esto no es un procedimiento común en la industria pesquera, desarrollaron un esquema QIM para calamar sin lavar. Diferentes parámetros fueron usados entre los esquemas y “cabeza” y “manto” fueron incluidos como atributos. No obstante, es también posible desarrollar el esquema QIM que pueda ser usado, por ejemplo, para evaluar la

frescura en pescado descongelado, tales como el arenque joven salado (*Clupea harengus*) (Lyhs y Schelvis-Smit, 2005); pescado congelado, para merluza (*Merluccius capensis* y *M. paradoxus*) y para almacenamiento en agua de mar refrigerada para sardinias australianas (*Sardinops sagax*) (Musgrove et al, 2007). Huidobro et al. (2001), investigaron el efecto del lavado en el Besugo cabeza dorada (*Sparus aurata*) con agua corriente durante el almacenamiento y Campus et al. (2011) evaluaron el efecto del Envasado en Atmósferas Modificadas (MAP) en el Besugo Cabeza Dorada (*Sparus aurata*). Nielsen y Green (2007) desarrollaron un QIM para Lubina rayada híbrida (*Morone saxalis*) criada en cautiverio.

Bogdanovic et al. (2012) desarrollaron un esquema QIM para Boga (*Boops boops*) fresca y lo evaluaron en un estudio de vida útil, usando muestras de peces silvestres en las inmediaciones a las granjas acuícolas (BF) y muestras en el área no influenciada por las granjas acuícolas (BW). Otros trabajos en curso en esta área están siendo investigados como nuevas herramientas para la entrega de el QIM para nuevas especies y un amplio uso por la industria y grupos de consumidores (Green, 2011).

El objetivo de este trabajo fue desarrollar el Método de Índice de Calidad para Boga (*Leporinus obtusidens*) para su aplicación en el control de calidad en la industria que procesa y congela este pescado en la provincia de Santa Fe.

## DESARROLLO

Se recolectaron 10 ejemplares de Boga (Figura 1), suministrados por pescadores de la localidad de Rosario. Las piezas adquiridas se congelaron en un freezer comercial a  $-18 \pm 3^{\circ}\text{C}$ .

El desarrollo del esquema sensorial QIM específico se realizó según la metodología descrita por Martinsdóttir y col. (2001) y considerando el trabajo de Pinnacchio Scaldaferrri (2011), que involucra distintas sesiones de estudio. Se inició con las sesiones preliminares, en las que se observaron y registraron los cambios que se producen en la apariencia y en otras características sensoriales durante el almacenamiento en hielo. Finalizadas las observaciones, se diseñó el esquema QIM, seleccionando los atributos y sus descriptores a los que se les asignaron una puntuación máxima de 3, donde el 0 representa una calidad óptima y una mayor puntuación indica deterioro progresivo.








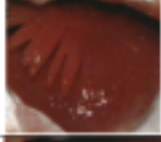



**Figura 1. Ejemplar de Boga (*Leporinus obtusidens*)**

Con la participación de 8 evaluadores sensoriales seleccionados y entrenados en análisis descriptivo cuantitativo, se seleccionaron los descriptores a tener en cuenta (Figura 2) y se les atribuyeron las puntuaciones correspondientes, de acuerdo a la intensidad y gravedad del deterioro, los mismos se indican en la Tabla 1.

Parámetros		Características Puntuación
Apariencia general	Piel	Piel íntegra, gris, brillante, iridiscente 0
		Piel íntegra, gris, menos brillante, sin iridiscencia 1
		Piel con desgarros, gris, manchas rosadas en la zona dorsal 2
		Piel con laceraciones, gris, decoloración amarilla 3
	Mucosidad	Transparente, acuosa 0
		Ligeramente turbia, abundante 1
Muy abundante (resbala), amarillo-marrón 2		
Ojos	Córnea	Transparente, brillante 0
		Ligeramente opaca, con manchas sanguinolentas 1
		Opaca, manchas marrones 2
		Opaca blanquizca, con manchas borravino 3
	Pupila	Negra, brillante, circular 0
		Negro apagado, no tan circular 1
		Gris, opaca, forma distorsionada 2
	Forma	Gris-blanquizco (típica de cataratas), totalmente distorsionada 3
		Convexos 0
Poco convexos, planos 1		
Branquias	Color	Levemente cóncavos, algo hundidos 2
		Totalmente hundidos, perforados 3
		Rojo brillante 0
		Rojo apagado 1
	Marrón-rojizo 2	
	Decolorada 3	
	Olor	A fresco 0
Neutro, a pescado 1		
Fuerte a pescado, levemente amoniacal, levemente picante y mohoso 2		
Abdomen	Firmeza	Fuertemente amoniacal, picante, mohoso, nauseabundo 3
		Firme, elástica (se recupera totalmente luego de la presión con el dedo) 0
		Menos firme, se recupera totalmente luego de la presión 1
		Blanda, se recupera levemente luego de la presión 2
		Muy blanda, quedan marcas profundas por la presión 3

Carne	Apariencia y color	Lisa y traslúcida 0
		Aspecto céreo con tonalidades rosadas 1
		Aspecto céreo, removida, más oscura y rojiza 2
<b>Índice de calidad (QI) 0-25</b>		

**Tabla 1. Características sensoriales y puntuaciones para la aplicación del Método de Índice de Calidad en Boga**

	Apariencia general/color	Ojos	Branquias
Fresco			
Límite aceptable			
Podrido			

**Figura 2. Cartilla de Evaluación sensorial de Boga (*Leporinus obtusidens*) (Pinnacchio Scaldaferrì, 2011)**

## CONCLUSIONES

Fue posible seleccionar los principales atributos sensoriales que se van modificando a lo largo del tiempo, para aplicar el Método de Índice de Calidad para Boga. Será necesario implementar a continuación las sesiones de entrenamiento para los evaluadores sensoriales, que pondrán en práctica esta metodología de control, y proceder a su aplicación.

**Este trabajo ha sido realizado bajo la dirección de la Ing. Lucrecia Pozzo y la Dra. Florencia Balzarini, en el marco del proyecto UTI 4751TC**

## REFERENCIAS

Alasalvar, C.; Griogor, J. M.; Ali, Z. (2011). "Practical evaluation of fish quality by objective, subjective, and statistical testing". En: Alasalvar C., Shahidi F., Miyashita K., Wanasundara U., editores. *Handbook of seafood quality, safety and health applications*. Nueva Delhi: Blackwell Publishing, 13-29.

Bernardi, D. C.; Mársico, E. T.; Queiroz de Freitas, M. (2013). "El Método del Índice de Calidad

para evaluar la frescura y la vida útil del pescado”. *Archives of Biology and Technology*. 56 (4): 587-598.

Bogdanovic, T.; Simat, V.; Frka-Roic, A.; Markovic, K. (2012). “Development and application of Quality Index Method scheme in a shelf life study of wild and fish farm affected bogue (Boops boops, L.). *Journal of Food Science*. 2: 51-58.

Bremmer, A. (1985). “A convenient easy to use System for Estimating the Quality of Chilled Seafood”. En *Proceedings of the Fish Processing Conference*. Fish Processing Bulletin 7, Ed. D.N Scott y C. Summers, Nelson, Nueva Zelanda, 23 al 25 de Abril, 59-703.

Campus, M.; Bonaglini E.; Cappuccinelli, R.; Porcu, M. C.; Tonelli, R.; Roggio, T. (2011). “Effect of modified atmosphere packaging on Quality Index Method (QIM) scores of farmed gilthead seabream (*Sparus aurata* L.) at low and abused temperatures”. *Journal Food of Science*. 76(3): 185-191.

Esteves, E.; Aníbal, J. (2007). “Quality Index Method (QIM): utilização da análise sensorial para determinação da qualidade do pescado”, *Actas del Congreso de Algarve*, Racal-Clube, Lagos, Portugal, Noviembre 2007, 365-373.

García Martínez, E. M.; Fernández Segovia, I.; Fuentes López, A. (2013). “Determinación del grado de frescura del pescado por el Método organoléptico del Índice de Calidad (Método QIM)”. Universitat Politècnica de València. Disponible en <http://hdl.handle.net/10251/29864>.

Green, D. P. (2011). “Sensory evaluation of fish freshness and eating qualities”. En: Alasalvar C., Shahidi F., Miyashita K. y Wanasundara U., editores. *Handbook of seafood quality, safety and health applications*. Nueva Delhi: Blackwell Publishing. 29-38.

Hylding, G.; Bremner, A.; Martinsdóttir, E.; Schelvis, R. (2007). “Quality Index Methods”. En: Nollet L. M. L., Boylston T. y Chen F., editores. *Handbook of meat, poultry and seafood quality*. Oxford: Blackwell, 499-510.

Hyldig, G.; Green-Petersen, D.M.B. (2004). “Quality Index Method - an objective tool for determination of sensory quality”. *Journal of Aquatic Food Product Technology*. 13(4): 71-80.

Huidobro, A.; Pastor, A.; López-Caballero, M. E.; Tejada, M. (2001). “Washing effect on the Quality Index Method (QIM) developed for raw gilthead seabream (*Sparus aurata*)”. *European Food Research and Technology*. 212(4): 408-412.

Lyhs, U.; Schelvis-Smit, R. (2005). “Development of a Quality Index Method (QIM) for maatjes herring stored in air and under modified atmosphere”. *Journal of Aquatic Food Product Technology*. 14: 63-76.

Martinsdóttir, E.; Sveinsdotlir, K.; Luten, J. B.; Schelvis-Smit, R.; Hyldig, G. (2001). *Reference manual for the fish sector: sensory evaluation of fish freshness*. Islandia: Svansprent ehf. 49.

Martinsdóttir, E. (2002). “Quality management of stored fish”. En: Bremner, A., editor. “Safety and quality issues in fish processing”. Hirtshals: Woodhead Publishing Ltd, 360-378.

Martinsdóttir, E.; Luten, J. B.; Schelvis-Smit, A. A. M.; Hyldig, G. (2003). “Developments of QIM - paste and future”. En: Luten J. B, Oehlenschlager J. y Ólafssóttir G., editores. *Quality of fish from catch to consumer*. Holanda: Wageningen Academic Publishers, 265-272.

Musgrove, R.; Carragher, J.; Mathews; Slattery, S. (2007). "Value adding australian sardines: factors affecting rates of deterioration in sardine (*Sardinops sagax*) quality during post-harvest handling. *Food Control*. 18: 1372-1382.

Nielsen, D. (2005). "Quality Index Method provides objective seafood assessment". *Global Aquaculture Advocate*. 36-38.

Nielsen, D.; Green, D. (2007). "Developing a quality index grading tool for hybrid striped bass (*Morone saxatilis* x *Morone chrysops*) based on the Quality Index Method". *International Journal of Food Science & Technology*. 42(1): 86-94.

Pinnacchio Scaldaferrri, G. (2011). "Evaluación sensorial de la frescura de peces de importancia comercial del río Uruguay". Tesis (Doctor en Ciencias Veterinarias), Universidad de La República. Uruguay.

Pons, S.; Vidal, M. C.; Nudes, M. T.; Veciana, M. T. (2006). "Sensory analysis to assess the freshness of Mediterranean anchovies (*Engraulis encrasicolus*) stored in ice". *Food Control*. 17: 564-569.

Sykes, A. V.; Oliveira, A. R.; Domingues, P. M.; Cardoso, C. M.; Andrade, J. P.; Nunes, M. L. (2009). "Assessment of european cuttlefish (*Sepia officinalis*, L.) nutritional value and freshness under ice storage using a developed Quality Index Method (QIM) and biochemical methods". *LWT/Food Science and Technology*. 42:424-432.

Vaz-Pires, P.; Seixas, P. (2006). "Development of new Quality Index Method (QIM) schemes for cuttlefish (*Sepia officinalis*) and broadtail shortfin squid (*Illex coindetii*). *Food Control*. 17(12): 942-949.

## Descargas en contacto con líquidos: caracterización eléctrica de una descarga corona pulsada



Destacados por cantidad de "ME GUSTA" en las fechas del evento

## Discharges in contact with liquids: electrical characterization of a pulsed corona discharge

### Matías Ferreyra

Grupo de Descargas Eléctricas, Departamento Ing. Electromecánica, Facultad Regional Venado Tuerto (UTN), Venado Tuerto 2600, Santa Fe, Argentina.  
[matiasg.ferreyra@hotmail.com](mailto:matiasg.ferreyra@hotmail.com)

### Ayelén Grillo

Grupo de Descargas Eléctricas, Departamento Ing. Electromecánica, Facultad Regional Venado Tuerto (UTN), Venado Tuerto 2600, Santa Fe, Argentina.  
[ayelengrillo01@gmail.com](mailto:ayelengrillo01@gmail.com)

**Resumen:** Una de las aplicaciones de mayor crecimiento en el campo de las descargas eléctricas es el tratamiento de agua (tanto para potabilización como para activación). En este trabajo se presenta la caracterización experimental de una descarga corona positiva en contacto con agua operando en régimen pulsado. Se usó una geometría tipo alambre-plano con el cátodo sumergido en agua. La descarga fue alimentada a través de una fuente pulsada tipo capacitiva, capaz de proveer un tren periódico de pulsos de alto voltaje ( $\sim 15$  kV) y corta duración ( $\sim 100$  ns), con una frecuencia de repetición de  $\sim 40$  pulsos/s. Se reportan y discuten resultados de las mediciones de voltaje y corriente de la descarga, y se infiere la energía disipada en el plasma generado.

**Palabras clave:** Descarga corona, plasmas no-térmicos, agua activada con plasma.

**Abstract:** One of the fastest growing applications in the field of electric discharges is water treatment (both for purification and for activation). This work presents the experimental characterization of a positive corona discharge in contact with water operating in a pulsed regime. A wire-plane geometry was used with the cathode immersed in water. The discharge was powered through a pulsed capacitive type source, capable of providing a periodic train of high

voltage ( $\sim 15$  kV) and short duration ( $\sim 100$  ns) pulses, with a repetition frequency of  $\sim 40$  pulses/s. The results of the discharge voltage and current measurements are reported and discussed and the energy dissipated in the plasma is inferred.

**Keywords:** Corona discharge, non-thermal plasmas, plasma activated water.

## Introducción

La gran cantidad de trabajos publicados en los últimos años sobre plasmas no-térmicos en (y en contacto con) líquidos, evidencia el creciente interés en este particular campo de las descargas eléctricas. En particular, una de las aplicaciones más relevantes es el tratamiento del agua a través de la difusión y/o generación de especies químicas reactivas en el medio líquido por la exposición al plasma, sin la necesidad del agregado de agentes químicos, y por lo tanto amigable con el medio ambiente [1]. Estas partículas junto a radiación UV y campos eléctricos intensos promueven la degradación de varios tipos de contaminantes orgánicos y microorganismos del agua sin el agregado de agentes químicos [2]. Adicionalmente, el agua es activada por partículas reactivas de vida media larga y puede ser usada como desinfectante en la agricultura [3]. Un tipo de descarga en contacto con líquidos ampliamente utilizada es la corona pulsada. La descarga tipo corona ocurre en la vecindad de electrodos de pequeño radio de curvatura donde los campos eléctricos son intensos. Las potencias de estas descargas en régimen cuasi estacionario son típicamente muy pequeñas, pero pueden crecer fuertemente si se las excita con fuentes pulsadas rápidas ( $\sim 100$  ns) de modo de evitar la transición a la chispa [4].

## Metodología

En la Figura 1 se muestra el arreglo experimental. Ambos electrodos fueron construidos en acero inoxidable AISI 304. El ánodo consistió en un arreglo de 10 alambres de 0.5 mm de diámetro y 10 cm de longitud dispuestos paralelamente a una bandeja plana (cátodo) con una superficie de 196 cm<sup>2</sup> que contuvo el agua a tratar. Las pruebas se realizaron empleando agua destilada, y se utilizaron 4 distancias entre electrodos: 8, 10, 12 y 15 mm. El nivel de agua destilada en la bandeja fue de 5 mm. La descarga fue alimentada con una fuente pulsada capacitiva, capaz de proveer pulsos de voltaje de  $\sim 15$  kV y una duración de  $\sim 100$  ns; con una frecuencia de repetición de  $\sim 40$  pulsos/s. Dicha fuente fue diseñada y construida por el GDE.



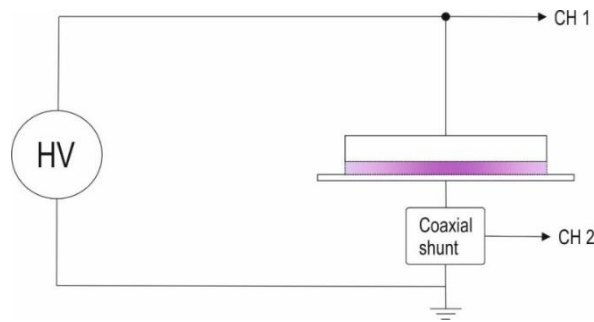


Figura 1 – Arreglo experimental.

Las señales de tensión y corriente de la descarga fueron capturadas con un osciloscopio digital de 4 canales (Tektronix TDS 2004C, velocidad de muestreo 1 GS s<sup>-1</sup>, ancho de banda 70 MHz). La caída de tensión en la descarga (CH1) fue medida con una sonda de alto voltaje (Tektronix P6015A, 1000x, 3 pF, 100 MΩ); mientras que la señal de corriente (CH2) fue medida a través de un shunt coaxial (T&M SDN-414-025, 0.025 Ω, 1200 MHz). En la Figura 2 se muestran oscilogramas de tensión (amarillo) y corriente (celeste) de la descarga:

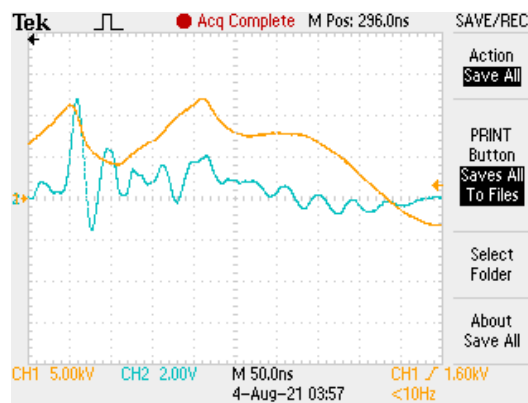


Figura 2 – Señales de tensión y corriente de la descarga.

Con ambas señales se estimó para cada gap la energía de la descarga en cada pulso de voltaje como:

$$W = \int_{t_1}^{t_2} v(t) i(t) dt \quad (1)$$

Empleando las señales de tensión y corriente de la descarga operando en modo capacitivo (antes de la ignición de la corona) se estimó la capacidad del par de electrodos para cada gap. La corriente del plasma (de conducción) fue entonces calculada restando a la forma de onda de

corriente registrada la corriente capacitiva. La resistencia característica del plasma se calculó como el cociente entre la tensión y la corriente del plasma.

### Resultados y discusión

En la Figura 3 se muestra la evolución temporal de la energía  $W$  en la descarga corona. Se observa que la mayor energía corresponde al gap de 8 mm (alrededor 13 mJ), mientras que la menor al gap de 15 mm (4 mJ). Para los gap de 10 y 12 mm los valores de energía son similares y cercanos a 7 mJ.

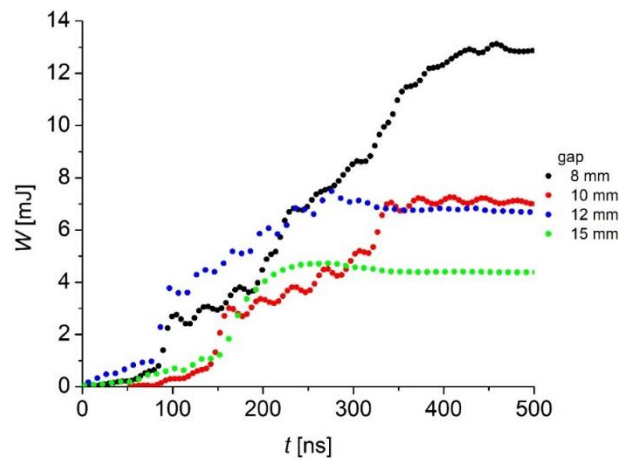
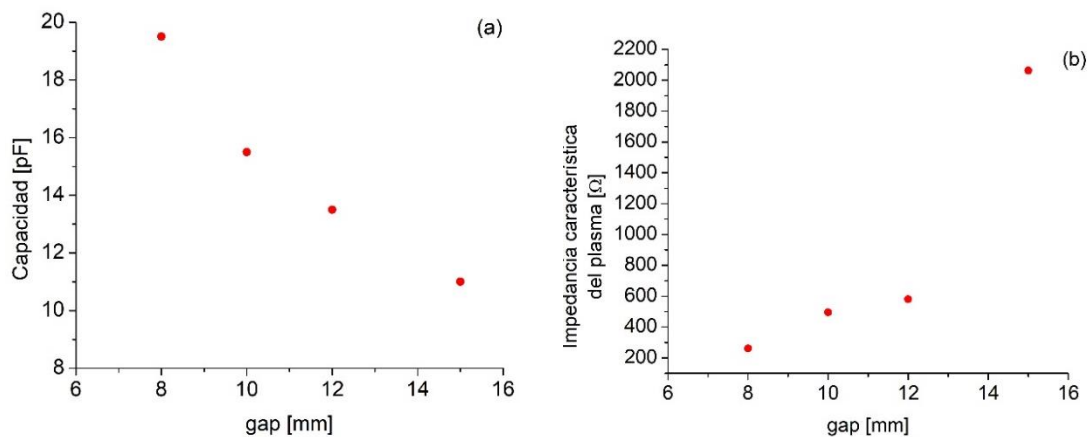


Figura 3 – Evolución temporal de la energía en la descarga.

En la Figura 4 se muestran la capacidad del par de electrodos (a) y la impedancia característica del plasma (b) en función del gap. Como era de esperar, al aumentar el gap la capacidad del par de electrodos disminuye y la impedancia característica del plasma aumenta. La capacidad del par de electrodos varió entre 19.5 pF (gap=8 mm) y 11 pF (gap=15 mm); mientras que la impedancia característica del plasma varió entre 260  $\Omega$  (gap=8 mm) y 2000  $\Omega$  (gap= 15 mm).



**Figura 4 – Capacidad del par de electrodos (a) e impedancia característica del plasma (b) en función del gap.**

Los resultados mostrados son preliminares, en particular empleando agua destilada. Se prevé la realización de experimentos con diferentes tipos de agua.

### **Conclusiones**

Se caracterizó experimentalmente una descarga corona pulsada en contacto con agua. El análisis de los resultados obtenidos ha demostrado que:

- I. La energía de la descarga aumenta considerablemente frente a incrementos de la capacidad del par de electrodos; es decir, al disminuir el gap.
- II. La impedancia característica del plasma aumenta al incrementarse el gap. Un incremento de la distancia entre electrodos genera una disminución en el valor de la corriente pico de la descarga.

### **Referencias**

- [1] Adamovich, I. et al. (2017). "The 2017 Plasma Roadmap: Low temperature plasma science and technology", *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 50 (323001).
- [2] J. E. Foster (2017). "Plasma-based water purification: Challenges and prospects for the future", *Phys. Plasmas*, 24 (055501).
- [3] Pérez-Pizá, M. C. et al. (2020). "Enhancement of soybean nodulation by seed treatment with non-thermal plasmas", *Sci. Rep.*, 10 (4917).
- [4] Nissim, N. et al. (2006). "Analysis of the development of a nanosecond pulsed corona on a two-wire transmission line using the method of  $q-v$  curves", *J. Appl. Phys.*, 100 (104306).

### **Agradecimientos**

Al Dr. Juan Camilo Chamorro por su importante contribución en el trabajo.

# Desarrollo de un Sistema de Control y Medición de Potencia Mecánica de un Freno de Corrientes Parásitas para ensayos de Motores Eléctricos de hasta 5 kW.



## Development of a Mechanical Power Measurement and Control System of an Eddy Current Brake for Testing of Electric Motors up to 5 kW.

Presentación: 27 y 28 de octubre de 2021

**Feck Franco, Basilio Tomás, Verón Franco.**

Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Santa Fe.

[francofeck@gmail.com](mailto:francofeck@gmail.com), [tomass\\_07-@hotmail.com](mailto:tomass_07-@hotmail.com), [franco1020@hotmail.com.ar](mailto:franco1020@hotmail.com.ar).

### Resumen

El presente proyecto se encuentra orientado a realizar la automatización del sistema de medición y control de potencia mecánica, que se le aplica al eje de un motor eléctrico bajo ensayo, en un freno electromagnético de corrientes parásitas. Para ello, se implementan microcontroladores marca “Arduino”. Dicho freno es utilizado en el Laboratorio de Máquinas Eléctricas y Electrotecnia de la UTN Facultad Regional Santa Fe para determinar el rendimiento y/o diferentes parámetros de un motor eléctrico con potencias de hasta 5 [kW].

**Palabras clave:** Arduino, Automatización, Freno, Motor eléctrico, Eficiencia.

### Abstract

This project is aimed at automating the mechanical power measurement and control system, which is applied to the shaft of an electric motor under test in an electromagnetic brake with eddy currents. For this, "Arduino" brand microcontrollers are implemented. Said brake is used in the Laboratory of Electrical and Electrotechnical Machines (LAMEyE) to determine the performance and / or different parameters of an electric motor with powers of up to 5 [kW].

**Keywords:** Arduino, Automation, Brake, Electric Motor, Efficiency.

### Introducción

Resulta bien conocida la problemática ambiental, que actualmente puede poner en jaque un futuro sustentable para las generaciones venideras. Las emisiones antropógenas de gases de efecto invernadero, han aumentado desde la era preindustrial. Estos son causantes de cambios climáticos, que han impactado en los sistemas naturales y humanos. La generación de energía eléctrica, es uno de los mayores aportantes de gases en relación con los otros tipos de emisores. Una de las medidas claves de su mitigación, incluye la mejora en la eficiencia de los equipos de consumo, y los cambios de comportamiento de la población (Pachauri R. K. et al., 2014: 4-29).

El cincuenta y ocho por ciento de la demanda eléctrica, la conforman residencias y comercios (Secretaría de Energía Argentina, 2020: 1). Los consumos más interesantes en estos sectores son los refrigeradores, lámparas, motores eléctricos y equipos de aire

acondicionado comerciales y residenciales (Tanides C. G., 2004: 20), siendo los motores monofásicos el principal componente de demanda de los refrigeradores y equipos de aire acondicionado. De allí surge la importancia de los etiquetados de eficiencia de motores eléctricos.

Para conocer la eficiencia de motores eléctricos, se debe realizar un ensayo que consiste en aplicarle potencia mecánica de frenado al eje, en donde se mide de potencia mecánica útil y la potencia eléctrica consumida, con lo cual a través de su relación es posible la obtención del rendimiento. El presente trabajo, se enfoca en la mejora del sistema de la medición de potencia mecánica en el eje del motor. Cabe mencionar, que la realización de los procedimientos de ensayos en forma manual, resulta lento, tedioso y requiere presencia permanente del operador durante todo su desarrollo con el objeto de realizar ajustes, lo cual genera imprecisiones que afectan los resultados del ensayo. En búsqueda de solucionar esta problemática, se pretende desarrollar un sistema de medición y control semi-automático que requiera menor presencialidad del operario y tiempo de ensayo. Los sistemas de control electrónicos basados en plataformas electrónicas digitales, son una tecnología madura y de amplia aplicación en ambientes industriales (O. E. Amestica et al., 2019: 1), debido a su pequeño tamaño, el bajo costo de adquisición, bajo consumo energético y el amplio abanico funcional. Los programas abiertos, tienen la libertad de usufructuarlos, ejecutarlos, copiarlos, distribuirlos o mejorarlos sin la necesidad de solicitar permisos. En este sentido, el ampliamente popular y conocido microcontrolador “Arduino”, es actualmente el que reúne dichas características, y que a su vez resulta ser el de mayor desarrollo y simplicidad de programación (Zulma Cataldi et al., 2007: 4-10). Cuenta también con una biblioteca que contiene diversas librerías, las cuales permiten compatibilidad con un amplio número de periféricos, resultando conveniente para lo requerido en el presente proyecto, siendo a su vez, permeable al surgimiento de posibles mejoras.

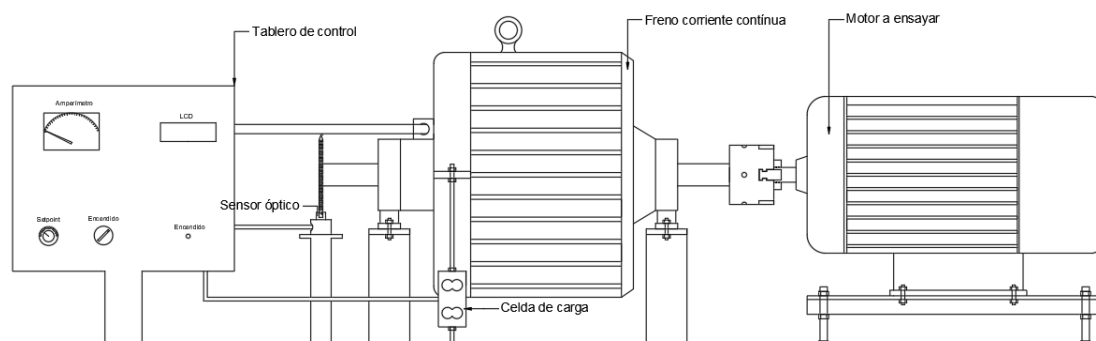
## Desarrollo

El freno electromagnético consiste en un electroimán con el núcleo en forma especial, montado en un dispositivo que puede bascular – ver figura 1 -.

El electroimán se alimenta con corriente continua, y dentro de él gira un disco de cobre o aluminio macizo, en el cual se inducen corrientes parásitas que generan una fuerza contraria al sentido al que gira el disco. Estas fuerzas son tanto mayores, cuanto mayor es la velocidad “n” (RPM) con que gira el disco y la corriente inyectada (proporcional al flujo magnético) en el electroimán.

El dispositivo basculante tiene una barra en cada extremo. Un extremo se mueve entre dos topes y suele disponer un nivel de burbuja para verificar que el dispositivo esté centrado, y una pesa de equilibrado que gira en un tornillo.

El otro extremo está fijado mediante una cuerda o cadena a una celda de carga, enviando una señal proporcional a peso aplicado a un controlador, y cuya magnitud de peso es posible observarse en una un “display”, en unidades de [kg].



**Figura 1. Esquema constructivo del freno de corrientes parásitas utilizado**

Luego por intermedio de una ecuación matemática (1), resulta posible calcular y determinar la potencia mecánica aplicada al eje del motor bajo ensayo.

$$P_{mec} \text{ (Watts)} = 1,027 \cdot Q(\text{kg}) \cdot L(\text{m}) \cdot n(\text{rpm}) \quad (1)$$

La constante de 1,027, es un factor para compatibilizar unidades y que la potencia sea arrojada en watts. En la figura 2, se exponen los datos nominales del freno implementado.

Varimatic Freno electromagnético	
Mod: 2DM 140 200	Nº: D0709111901
CV: 5,5	RPM: 1500
Volts CC: 29	Amp. Cal: 5
Rod 1:	Rod: 6306 Z
Fabricante VARIMAK S.A.	Industria Argentina



Figura 2. Datos de placa freno existente

El sistema completo consiste en cuatro microcontroladores – ver figura 3 –, los cuales cumplen las funciones de:

- (1) Control de Fuente
- (2) Medidor de Potencia
- (3) Medidor de la velocidad
- (4) Medidor de peso

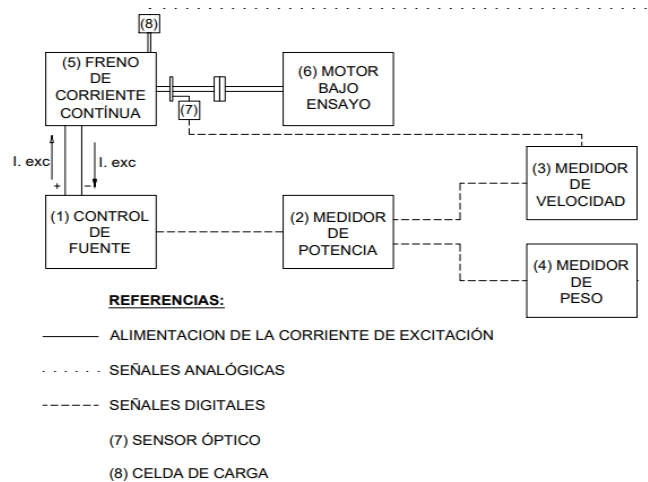


Figura 3. Esquema de interconexión de los componentes del sistema de medición

El módulo Control de fuente (1) mediante una modulación por ancho de pulsos (PWM) y una fuente de corriente continua, realiza el control de la corriente de excitación que alimenta el electroimán del freno de corrientes parásitas (5). Se dispone de una modalidad de funcionamiento manual y otra automática. En modo manual, se regula la excitación mediante un potenciómetro, con un indicador de escala porcentual respecto de la corriente máxima permitida, mientras se visualiza la potencia mecánica real aplicada en el freno, a través del Medidor de Potencia (2). En lo que respecta al modo automático, el valor deseado de potencia es insertado a través de un teclado numérico, cuya magnitud es comparada con la del medidor, y según la magnitud de “off-set” calculado, se incrementa o disminuye la corriente de excitación. El tipo de control escogido ha sido un “PID”.

El Medidor de potencia (2), recibe los datos necesarios de los módulos Medidor de Velocidad (3) y Medidor de Peso (4), para realizar el cálculo de la potencia mecánica real.

El Medidor de Velocidad (3) recibe una señal del Sensor Óptico (7), durante la interrupción que la rueda dentada provoca entre el emisor y receptor. La rueda contiene sesenta ranuras, con lo cual cuando se contabilizan sesenta interrupciones, corresponde a una revolución. Contabilizando la cantidad de interrupciones que se ocasionaron en un segundo, se puede obtener la cantidad de vueltas que realiza el motor en un minuto.

El Medidor de Peso (4) recibe de una celda de carga (8), una diferencia de potencial proporcional al peso aplicado.

En la imagen de la figura 4, es posible apreciar el circuito real entre los diferentes módulos del sistema.

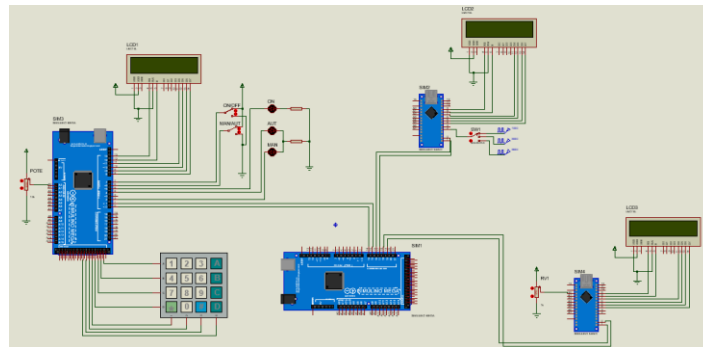


Figura 4. Esquema multifilar del sistema completo

La comprensión de las lógicas de programación de cada módulo, se exponen resumidamente en los siguientes diagramas de flujo de las figuras 5 a la 8:

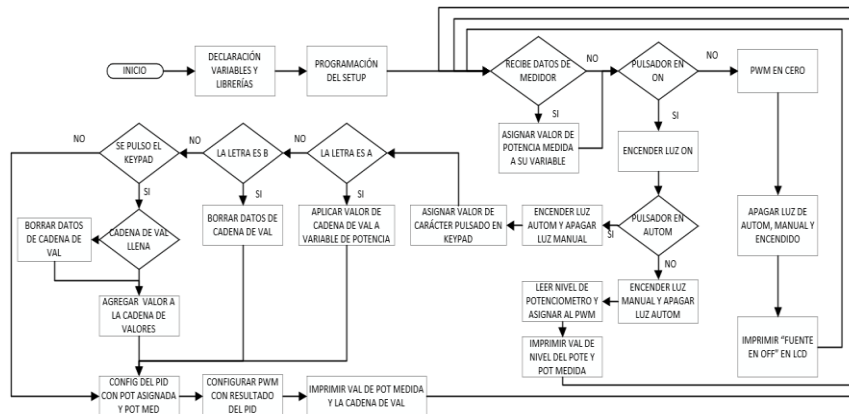


Figura 5. Flujograma del funcionamiento del módulo “Fuente (1)”

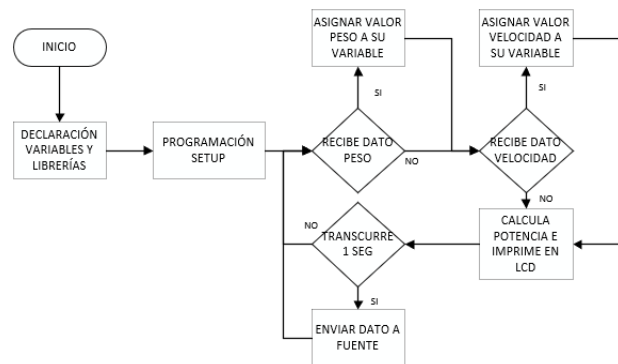


Figura 6. Flujograma del funcionamiento del módulo “Medidor Potencia (2)”

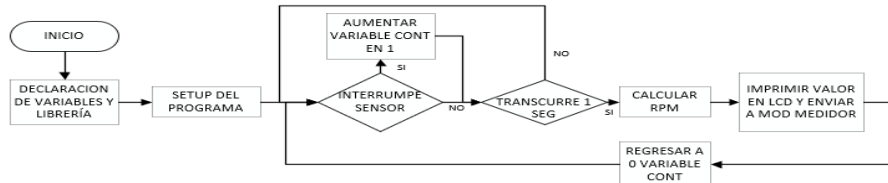


Figura 7. Flujograma del funcionamiento del módulo “Medidor de velocidad (3)”

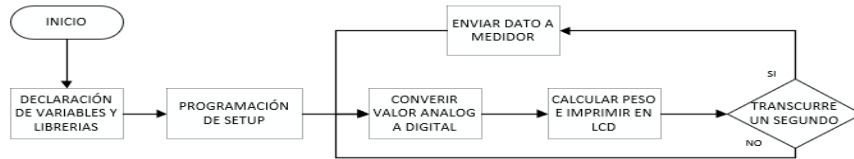


Figura 8. Flujograma del funcionamiento del módulo “Medidor de Peso (4)”

## Conclusiones

Teniendo en cuenta la influencia directa que vincula el cuidado medioambiental con el aumento de la eficiencia energética, en este caso particular la de motores eléctricos, resulta de gran importancia la mejora de los sistemas de ensayos que permiten su estimación. Dicho esto, con el presente trabajo se ha podido obtener un sistema para la medición de la potencia mecánica, con una mayor performance, respecto a la que se disponía originalmente. Esto ha sido posible mediante la implementación de programas de uso libre y con un bajo costo, tal como ofrece la firma Arduino. Las mejoras obtenidas, han sido la obtención de una mayor precisión, reducción de la duración y un mejor aprovechamiento de los tiempos de operación del ensayo.

El conocimiento de la eficiencia en motores, es un primer gran paso hacia una mejora en las prestaciones de los motores eléctricos y el cuidado del medioambiente.

Cabe mencionar que se deja abierta la posibilidad de realizar futuros trabajos, en los cuales sea posible el desarrollo de un sistema de adquisición de datos de las variables de energía eléctrica consumida por el motor, cuya magnitud es otra de las cuales repercute directamente en la correcta determinación del nivel de eficiencia.

## Referencias

- Amestica O. E., Melin P. E., Duran-Faudez C. R. y Lagos G. R. (2019) “An Experimental Comparison of Arduino IDE Compatible Platforms for Digital Control and Data Acquisition Applications”, 1.
- Cataldi Z. y Salgueiro F. (2007) “Software libre y código abierto en educación”, Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires, 4-10.
- Pachauri R. K. et al. (2014) “Cambio climático 2014, informe de síntesis”, IPCC, Grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático, 4-29.
- Secretaría de Energía (2020) “Balance Energético Nacional”. Min. Economía, Argentina. <<https://www.argentina.gob.ar/economia/energia/hidrocarburos/balances-energeticos>>.
- Tanides C. G. (2004) “Etiquetado en eficiencia energética y valores de consumo máximo”, Avances en Energía Renovables y Medio Ambiente, 8 (2), 20.



## Distribución radial de temperatura e índice de refracción del gas empleando la técnica schlieren en la columna positiva de una descarga glow en aire ambiente



## Radial distribution of temperature and refractive index of the gas using the schlieren technique in the positive column of a glow discharge in ambient air



**Ezequiel Cejas**

Grupo de Descargas Eléctricas, Depto. Ing. Electromecánica, Facultad Regional Venado Tuerto,  
Laprida 651, Venado Tuerto, Santa Fe.  
cejasezequiel87@gmail.com

Destacados por cantidad de "ME GUSTA" en las fechas del evento

**Juan Camilo Chamorro**

Grupo de Descargas Eléctricas, Depto. Ing. Electromecánica, Facultad Regional Venado Tuerto,  
Laprida 651, Venado Tuerto, Santa Fe.  
jcchamorro@utp.edu.co

**Resumen:** Se reportan resultados preliminares de la aplicación de la técnica schlieren en una descarga glow en aire ambiente empleando una configuración de electrodos tipo punta-plano con una separación de 1 mm y una corriente de descarga de 50 mA rms. El índice de refracción del plasma se determinó de acuerdo a un modelo térmico considerando partículas neutras ( $N_2$ ,  $O_2$ , N, O y NO). La técnica fue calibrada empleando una lente convergente de distancia focal larga. Los perfiles de contraste medidos fueron suavizados usando funciones interpolantes para disminuir los efectos de las fluctuaciones en el proceso de inversión de Abel. Se presentan los perfiles radiales de temperatura y del índice de refracción en la columna positiva de la descarga.

**Palabras claves:** plasma no-térmico, schlieren, modelo térmico, descarga glow

**Abstract:** Preliminary results of the application of the schlieren technique in a glow discharge in ambient air using a configuration of tip-flat type electrodes with a separation of 1 mm and a discharge current of 50 mA rms are reported. The refractive index of the plasma was determined according to a thermal model considering neutral particles ( $N_2$ ,  $O_2$ , N, O and NO). The technique was calibrated using a long focal length converging lens. The measured contrast profiles were smoothed using interpolating functions to decrease the effects of fluctuations in the Abel inversion process. The radial profiles of temperature and of the refractive index in the positive column of the discharge are presented.

**Keywords:** non-thermal plasma, schlieren, thermal model, glow discharge

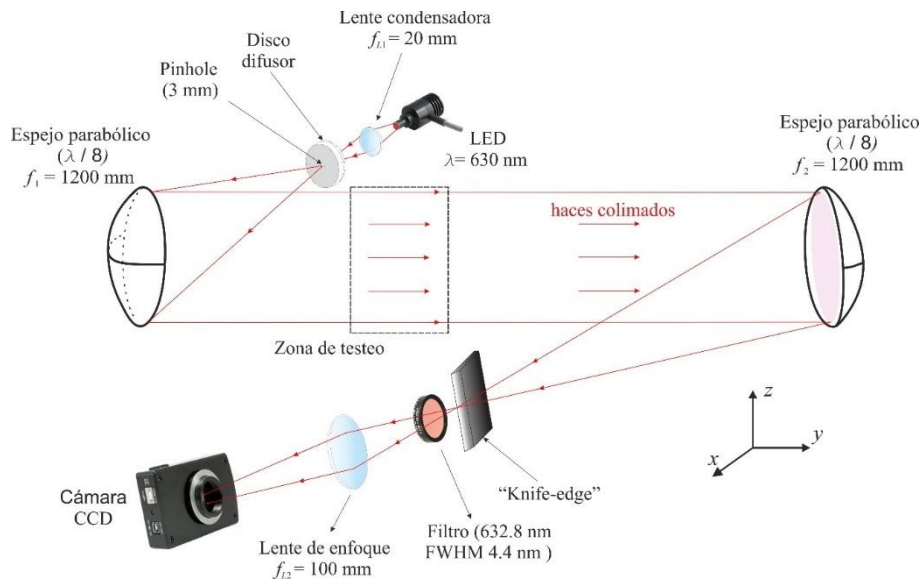
## 1. Introducción

Los plasmas no-térmicos (o plasmas fríos) generados por descargas eléctricas a presión atmosférica, como es el caso de las descargas tipo glow, presentan una alta densidad de electrones ( $10^{18} - 10^{19} \text{ m}^{-3}$ ) con temperaturas del gas relativamente bajas ( $\sim 1000-3000 \text{ K}$ ). Esta característica permite que en la actualidad este tipo de plasma resulte de especial interés por su amplia aplicación tecnológica en diversos campos como: esterilización y descontaminación, modificación de la propagación de ondas electromagnéticas y aplicaciones aerodinámicas (Adamovich et al, 2017).

De este modo, la determinación de la temperatura o composición del gas resulta importante no solo para aplicaciones del plasma, sino también para comprender los mecanismos químicos básicos del plasma. Los métodos ópticos resultan en una herramienta versátil para realizar mediciones cuantitativas no intrusivas en medios transparentes (Zhukov et al, 2000). Particularmente, Las técnicas refractivas (métodos basados en las desviaciones angulares de haces de luz que atraviesan una región caracterizada por inhomogeneidad del índice de refracción), como la técnica schlieren, permiten determinar la distribución de temperaturas del gas en objetos transparentes midiendo su índice de refracción (o sus derivadas espaciales). Generalmente, las inhomogeneidades se producen por variaciones de la densidad o temperatura (Settles, 2001; Vasilev, 1971).

Este trabajo reporta los resultados preliminares en la medición del perfil radial de temperatura de una descarga eléctrica tipo glow a presión atmosférica empleado una diagnóstica refractiva schlieren. El arreglo experimental empleado se describe en la sección 2. Los resultados y su discusión se presentan en la sección 3. La sección 4 resume las conclusiones de este trabajo.

## 2. Arreglo experimental



**Figura 1.** Esquema del arreglo schlieren tipo Z empleado.

En la Figura 1 se presenta un esquema de la diagnóstica schlieren tipo Z empleada. Un esquema similar al utilizado se describe en (Chamorro et al, 2018). En particular, el “knife-edge” se posicionó paralelo a la dirección  $z$  y bloqueando parte del spot luminoso en la dirección  $x$  ( $\sim 50\%$  de la intensidad en ausencia del “knife-edge”). Las fotografías schlieren ( $2048 \times 1088$  píxeles) se

adquirieron con una cámara digital Lumenera (Lt 225 M) con un tiempo de exposición de 100 ms, digitalizadas en escala de grises de 8 bits y almacenadas en formato BMP. De acuerdo a la ampliación del sistema óptico, la resolución espacial en la fotografía schlieren era de aproximadamente  $\sim 0,04$  mm (25 píxeles correspondían a 1 mm). La calibración del sistema se realizó empleando una lente con distancia focal de 10 m de acuerdo al procedimiento indicado en (Hargather et al, 2012; Chamorro et al, 2018), obteniendo una sensibilidad de  $S = 933 \pm 93$ .

Para la generación de la descarga glow a presión atmosférica se empleó una configuración de electrodos (fabricados en cobre) tipo punta-plano (para estabilizar espacialmente la descarga y minimizar los apartamientos de la simetría radial) alineados verticalmente, con una separación inter-electródica de 1 mm. La fuente de alimentación de CA era un transformador de alto voltaje (25 kV, 100 mA y 50 Hz) con una alta reactancia de dispersión ( $75 \pm 0.5$ ) k $\Omega$ , proporcionando una limitación de corriente intrínseca (no se requieren balastos externos). El primario del transformador se conectó a un autotransformador variable para controlar la corriente de descarga y el secundario se conectó a un rectificador semiconductor de onda completa para definir la polaridad de los electrodos. Un esquema eléctrico similar al empleado se presenta en (Prevosto et al, 2015). La corriente de la descarga se midió empleando una sonda de corriente Textronik A622 (100 kHz, 100 mA - 100 A AC/DC) determinado un valor rms de la corriente en la descarga de 50 mA.

### 3. Resultados y discusión

Para la determinación del índice de refracción del plasma se consideró un modelo térmico, debido al pequeño grado de ionización de la descarga, compuesto por diferentes especies neutras en aire puro: N, O, NO, O<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>. La densidad numérica de la especie dominante N<sub>2</sub>, se obtuvo de la conservación de la presión ( $p = 10^5$  Pa), mientras que la densidad del O<sub>2</sub> se determinó de acuerdo a la conservación de átomos (N<sub>2</sub>:O<sub>2</sub> = 4:1). Las restantes densidades se determinaron según (Benilov et al, 2003). En gases, el índice de refracción ( $n \approx 1$ ) puede estimarse según la relación de Gladstone-Dale bajo la aproximación de gas ideal (Settles, 2001; Vasilev, 1971):

$$n - 1 = \frac{T_r}{T} \sum_i x_i (n - 1)_{i,r}, \quad (1)$$

siendo  $(n - 1)_{i,r}$  la refractividad a la temperatura de referencia de la especie  $i$  y  $x_i$  su fracción molar;  $T_r$ , la temperatura de referencia ( $T_r = 290$  K) y  $T$ , la temperatura del gas. Por otro lado, el índice de refracción radial del gas puede determinarse analizando los perfiles de contrastes  $C$  (razón entre la diferencial de intensidad para un dado pixel de la imagen y la intensidad del fondo) de las fotografías Schlieren, considerando simetría cilíndrica y aplicando la técnica de inversión de Abel (Settles, 2001; Vasilev, 1971; Zhukov et al, 2000):

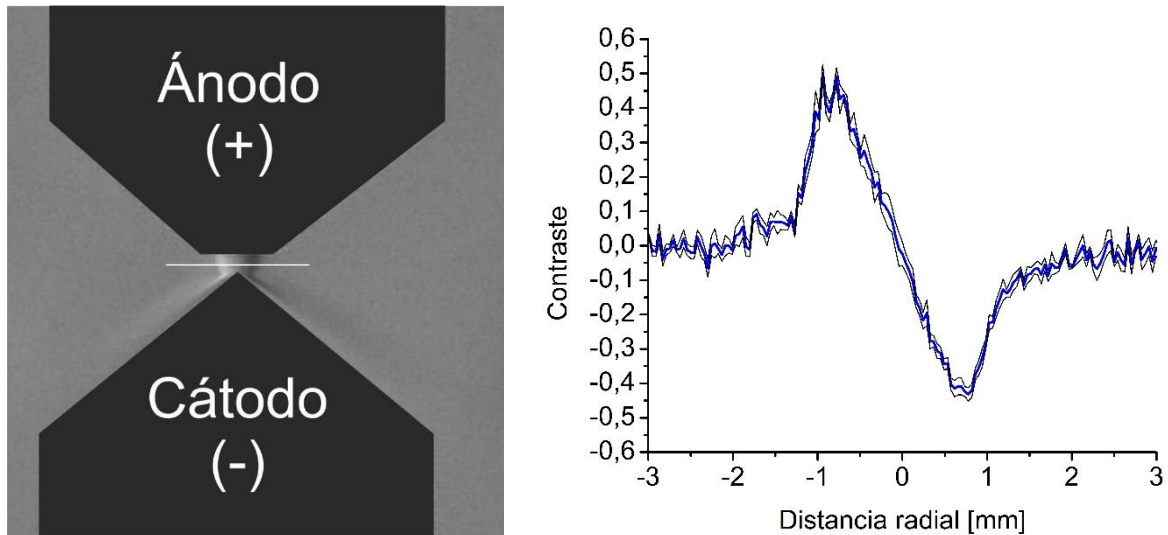
$$n(r) = n(\infty) - \frac{n(\infty)}{\pi S} \int_r^\infty \frac{C(x)}{\sqrt{x^2 - r^2}} dx, \quad (2)$$

determinándose la temperatura promediada en el tiempo del plasma según:

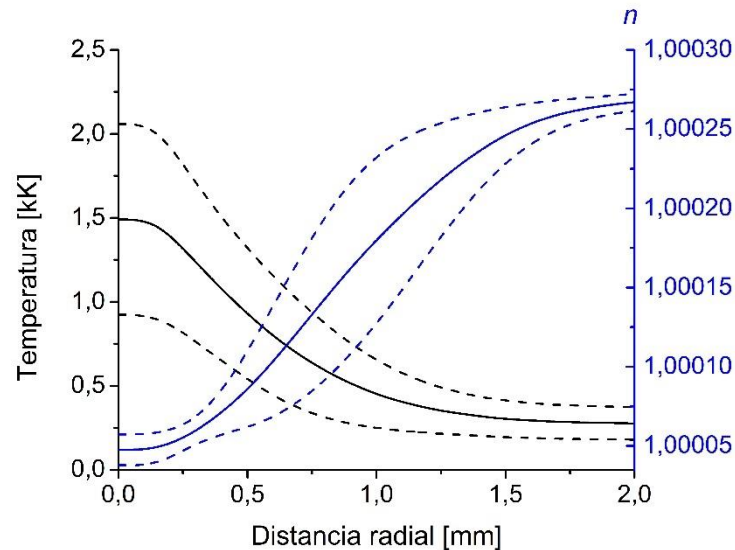
$$T(r) = \frac{T_r \sum_i x_i (n - 1)_{i,r}}{n(\infty) - 1 - \frac{n(\infty)}{\pi S} \int_r^\infty \frac{C(x)}{\sqrt{x^2 - r^2}} dx} \quad (3)$$

En la Figura 2, a la izquierda, se presenta el contraste de una imagen schlieren de la descarga glow, mientras que, a la derecha, el perfil radial de contraste promediado en el tiempo de 10 fotografías schlieren y su variación estándar a lo largo de la línea indicada (en el centro de la distancia inter-electródica). Antes de aplicar la técnica de inversión de Abel, el perfil fue suavizado (promedio móvil de 10) e interpolado con una función polinómica de orden superior (de orden 15)

para disminuir errores a un mínimo. Como se observa, el perfil de contraste presenta buena simetría.



**Figura 2.** A la izquierda, contraste de una fotografía schlieren y a la derecha, perfil de contraste promedio (trazo grueso azul) y su variación estándar (trazo fino) a lo largo de la línea indicada (línea blanca).



**Figura 3.** Distribución radial de temperatura (a la derecha) y del índice de refracción (a la izquierda). En trazo grueso los valores medios y en líneas de punto las variaciones estándar correspondientes.

La Figura 3 presenta los perfiles de la distribución radial de temperatura y del índice de refracción de la columna positiva de una descarga glow obtenidos mediante la técnica schlieren. Estos perfiles corresponden a valores de promedios temporales de oscilaciones a 100 Hz. La temperatura en el centro de la descarga alcanza un valor medio de  $\sim 1500$  K con una desviación estándar de  $\pm 570$  K (principalmente por errores asociados al procedimiento de inversión de Abel debido a asimetrías en los perfiles de contraste del plasma) obteniéndose temperaturas próximas a la del ambiente para radios mayores a 1.5 mm. Por otro lado, del perfil del índice de refracción pueden observarse una notable desviación de los haces de luz para el rango de temperatura medido. No se consideraron correcciones en los perfiles de acuerdo a la variación estándar debidas a la fluctuación de la descarga.

## 4. Conclusiones

1. El valor de temperatura inferido representa el promedio temporal de la temperatura de la columna positiva de una descarga glow oscilando a una frecuencia de 100 Hz, con un máximo en el centro de la descarga de 1500 K, con temperaturas próximas al ambiente para radios mayores de 1,5 mm.
2. El perfil radial del índice de refracción indica una notable desviación de los haces de luz para el rango de temperatura medido.

## Agradecimientos

Este trabajo fue realizado gracias al apoyo de la Universidad Tecnológica Nacional a través de los PID UTN 5418 y 5447. E. C. agradece al CONICET por su beca doctoral. J. C. C agradece al CONICET por su beca posdoctoral.

## Referencias

- Adamovich, I.; Baalrud, S.D.; Bogaerts, A.; Bruggeman, P.J.; Cappelli, M.; Colombo, V.; Czarnetzki, U.; Ebert, U.; Eden, J.G.; Favia, P.; et al. (2017). "The 2017 Plasma Roadmap: Low temperature plasma science and technology", *J. Phys. D Appl. Phys.*, **50**, 323001.
- M. F. Zhukov and A. A. Ovsyannikov (2000). *Plasma Diagnostics*. Cambridge, U.K.: Cambridge International Science.
- Settles G. S (2001) *Schlieren and shadowgraph techniques*. Springer, Berlin
- Vasilev L. A (1971) *Schlieren methods*. Keter Inc., New York
- L. Prevosto, H. Kelly, B. Mancinelli, J. C. Chamorro, E. Cejas (2015). "On the physical processes ruling an atmospheric pressure air glow discharge operating in an intermediate current regime", *Phys Plasmas* **22**, 023504
- Hargather, M. J., Settles, G. S. (2012). "A comparison of three quantitative schlieren techniques". *Opt Lasers Eng*, **50** (1), 8–17.
- Chamorro, J. C., Prevosto, L., Cejas, E., Kelly, H. (2018). "Quantitative Schlieren Diagnostic Applied to a Nitrogen Thermal Plasma Jet", *IEEE Trans. Plasma Sci.*, 1–10.
- M S Benilov, G V Naidis (2003). "Modelling of low-current discharges in atmospheric-pressure air taking account of non-equilibrium effects", *J. Phys. D: Appl. Phys.* **36** 1834.

# Comparación de métodos de costeo para la toma de decisiones de la rectificación de tapas de motor

## Costing methods comparison for decision making of cylinder cap remanufacture



Agustín Grieco, María del Milagro Reinares, Santiago Yori

GEMPRO, Lavaisse 610, Santa Fe, Facultad Regional Santa Fe, UTN

[agugrieco@gmail.com](mailto:agugrieco@gmail.com), [milireinares@hotmail.com](mailto:milireinares@hotmail.com), [santi\\_yori@hotmail.com.ar](mailto:santi_yori@hotmail.com.ar)

### Resumen

Actualmente, las empresas argentinas que brindan un servicio de rectificación de motores cuentan solo con una planilla de costos de mano de obra elaborada por la Federación Argentina de Cámaras de Rectificadores de Automotores (FACRA), siendo estos solo un 77% de los costos totales de la industria. El inconveniente se presenta al desconocerse cómo se actualiza dicha planilla, la cual solo tiene en cuenta las actividades que representan un 60% de los costos totales, dejando de lado los costos administrativos y logísticos. En respuesta a esta situación, se realiza un sistema de costeo basado en actividades (ABC), que incluye todos los procesos de una empresa rectificadora local, para utilizarlo como herramienta que brinde soporte a la toma de decisiones. En este informe se realiza una comparación entre los dos métodos de costeo, analizando los costos de ciertas actividades seleccionadas para diferentes tapas de cilindros.

**Palabras clave:** Costeo ABC, Rectificación, Toma de decisiones, Tapa de cilindros.

### Abstract

Nowadays, Argentinian companies that provide an internal combustion engine remanufacturing service only have one sheet of labour cost, provided by the Federación Argentina de Cámaras de Rectificadores de Automotores (FACRA), being only 77% of the total cost in the industry. The inconvenience is the lack of information about the sheet's actualization and the fact that it only includes the activities that represent 60% of the total cost, leaving out administration and logistics. In response to this situation, an activity-based costing (ABC) system has been made, that includes all activities done in the company, so it can be used as a decision-making tool. In this paper a comparison is made between both cost calculation methods, analysing the results from some selected activities for different cylinder caps.

**Keywords:** ABC Costs, Remanufacturing, Decision-Making, Cylinder Cap.

### 1. Introducción

El servicio de rectificación de motores tiene como objetivo aumentar la vida útil de los mismos. Busca restaurar las diferentes partes que se encuentran desgastadas, ya sea por un mal funcionamiento, o por el solo hecho del paso del tiempo (Barboza, 2009). En Argentina, las empresas rectificadoras de motores disponen de una lista orientadora de costos de Mano de Obra, la cual es realizada por la Federación Argentina de Cámaras de Rectificadores de Automotores (FACRA), quien representa a más de 500 rectificadoras en el país. Dicha lista es actualizada regularmente, teniendo en cuenta la inflación del período y los aumentos en los costos de mano de obra regidos por la Unión Obrera Metalúrgica (UOM) y por el Sindicato de Mecánicos y Afines del Transporte Automotor (SMATA).

Actualmente, las empresas englobadas dentro de este rubro no cuentan con otra herramienta de medición de costos más allá de la proporcionada por FACRA, la cual, si bien se actualiza periódicamente mediante la multiplicación de un factor en común para todas las listas

publicadas, se desconoce el método utilizado para elaborarlo, y estos valores no contemplan el sacrificio de todos los recursos empleados en el proceso productivo.

Es de vital importancia que las empresas encargadas de brindar este servicio cuenten con herramientas confiables y certeras que permitan identificar los recursos sacrificados en el proceso productivo y además logren detectar aquellas actividades que resultan más costosas. Esto posibilita tomar determinadas decisiones que permitan lograr una disminución de costos o una ventaja estratégica en el mercado (Montvale, 2014).

A partir de lo expuesto anteriormente, el objetivo del presente trabajo consiste en comparar los datos de las actividades que involucran el recurso de Mano de Obra brindados por FACRA con los obtenidos mediante la implementación de un sistema de costeo completo ABC, basado en fundamentos de la teoría general de costos (García, 2002). El mismo fue realizado por el grupo GEMPRO de la UTN FRSF (Grupo de Estudio para la Mejora de Procesos Organizacionales de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe) en una empresa representativa del rubro tomada como caso de estudio, ubicada en la ciudad de Santo Tomé.

## 2. Desarrollo

Para la realización del relevamiento de información en el desarrollo de esta investigación, se recurre a la búsqueda de datos sobre el cálculo de costos del servicio de rectificación proporcionados por FACRA y por el sistema de costeo desarrollado para la empresa ejemplo.

### 2.1 Datos del sistema de costeo en base a una rectificadora de la región

Haciendo uso de un sistema de costeo basado en actividades (ABC), se obtiene el costo de mano de obra correspondiente a cada una de las operaciones seleccionadas para realizar la comparación.

Con este fin, se listan todas las partes del proceso productivo referidas a la rectificación de tapas de motor y se categorizan en actividades. Asimismo, se detectan los recursos e insumos necesarios para el desarrollo de las actividades identificadas y sus respectivos costos. También se consideran costos operativos y de estructura.

Dichos recursos se asignan a las actividades identificadas previamente, conformando el costo por actividad. Luego, considerando las actividades realizadas en la rectificación de una tapa en particular, se procede a calcular su costo total mediante la suma de los costos de las actividades involucradas.

En la Tabla 1 se puede observar el costo total de rectificación para una tapa de motor de Renault F8Q y el detalle de algunas de las actividades que lo componen con sus respectivos costos.

Costo Renault F8Q	\$12,248.32
Costo revisado	\$ 12,248.32
<b>Actividad</b>	<b>Costo por actividad segun la planilla</b>
Presupuestar y avisar al cliente	\$206.72
Alesar alojamiento de levas	\$5,356.53
Buscar partes/llevar partes	\$635.00
Controlar planillas	\$263.35
Controlar roscas y esparragos	\$154.93
Corregir roscas	\$0.00
Encasquillar asientos de válvula	\$1,160.10
Rectificar asientos de tapa válvula	\$403.38
Rectificar válvula	\$120.40

Tabla 1. Detalle de costos para una tapa de motor de Renault F8Q. Fuente: Elaboración propia.

A fines de realizar un análisis que permita comparar los costos obtenidos por el sistema con los costos proporcionados por FACRA, se tiene en cuenta solo el costo de mano de obra, por lo cual se necesita determinar el porcentaje que ocupa en las actividades.

Luego, para obtener dicho porcentaje, se recurre a los datos mensuales expresados en el sistema de costos y se calcula con la ecuación (1):

$$\% \text{Mano de Obra Involucrada en la actividad} = \frac{\text{Costo Mensual de Mano de Obra}}{\text{Costo mensual total de la actividad}} \cdot 100 \quad (1)$$

Una vez obtenido, se calcula el costo de mano de obra por actividad para la tapa específica seleccionada, mediante la multiplicación del costo por actividad, brindado por el sistema, y el porcentaje obtenido en la fórmula de cálculo.

## 2.2 Distribución de costos por rubro en la empresa ejemplo

A continuación, en la Figura 1 se observa la influencia de cada rubro de costo teniendo en cuenta todas las actividades del sistema desarrollado.

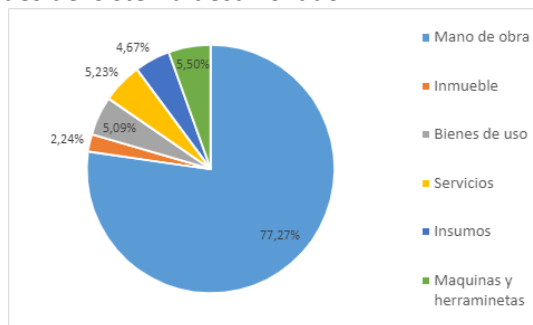


Figura 1: Estructura de costos en la Rectificadora ejemplo. Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico de la figura (1) podemos observar que, teniendo en cuenta el total de las actividades, el costo de mano de obra se destaca por ser el de mayor porcentaje, representando un 77%. A diferencia de FACRA, el sistema de costeo contempla todos los costos mencionados, incluyendo no solo los costos productivos, sino también costos administrativos y de logística que comprenden un 40% del costo total.

## 2.3 Datos de costos brindados por FACRA (Cámara de Rectificadoras)

La cámara de rectificadoras presenta en su página web una lista Orientadora de Costos de Mano de Obra que detalla el costo según el tipo de motor o tapa de motor y la actividad a contemplar.

En la Figura 2, se puede observar una parte de la planilla proporcionada por FACRA con la nomenclatura de los motores y tapas a los cuales se les asigna un número específico de lista de costos de mano de obra.

INDICE	MOTORES	Lista orientadora de MANO DE OBRA
TR-18 D	TAPA CIL.RENAULT R18-TRAFIC 2068 DIESEL*4CIL*86mm(J8S)	3
TR-19 1.7	TAPA CIL.RENAULT R19 1700 NAF.*4CIL*81mm(F2N)	2
TR-19EXPRES	TAPA CIL.RENAULT R19-EXPRES-KANGOO-CLIO DIESEL*4CIL*80mm(F8Q)	3
TR-R6 1.1	TAPA CIL.RENAULT R6 1100 NAF.*4CIL*68mm	1

Figura 2: Nomenclador FACRA por Motores. Fuente: <http://www.facra.org.ar/>

Con dicho número de lista es posible ingresar a la planilla que se observa en la Figura 3, la cual consiste en un cuadro de doble entrada, donde las filas presentan las actividades y en las columnas se observa un número (entre 1 y 12) el cual, como se menciona anteriormente, permite identificar cada tipo de motor o tapa de cilindro.

ITEMS	LISTADO DE SERVICIOS	LISTA ORIENTADORA DE MANO DE OBRA												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
501	Alesar alojamiento p/adaptar arbol de levas s/medida	1495,73	1647,13	1723,35	1985,92	2186,60	2403,03	2641,52	3027,05	3337,04	3674,70	4216,53	4643,02	5116,44
600	Rectificar valvulas	146,49	170,50	170,50	201,15	217,16	237,98	275,43	309,72	343,30	376,23	427,57	467,79	519,42
610	Rectificar asientos de valvulas	444,30	500,29	514,70	598,14	656,05	730,71	788,57	913,32	986,02	1101,30	1264,87	1397,24	1524,31
630	Encasquillar asientos de valvulas sin rectificar	1232,58	1349,21	1414,87	1624,89	1805,36	1968,91	2175,55	2501,44	2767,17	3037,98	3487,73	3823,93	4216,53
650	Entubar guias de valvulas	262,56	282,97	298,23	344,34	370,96	417,32	465,62	536,75	586,79	646,32	727,53	809,44	889,20

Figura 3: Planilla doble entrada lista de Mano de Obra FACRA. Fuente: <http://www.facra.org.ar/>

Es necesario aclarar que en dicha página web se presenta un manual de operaciones, el cual define una serie de actividades orientadas a la reconstrucción de motores de combustión interna incluyendo en algunos casos una breve descripción de estas.



## 2.4 Actividades y tapas a comparar

Para la comparación se seleccionan 5 actividades, las cuales se presentan y describen brevemente a continuación:

- **Entubar guías de válvula:** Consiste en colocar manualmente un tubo de bronce en la guía de válvula.
- **Encasquillar asientos de válvula:** Consiste en colocar el asiento de válvula mediante martillo luego de haberlo enfriado con nitrógeno líquido.
- **Rectificar válvula:** Consiste en la rectificación del ángulo de la cabeza de válvula.
- **Rectificar asientos de válvula:** En esta actividad, mediante el uso de fresas abrasivas, se busca sacar el material del asiento de válvula hasta que la superficie de éste quede absolutamente lisa para así lograr un buen acoplamiento de la válvula.
- **Alesar alojamiento de árbol de levas:** Consiste en realizar un reacondicionamiento de los alojamientos del árbol de levas mediante la utilización de una alesadora de bancada de árbol de levas.

Estas actividades son seleccionadas tomando como criterio que las mismas aparecen en el listado proporcionado por FACRA y que se consideran en el sistema de costos desarrollado. A su vez, estas son actividades que responden a variaciones en las dimensiones y características de los motores.

Para realizar una comparación, en cuanto a la variabilidad que se presenta sobre el recurso mano de obra, se procede a observar la diferencia entre los valores de dicha variable que arrojan los datos aportados por FACRA en sus listas por un lado y los obtenidos a partir de la aplicación del sistema de costeo por otro. Se plantea esta comparación para 3 tapas de cilindros de diferentes motores, como se aprecia en la Tabla 2.

Tapa de Motor	Chevrolet Corsa 1600	Renault F8Q	IKA Tornado 4BDAS
Cilindrada	1.6	1.9	3.8
Combustible	Nafta	Diesel	Nafta
Cantidad de Válvulas	8	8	12
Cantidad de Cilindros	4	4	6
¿Tiene guía?	Con Guía	Con Guía	Con Guía
Material de la tapa	Aluminio	Aluminio	Fundición
¿Tiene Árbol?	Con Árbol	Con Árbol	Con Árbol
Nº Lista FACRA	2	3	1

Tabla 2: Características de las tapas a analizar. Fuente: Elaboración propia

Estas tapas de motor son seleccionadas específicamente ya que permiten comparar y visualizar la variación del costo según el modelo que se utilice (FACRA o Sistema de Costos) para tapas similares (Chevrolet-Renault) como también para tapas muy diferentes (IKA Tornado) para evaluar consistencia, es decir, como varían los resultados para un mismo ingreso de datos en función del modelo utilizado.

## 2.5 Comparación de resultados

En la Tabla 3 se presentan los costos obtenidos tanto por las respectivas listas de FACRA como por el sistema de costeo mencionado anteriormente para cada una de las actividades seleccionadas y para cada tapa de motor elegida. Asimismo, se detalla el porcentaje de mano de obra, utilizando la ecuación (1), que representa la influencia de dicho concepto dentro de los costos por actividad en la rectificadora ejemplo.

	Porcentaje del costo proveniente de la M.O.	Chevrolet Corsa		Renault F8Q		IKA Tornado	
		FACRA	Sistema de costeo	FACRA	Sistema de costeo	FACRA	Sistema de costeo
Entubar guías de válvula	37.61%	\$ 282,97	\$ 229,98	\$ 298,23	\$ 229,98	\$ 262,56	\$ 344,97
Encasquillar asientos de válvula	23.63%	\$ 1.349,21	\$ 336,58	\$ 1.414,87	\$ 336,58	\$ 1.232,58	\$ 504,87
Rectificar válvula	77.93%	\$ 170,50	\$ 115,22	\$ 170,50	\$ 115,22	\$ 146,49	\$ 172,83
Rectificar asientos de válvula	83.74%	\$ 500,29	\$ 414,79	\$ 514,70	\$ 414,79	\$ 444,30	\$ 622,19
Alesar alojamiento de árbol de levas	6.21%	\$ 1.647,13	\$ 413,69	\$ 1.723,35	\$ 413,69	\$ 1.495,73	\$ 620,53

Tabla 3: Comparación de valores y porcentajes del costo de Mano de Obra. Fuente: Elaboración propia

A partir del análisis del cuadro anterior es posible observar:

- En las dos primeras tapas (Chevrolet Corsa y Renault F8Q) los costos obtenidos del sistema de costeo son menores que los proporcionados por FACRA. Esta diferencia se hace mayor para actividades donde la mano de obra tiene una menor influencia en los costos.
- En la tapa del motor IKA Tornado, los costos de sus respectivas actividades de rectificación, según FACRA, son menores en comparación con los costos de las restantes tapas de motor, siendo esta tapa de mayor tamaño teniendo en cuenta la cilindrada, cantidad de válvulas y de cilindros. También se puede observar que, para esta tapa de motor, el sistema de costeo ofrece valores de costos superiores que, en la mayoría de las actividades, sobrepasa a los de FACRA.
- La mano de obra en las actividades “Alesar alojamiento de árbol de levas” y “Encasquillar asientos de válvula” tiene un bajo porcentaje de influencia en el costo, sin embargo, FACRA asigna montos elevados a dichas actividades, casi un 400% más que los costos obtenidos por el sistema de costeo. Cabe recalcar, que ambas actividades se realizan excepcionalmente y representan un costo total alto para aquellas tapas sobre las que se realizan, con lo que se diferencian del resto de actividades.

### 3. Conclusiones

A partir de la comparación realizada entre las dos primeras tapas (Chevrolet Corsa y Renault F8Q) se observa consistencia entre ambos costeos, además de que los valores de ambos son relativamente cercanos, con excepción a los casos donde la incidencia de la mano de obra es baja (se puede suponer que para dichas actividades la federación aumenta los valores para compensar la falta de representatividad de mano de obra y su baja frecuencia, puesto que se desconocen los criterios utilizados para el costeo). Sin embargo, no ocurre lo mismo al analizar el modelo IKA Tornado, donde al tratarse de un motor de mayores dimensiones que los anteriores, FACRA asigna costos menores, cuando lo lógico sería lo contrario.

En base a lo expuesto a partir de los datos proporcionados por la Rectificadora de la región, se puede establecer que la mano de obra representa aproximadamente un 77% de los costos totales, y que una cantidad significativa de las actividades no tiene más de un 50% de sus costos en mano de obra. Asimismo, la Federación no considera costos de administración ni logística, siendo éstos un 40% del total. Teniendo en cuenta estos resultados, las listas que propone FACRA resultarían en principio incompletas e inconsistentes para la medición de costos además de ser insuficientes para la toma real de decisiones. Desde un punto de vista teórico, se podría establecer que la metodología utilizada por FACRA para obtener sus costos no responde a ningún modelo de costeo particular, incluso ni siquiera se podría considerar como un modelo híbrido que combine los existentes en la teoría general de costos.

Al utilizar un sistema de costeo completo ABC se obtiene información precisa de cada una de las actividades, tanto de las productivas como administrativas, debido a que reparte los costos de todos los recursos entre ellas, proporcionalmente según su consumo. Es por ello que el sistema resulta ser una herramienta apta para la toma de decisiones tanto comerciales como productivas para la empresa.

### Referencias

- Barboza, H. D. (2009). Sistema de gestión de bases de datos para determinar los costos y el grado de reparación requerido en la rectificación de los motores de combustión interna. Caracas.
- García, L (2002). “El significado del costo. XXV Congreso Argentino de Profesores Universitarios de Costos”. XXV Congreso Argentino de Profesores Universitarios de Costos. Buenos Aires.
- The Association of Accountants and Financial Professionals in Business (IMA). (2014). Conceptual Framework for Managerial Costing. (IMA, Ed.). Montvale, N.J.
- <https://www.imanet.org/-/media/df27d1327c4b4f9dbc0b5a43537bcc7f.ashx>

## DISEÑO DE CADENAS DE SUMINISTRO DE LAZO CERRADO PARA LA INDUSTRIA DE ALFOMBRAS

### CLOSED LOOP SUPPLY CHAIN DESIGN FOR THE CARPET INDUSTRY

**María Agustina Franco, Gonzalo De Salazar**

UTN-Facultad Regional Santa Fe, Lavaisse 610, 3000 Santa Fe, Argentina  
magustinafranco@outlook.com, gonzads.08@gmail.com

**Resumen.** Este artículo aborda el problema de diseño y planificación de cadenas de suministro de lazo cerrado (CLSC: Closed Loop Supply Chain) de la industria de alfombras por medio de un modelo de programación mixta entera lineal (MILP: Mixed-Integer Linear Programming). El propósito del trabajo es determinar la estructura óptima de la red, los productos y las cantidades a fabricar, transportar, almacenar y reciclar, garantizando la demanda de los clientes. La función objetivo del modelo es maximizar el beneficio total del ciclo de vida del producto. Se presenta un ejemplo de un caso industrial en el cual se proponen distintos escenarios con diferentes valores de la tasa de recuperación de materias primas al final de la vida útil de las alfombras. En los resultados obtenidos puede observarse cómo esta tasa impacta en la estructura de la red, los ingresos, costos y flujos de productos.

**Palabras clave:** reciclaje de alfombras, diseño y planificación de la cadena de suministro, ciclo de vida, programación matemática.

**Abstract.** This article addresses the design and planning of closed loop supply chains (CLSC) of the carpet industry using a mixed-integer linear programming model (MILP). The purpose of the work is to determine the optimal structure of the network, the products and the quantities to be manufactured, transported, stored and recycled, guaranteeing customer demand. The model objective function is to maximize the total product life cycle profit. An example of an industrial setting is presented in which different scenarios are proposed considering different values for the raw material recovery rate at the end of the carpet's useful life. Taking into account the results obtained, it can be seen how this rate impacts on the structure of the network, revenues, costs and product flows.

**Keywords:** carpet recycling, supply chain design and planning, life cycle, mathematical programming.

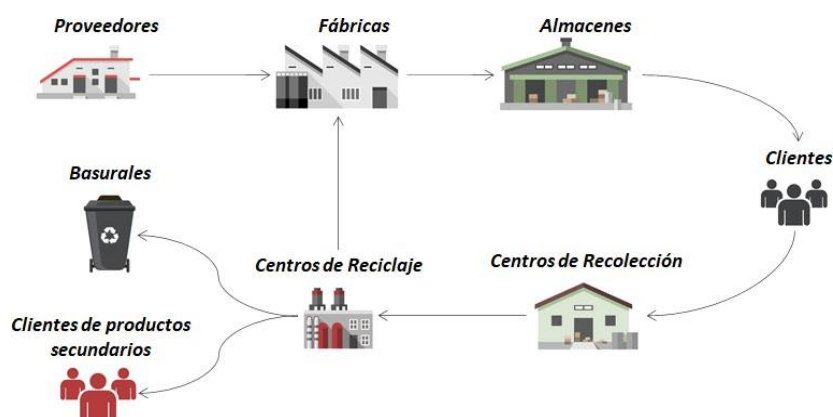
### Introducción

Este artículo aborda el problema de diseño y planificación de una cadena de suministro de lazo cerrado de la industria de alfombras, con el fin de incorporar los procesos de reciclaje al final de la vida útil del producto. Para ello es necesario establecer la ubicación de las distintas entidades de la red, tanto de la cadena directa como la inversa, los procesos de reciclaje que se utilizarán en cada centro de recuperación de materiales, la estimación de las cantidades necesarias de materias primas y niveles de producción, almacenamiento, transporte, recuperación y reciclaje. La cadena de suministro resultante no sólo deberá tener en cuenta la demanda, sino también la obtención del mayor rendimiento económico posible. En este trabajo se propone una formulación matemática MILP cuya función objetivo es la maximización del beneficio total de la red.

## Desarrollo

La fabricación de alfombras implica la unión de varias capas de diferentes materiales (polímeros y rellenos inorgánicos) que son difíciles y costosos de reprocesar una vez desechados (Realff y col., 2005). La composición general de una alfombra típica incluye las siguientes capas: fibra frontal (primera capa), respaldo primario (segunda capa), adhesivo (tercera capa) y respaldo secundario (cuarta capa) (Jain y col., 2012). La primera capa puede ser de nylon, polipropileno, poliéster, tereftalato de polietileno, sintéticos mixtos o fibras naturales como la lana (Bird, 2014; Jain y col., 2012; Miraftab y col., 1999). En este caso, se considera la fabricación y reciclaje de alfombras de Nylon 6 (Ny6) y Nylon 6.6 (Ny66) ya que para estos productos existen técnicas de recuperación de materiales rentables.

En la Figura 1 se muestra la estructura típica de una cadena de suministro para la producción y reciclaje de alfombras. La CLSC está compuesta por proveedores de materias primas ( $I^s$ ), fábricas ( $I^f$ ), almacenes ( $I^w$ ), clientes ( $I^c$ ), centros de recolección ( $I^{cl}$ ), centros de reciclaje ( $I^{rp}$ ) y las ubicaciones para depositar los residuos finales ( $I^{fd}$ ).



**Figura 1. Representación esquemática típica de una CLSC de la industria de las alfombras.**

Una vez que el producto es desechado por los clientes al final de su vida útil, éstos son recogidos y transportados a los centros de recolección, con una determinada tasa de devolución. Luego, se dirigen a los centros de reciclaje con el fin de recuperar la materia prima por medio de un proceso denominado despolimerización, que consiste en la conversión del nylon contenido en las alfombras en unidades de monómero. Se consideran dos procesos alternativos para abordar el reciclaje. El primero involucra la despolimerización del Nylon 6 a Caprolactam. En este caso, las alfombras recuperadas deberán clasificarse para individualizar y luego procesar únicamente las de Nylon 6. Al finalizar este proceso de reciclaje se obtendrán 1) Caprolactam, que se utilizará como materia prima para la fabricación de nuevas alfombras, 2) mejorador de suelo, que será destinado a clientes de productos secundarios, y 3) residuos, que se desecharán en los vertederos locales. El otro proceso implica la despolimerización tanto del Nylon 6 como del Nylon 6,6 a Hexamethylene Diamine (HMD). El HMD será destinado a las fábricas para la producción de alfombras. Como resultados secundarios de este proceso de reciclaje se obtienen 1) mejorador de suelo, 2) relleno de muebles y 3) residuos que serán dirigidos a clientes de productos secundarios y vertederos locales. En la Figura 2 se muestran los materiales de entrada y salida para cada tipo de proceso de reciclaje.

El modelo matemático desarrollado tiene la siguiente estructura:

Maximizar: Beneficio neto (ingresos – costos fijos y operativos);

Sujeto a: Balances de flujo de productos entre sitios de la red directa;  
Balances de flujo entre sitios de la red inversa;  
Restricciones de capacidad;  
Restricciones lógicas.



Figura 2. Representación esquemática de ambos procesos de recuperación.

Por motivos de limitaciones de espacio, solo se describen las principales ecuaciones asociadas a la función objetivo y los balances de materiales. Las restricciones asociadas a costos, capacidad, y lógicas se pueden encontrar en otros trabajos que abordan problemas similares (por ejemplo, Salema y col., 2010).

La función objetivo del modelo matemático (Ecuación 1) es maximizar el beneficio total del ciclo de vida de los productos. La utilidad de la red (NetProfit) es la suma de todos los ingresos por la venta de alfombras (SRC). COEPR es el costo de apertura de centros de reciclaje en la red considerando una cierta capacidad de procesamiento. CP representa el costo de instalar un determinado tipo de proceso en los centros de reciclaje. CSr y CG son los costos de clasificación y molienda de alfombras recuperadas en los centros de reciclaje, respectivamente. CRM es el costo por la compra de materias primas (Cp, HMD y los materiales adicionales para la producción de alfombras). CS denota los costos de envío de materiales entre cada par de entidades vinculadas. CFST y CST representan los costos fijos y variables asociados al almacenamiento de productos en las entidades de la red. CW es el costo de desechar productos en los vertederos locales. COE denota el costo de apertura de las distintas entidades en la red, excluyendo los centros de reciclaje. CCL indica el costo de recolección en función de la cantidad de producto trasladado desde los clientes hasta los centros de recolección.

$$NetProfit = SRC - COEPR - CP - CSr - CG - CRM - CS - CFST - CST - CW - COE - CCL \quad (1)$$

Las restricciones (2) y (3) son las ecuaciones de balance de productos para la red directa, considerando el flujo de productos devueltos por las entidades de la red inversa directamente vinculadas a la red directa. La variable  $H_{ij't}$  representa el flujo de productos  $j$  que va desde la entidad  $i$  a la  $i'$  en el período de tiempo  $t$ . La variable  $S_{ijt}$  representa el nivel de almacenamiento de productos  $j$  en la entidad  $i$  en el período de tiempo  $t$ . Las variables  $H_{ij'(t-1)}$  y  $S_{ij'(t-1)}$  representan el flujo de productos y el nivel de almacenamiento en un período de tiempo anterior ( $t-1$ ). La relación entre los productos  $j$  que entran a una determinada entidad y los productos  $j'$  que salen de la entidad se consideran en el conjunto  $PP$  y el parámetro  $rbp_{jj'}$ .  $PE^{fn}$  es el conjunto de pares de entidades  $i$  e  $i'$  de la red directa.  $PE^{rf}$  es el conjunto de pares de entidades  $i$  e  $i'$  que relacionan la cadena inversa con la directa.  $IJ$  es el conjunto de pares de entidades  $i$  y productos  $j$  permitidos.  $I^n$  es el conjunto de posibles entidades de la red directa.

$$rbp_{jj'} \sum_{i':(i,i') \in PE^{fn}} H_{i'ij't} = \sum_{i':(i,i') \in PE^{fn}} H_{ii'j't} + S_{ij't} \quad (2)$$

$$\forall (j, j') \in PP, \forall (i, j) \in IJ, \forall i \in I^n, \forall t \in T \setminus \{t_1\}$$

$$rbp_{jj'} \sum_{i':(i,i') \in PE^{fn}} H_{i'ij't} + rbp_{jj'} \sum_{i':(i,i') \in PE^{rf}} H_{i'ij'(t-1)} = \sum_{i':(i,i') \in PE^{fn}} H_{ii'j't} + S_{ij't} - S_{ij'(t-1)} \quad (3)$$

$$\forall (j, j') \in PP, \forall (i, j) \in IJ, \forall i \in I^n, \forall t \in T \setminus \{t_1\}$$

De manera similar, las restricciones (4) y (5) determinan las ecuaciones de balance de productos en los almacenes y centros de recolección, respectivamente. Estas ecuaciones tienen en cuenta no solo el flujo de ingreso y egreso ( $H_{i'jt}$ ) de productos de la entidad sino también el nivel de almacenamiento en cada período de tiempo ( $S_{ijt}$ ).

$$\sum_{i'} H_{i'ijt} = \sum_{i''} H_{ii''jt} + S_{ijt} \quad \forall i, j, t \in T/\{t_1\} \quad (4)$$

$$\sum_{i'} H_{i'ijt} = \sum_{i''} H_{ii''jt} + S_{ijt} - S_{ij(t-1)} \quad \forall i, j, t \in T \setminus \{t_1\} \quad (5)$$

La restricción (6) fuerza la tasa de recuperación de los productos al final de su vida útil. El parámetro  $rr_j$  es la tasa de recuperación de las alfombras usadas.  $I^{cl}$  es el conjunto de posibles centros de recolección.  $J^f$  es el conjunto de productos finales que fluyen por la red.

$$rr_j \sum_{i \in I^w} H_{i'ijt} = \sum_{i' \in I^{cl}} H_{ii'jt} \quad \forall j \in J^f, \forall i \in I^c, \forall t \in T \quad (6)$$

Las restricciones (7) a (9) son ecuaciones de balance parcial para productos y procesos en los centros de reciclaje. Dado que la proporción y el tipo de materiales recuperados dependen del proceso de reciclado, las restricciones (7) a (9) obligan al flujo de materiales recuperados a estar en concordancia con el proceso realizado. El parámetro  $rrm_{pjj'}$  es el porcentaje de material  $j$  recuperado del material  $j'$  según el proceso de reciclaje  $p$ . La variable  $HS_{ijt}$  determina el flujo de salida de los centros de recuperación  $i$  de los materiales  $j$  que no pueden ser utilizados como materias primas para la fabricación de nuevas alfombras en el período de tiempo  $t$ . La variable  $yrpp_{ip}$  tiene valor 1 si el proceso  $p$  se lleva a cabo en el centro de recuperación  $i$ . Los conjuntos  $J^m$  y  $J^{sp}$  corresponden al conjunto de materias prima y materiales recuperados que no pueden utilizarse como materias primas para la fabricación de nuevas alfombras, respectivamente.  $PR$  es el conjunto de posibles procesos para los centros de recuperación.

$$HS_{ijt} + \sum_{i' \in I^f} H_{ii'jt} + S_{ijt} \leq \sum_{i' \in I^{cl}, j \in J^f} rrm_{pjj'} H_{i'ijt} + BM (1 - yrpp_{ip}) \quad (7)$$

$\forall j \in (J^{rm} \cup J^{sp}), \forall i \in I^{rp}, \forall p \in PR, \forall t \in T/\{t_1\}$

$$HS_{ijt} + \sum_{i' \in I^f} H_{ii'jt} + S_{ijt} - S_{ij(t-1)} \leq \sum_{i' \in I^{cl}, j \in J^f} rrm_{pjj'} H_{i'ijt} + BM (1 - yrpp_{ip}) \quad (8)$$

$\forall j \in (J^{rm} \cup J^{sp}), \forall i \in I^{rp}, \forall p \in PR, \forall t \in T \setminus \{t_1\}$

$$HS_{ijt} \leq \sum_{i' \in I^{cl}, j \in J^f} rrm_{pjj'} H_{i'ijt} + BM (1 - yrpp_{ip}) \quad (9)$$

$\forall j \in J^{sp}, \forall i \in I^{rp}, \forall p \in PR, \forall t \in T$

Para evaluar la utilidad del modelo propuesto, se tomó como referencia, y luego se modificó para ilustrar la aplicación de la formulación desarrollada, un sistema de producción inversa de alfombras introducido por Realff y col. (2004). Con el objeto de generar importante conocimiento útil sobre el problema industrial abordado, se analizaron varias instancias del mismo utilizando distintas tasas de recuperación de los productos al final de su vida útil. La superestructura de la red considerada está compuesta por 8 proveedores, 7 fábricas, 16 almacenes, 30 clientes, 13 centros de recolección, 5 centros de reciclaje y 5 lugares para depositar los residuos. Se considera un horizonte de planificación de 15 años dividido en 3 períodos de 5 años.

El modelo propuesto se codificó en el software de optimización GAMS (versión 34) y todos los cálculos se ejecutaron con CPLEX 20.1, en una computadora personal con procesador Intel Core i7 de 3.60 GHz y 16 GB de memoria RAM, para una tolerancia de optimalidad de 0.1%. Para los casos de estudio resueltos, el modelo contiene 32902 restricciones, 7883 variables continuas y 141 variables binarias. Los tiempos de solución oscilaron entre 150 y 1430 s. de tiempo de CPU.

## Conclusiones

El enfoque propuesto permite una mejor comprensión del comportamiento de la red considerando el ciclo de vida completo de las alfombras y las diferentes opciones para recuperar las materias primas. A continuación se destacan algunas conclusiones sacadas del análisis de los resultados obtenidos resolviendo diferentes escenarios:

- A medida que la tasa de productos recuperados aumenta, el beneficio económico disminuye.
- Desde el punto de vista medioambiental, se pudo determinar el punto de trabajo de la red donde, al considerar una disminución poco significativa de la cantidad de productos finales entregados a los clientes, se puede lograr una importante disminución en el uso de materias primas nuevas debido al reciclado.
- Teniendo en cuenta la estructura de la cadena de suministro, se puede observar que al aumentar la tasa de recuperación, la cantidad de entidades de la red va gradualmente disminuyendo, en particular el número de clientes considerados.
- Para preservar la competitividad de la actividad desarrollada, considerando mayores presiones ambientales, se deben buscar alternativas para mejorar la eficiencia económica y ambiental de la recuperación de materias primas. Una alternativa clave en este sentido es mejorar los diseños de las alfombras para facilitar el reciclaje y así obtener importantes ahorros en el consumo de nuevas materias primas, energía y reducciones importantes en las emisiones de gases de efecto invernadero.

## Listado Bibliográfico

- Bird L. (2014). "Carpet recycling UK conference". Available: [http://www.carpetrecyclinguk.com/downloads/27\\_percent\\_landfil\\_diversion\\_how\\_the\\_UK\\_eceedd\\_its\\_targets\\_two\\_years\\_early\\_Laurance\\_Bird\\_and\\_Jane\\_Gardner\\_Carpet\\_Recyclig\\_UK.pdf](http://www.carpetrecyclinguk.com/downloads/27_percent_landfil_diversion_how_the_UK_eceedd_its_targets_two_years_early_Laurance_Bird_and_Jane_Gardner_Carpet_Recyclig_UK.pdf).
- Jain A, Pandey G, Singh AK, Rajagopalan V, Vaidyanathan R, (2012). Singh RP. "Fabrication of structural composites from waste carpet", *Adv Polym Technol.* 31, 380-389.
- Miraftab M, Horrocks R, Woods C. (1999). "Carpet waste, an expensive luxury we must do without!", *Autex Res J.* 1, 1-7.
- Realff M., Jane, C. Ammons, D.J. (2004). "Robust reverse production system design for carpet recycling", *IIE Transactions* 36(8), 767-776.
- Realff M., Lemieux, P., Lucero, S., Mulholland, J., Smith, P.B. (2005). "Characterization of transient puff emissions from the burning of carpet waste charges in a rotary kiln combustor", In: Presented at the IEEE 47th cement industry technical conference.
- Salema, M.I., Barbosa-Povoa, A.P., Novais, A., (2010). "Simultaneous design and planning of supply chains with reverse flows: A generic modelling framework", *European Journal of Operational Research*, 203(2), 336-349.

## Agradecimientos

Los autores agradecen al Dr. Luis J. Zeballos y al Dr. Pablo A. Marchetti por su participación como directores del trabajo. Por otra parte, se agradece el financiamiento de la "Universidad Tecnológica Nacional-SCTyP" en el marco del PID SIUTIFE0007768TC, y de la "Universidad Nacional del Litoral" mediante el proyecto CAI+D 2020- 506 201901 00101.