

# Cámpsaikos

No. 24 | pp. 1-102 | julio-diciembre | 2020 | Medellín - Colombia

## Presentación

Presentation

*Ingrid-Durley Torres Pardo*

## Editorial

**Sobre El Análisis De Información En La Actual Revolución Tecnológica**

**On the analysis of information in the current technological revolution**

*Henry O. Sarmiento M.*

## Artículos de investigación

Research papers

**Analysis of bolted ultra-high performance concrete joints**

**Análisis de conexiones con pernos en hormigones de ultra-alto desempeño**

*Cesar Echavarría, Hernán Cañola, Wilmar Echeverri*

**Carta de control bayesiana asociada a no conformidades en las historias clínicas**

**Bayesian control letter associated with non-conformities in medical records**

*Carlos Alberto Hurtado Castaño, Stiven Villada-Gil, Juan Carlos Correa Morales*

**Análisis numérico del flujo sobrexandido en la tobera cónica experimental ULA-2 fuera de diseño**

**Numerical analysis of over-expanded flow in the experimental ULA-2 conical nozzle out of design**

*San Luis B. Tolentino Masgo, Jorge Luis Mírez Tarrillo*

**Análisis de zonas de cultivo y cuerpos de agua mediante el cálculo de índices radiométricos con imágenes Sentinel-2**

**Analysis of growing areas and bodies of water by calculating radiometric indices with Sentinel-2 images**

*Fernando Pech-May, Julio Víctor Sánchez Hernández, Honorio Guadalupe Sánchez Jacinto, Jorge Magaña Govea*

**Evaluación de las propiedades mecánicas de ladrillos elaborados con residuos de vidrio y plástico. Análisis de las emisiones de dióxido de carbono**

**Evaluation of the mechanical properties of bricks made with glass and plastic waste. Analysis of carbon dioxide emissions**

*Faber Sneider Cardona Howard, Luis Alberto Rengifo Rojas, Juan Felipe Guarín Martínez, Daniel Guillermo Mazo Castro, Oscar Felipe Arbeláez Pérez*

**Creación de pacientes internacionales automatizado con Autolt: un caso de aplicación**

**Creating automated international patients with Autolt: An application case**

*Lina María Montoya Suárez, Jorge Restrepo Sierra, Esneyder Gómez Marín*

©Universidad Católica Luis Amigó  
Transversal 51A N°. 67B-90  
Medellín, Antioquia, Colombia  
Tel: (574) 448 76 66.  
Fondo Editorial Universidad Católica Luis Amigó  
www.ucatolicaluissamigo.edu.co-fondo.editorial@amigo.edu.co

### **Lámpsakos**

N°. 24, julio-diciembre de 2020

### **ISSN (En línea)**

2145-4086

### **Rector**

Pbro. Carlos Enrique Cardona Quiceno

### **Vicerrectora de Investigaciones**

Isabel Cristina Puerta Lopera

### **Director Facultad de Ingeniería y Arquitectura**

Ramiro Antonio Giraldo Escobar

### **Coordinadores de Programas**

#### **Ingeniería de Sistemas**

Ramiro Antonio Giraldo Escobar

#### **Ingeniería Civil**

Daniel Rojas Rodríguez

#### **Ingeniería Industrial**

Lucy Ocampo

#### **Arquitectura**

Amilkar David Álvarez Cuadrado

### **Jefe Departamento de Fondo Editorial**

Carolina Orrego Moscoso

### **Diseño y diagramación**

Arbey David Zuluaga Yarce

### **Correctora de estilo**

Leidy Andrea Ríos Restrepo

### **Traductores**

Julius Plaza, Sergio Pedraza, Luis Arturo Chaparro, Daniel Ortiz y Margarita Osorio.

# Lámpsakos

## Editor de la revista

Ingrid-Durley Torres Pardo, MSc.

*Universidad Católica Luis Amigó. Medellín, Co*

## Comité Científico

Marcelo Becker, Ph.D

*Universidade de São Paulo (USP), São Carlos, Brasil*

José María Yusta-Loyo, Ph.D

*Universidad de Zaragoza (Unizar), España*

Gustavo Alejandro Schweickardt, Ph.D

*Universidad Tecnológica Nacional, Concepción del Uruguay, Argentina*

Bizuayehu Abebe-Worke, Ph.D

*Universidade da Beira, Covilhã, Portugal*

Aldo Pardo-García, Ph.D.

*Universidad de Pamplona, Norte de Santander, Colombia*

Marta Silvia Tabares-Betancur, Ph.D

*Universidad EAFIT, Medellín, Colombia*

Yuri Ulianov-López, Ph.D

*Universidad Autónoma de Occidente, Cali, Colombia*

Andrés Felipe Agudelo-Santamaría, Ph.D

*Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia*

## Comité Editorial

Rubén Ángel Galindo-Aires, Ph.D

*Universidad Politécnica de Madrid (UPM), España*

Giner Alor-Hernández, Ph.D

*Instituto Tecnológico de Orizaba, Veracruz, México*

Óscar Sapena-Vercher, Ph.D

*Universidad Politécnica de Valencia (UPV), España*

Amit Chaudhry, Ph.D

*Institute of Engineering and Technology, Panjab University, Chandigarh, India*

Luis Fernando Garcés-Giraldo, Ph.D

*Corporación Universitaria Lasallista, Caldas (Ant), Colombia*

Nazly E. Sánchez-Peña, Ph.D

*Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, Popayán, Colombia*

Nourou Khalidou Dia, Ph.D

*Université des Sciences, Technologies et de Médecin, Nouakchott, Mauritania*

Henry Alonso-Colorado, Ph.D

*Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia*

Julián Alberto Patiño-Murillo, Ph.D(c)

*Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia*

## Comité de Árbitros de la edición

Ms.C. WALTER HUGO ARBOLEDA MAZO

*Corporación Universitaria Adventista, Medellín, Colombia*

Ms.C. EDER ALONSO ACEVEDO MARIN

*Universidad Cooperativa de Colombia, Medellín, Colombia*

Ms.C. YOLFARIS NAIDIT FUERTES ARROYO

*Corporación Universitaria Remington, Medellín, Colombia*

Ms.C. GABRIEL JAIME POSADA HERNÁNDEZ

*Universidad Católica Luis Amigó, Medellín, Colombia*

Ph.D. JORGE ELIECE GIRALDOPLAZAS

*Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín, Colombia*

Ph.D. JAIME ALBERTO GUZMÁN LUNA

*Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia*

Ms.C. LUIS FELIPE LALINDE CASTRILLÓN

*Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, Colombia*

Ms.C. MAURICIO LÓPEZ BONILLA

*Universidad Católica Luis Amigó, Medellín, Colombia*

Ms.C. ANDRÉS MAURICIO GRISALES AGUIRRE

*Universidad Católica Luis Amigó, Manizales, Colombia*

Ms.C. CARLOS EDUARDO CASTANG MONTIEL

*Universidad Autónoma de Occidente, Cali, Colombia*

Ms.C. LUZ MARINA TORRADO GÓMEZ

*Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga, Colombia*

MS.C. MARIA JULIA NIETO CALLEJAS

*Universidad Católica Luis Amigó, Medellín, Colombia*

Ms.C. FELIPE ARBELÁEZ SALAZAR

*Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia*

Ms.C. CARLOS AUGUSTO PORTILLA CUBILLOS

*Universidad Cooperativa de Colombia, Medellín, Colombia*

Ms.C. YENNY ALEJANDRA AGUIRRE

*Institución Universitaria Salazar y Herrera, Medellín, Colombia*

Ms.C. JAIRO ARBOLEDA ZUÑIGA

*Universidad Santiago de Cali / Universidad Pontificia Bolivariana Cali, Colombia*

Lámpsaikos

## Contacto editorial

Universidad Católica Luis Amigó

## Dónde consultar la revista

<http://www.funlam.edu.co/revistas/index.php/lampsakos/index>

## Envío de manuscritos

<http://www.funlam.edu.co/revistas/index.php/lampsakos/user/register>

## Solicitud de canje

Biblioteca Vicente Serer Vicens  
Universidad Católica Luis Amigó  
Medellín, Antioquia, Colombia

## Correo electrónico

[lampsakos@amigo.edu.co](mailto:lampsakos@amigo.edu.co)

Universidad Católica Luis Amigó  
Transversal 51A # 67B-90  
Medellín-Colombia  
Teléfono: (574) 4607004

## Lámpsakos - Acceso abierto

Órgano de divulgación de la Facultad de Ingenierías y Arquitectura de la Universidad Católica Luis Amigó.

Hecho en Colombia / Made in Colombia.

Financiación y publicación realizada por la Universidad Católica Luis Amigó. En ningún momento de la edición o difusión se hacen cobros a los autores para sufragar alguna de estas actividades; de tal manera que no recibe aportes económicos de personas naturales ni jurídicas.

Los principios éticos de esta revista se describen en sus políticas editoriales y, además, se adhieren a los procedimientos dictados por el Committee on Publication Ethics (COPE), que podrán ser consultados en [www.publicationethics.org](http://www.publicationethics.org).

© 2020 Universidad Católica Luis Amigó

DOI: <http://dx.doi.org/10.21501/issn.2145-4086>



OPEN ACCESS

Licencia Creative Commons Atribución- No Comercial – Compartir Igual 4.0 Internacional.

La revista y los textos individuales que en esta se divulgan están protegidos por las leyes de copyright y por los términos y condiciones de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional. Permisos que vayan más allá de lo cubierto por esta licencia pueden encontrarse en <http://www.funlam.edu.co/modules/fondoeditorial/>

Derechos de autor. El autor o autores pueden tener derechos adicionales en sus artículos según lo establecido en la cesión por ellos firmada.

Los autores son moral y legalmente responsables del contenido de sus artículos, así como del respeto a los derechos de autor. Por lo tanto, estos no comprometen en ningún sentido a la Universidad Católica Luis Amigó.

La revista *Lámpsakos* es una publicación adscrita a la Facultad de Ingenierías y Arquitectura de la Universidad Católica Luis Amigó, Medellín, Colombia. Tiene por objetivo divulgar artículos originales e inéditos como resultados de investigación científica y tecnológica de las áreas de ingenierías. Fundada en 2009, la revista tiene una periodicidad semestral (se publica en junio y diciembre) con alcance nacional e internacional, tiene circulación en línea de libre acceso, bajo estándares de rigor científico y de calidad editorial.

Los temas tratados en la revista se dirigen a todas las personas de los espacios académicos, investigativos, científicos y profesionales de los diferentes sectores educativos, productivos y empresariales que desarrollan sus actividades en torno a la ingeniería.

Los trabajos que publica corresponden a aspectos de desarrollo científico, profesional y tecnológico en todas las disciplinas de la Ingeniería.

*Lámpsakos journal* is a publication sponsored by the Faculty of Engineering and Architecture of the Luis Amigó Catholic University, in the city of Medellín, Colombia. It aims to divulge original and unpublished articles as a result of scientific and technological research in the areas of engineering. It is published twice a year (issued in June and December) with national and international coverage. The journal is a free access online magazine, published under standards of scientific rigor and editorial quality.

Topics covered in the journal are addressed to all persons in academic, researching, scientific and professional areas from different educational and productive sectors and firms whose activities are performed on engineering.

The journal publishes papers of scientific, professional and technological in all the disciplines of engineering

# Lámpsakos

# Índice general

## Presentación

Presentation

*Ingrid-Durley Torres Pardo*

## Editorial

**Sobre El Análisis De Información En La Actual Revolución Tecnológica**

On the analysis of information in the current technological revolution

*Henry O. Sarmiento M.*

## Artículos de investigación

Research papers

**Analysis of bolted ultra-high performance concrete joints**

Análisis de conexiones con pernos en hormigones de ultra-alto desempeño

*Cesar Echavarría, Hernán Cañola, Wilmar Echeverri*

15

**Carta de control bayesiana asociada a no conformidades en las historias clínicas**

Bayesian control letter associated with non-conformities in medical records

*Carlos Alberto Hurtado Castaño, Stiven Villada-Gil, Juan Carlos Correa Morales*

23

**Análisis numérico del flujo sobreadvertido en la tobera cónica experimental ULA-2 fuera de diseño**

Numerical analysis of over-expanded flow in the experimental ULA-2 conical nozzle out of design

*San Luis B. Tolentino Masgo, Jorge Luis Mírez Tarrillo*

33

**Análisis de zonas de cultivo y cuerpos de agua mediante el cálculo de índices radiométricos con imágenes Sentinel-2**

Analysis of growing areas and bodies of water by calculating radiometric indices with Sentinel-2 images

*Fernando Pech-May, Julio Víctor Sánchez Hernández, Honorio Guadalupe Sánchez Jacinto, Jorge Magaña Govea*

48

**Evaluación de las propiedades mecánicas de ladrillos elaborados con residuos de vidrio y plástico. Análisis de las emisiones de dióxido de carbono**

Evaluation of the mechanical properties of bricks made with glass and plastic waste. Analysis of carbon dioxide emissions

*Faber Sneider Cardona Howard, Luis Alberto Rengifo Rojas, Juan Felipe Guarín Martínez, Daniel Guillermo Mazo Castro, Oscar Felipe Arbeláez Pérez*

60

**Creación de pacientes internacionales automatizado con AutoIt: un caso de aplicación**

Creating automated international patients with AutoIt: An application case

*Lina María Montoya Suárez, Jorge Restrepo Sierra, Esneyder Gómez Marín*

74

# Presentación

**Ingrid Durley Torres Pardo**

**Estilo de citación de artículo:**

"I. D. Torres Pardo, "Presentación", *Lámpsakos*, no. 24, pp. 6-7, julio-diciembre, 2020. DOI: 10.21501/21454086.3910

Para este 2020, año extraño para todos, Lámpsakos presenta su edición número 24, compuesta por cinco artículos de investigación de diferentes áreas del saber dentro de la ingeniería y dos reportes de casos, además de su editorial, que en esta publicación se ha orientado "Sobre el Análisis de información en la actual revolución tecnológica" [1], siempre soportada por los acontecimientos actuales. El autor de este manuscrito es un experto investigador quien nos comparte la riqueza de información que subyace en los datos.

En "Analysis of bolted ultra-high performance concrete joints" [2], los autores analizan la influencia de la distancia al borde y de las propiedades elásticas de las placas del hormigón de ultra-alto desempeño (UHPC) en el desarrollo de fallas en conexiones con pernos. El trabajo es enriquecido con ecuaciones de forma cerrada, usadas para medir las concentraciones de tensión en la conexión.

Los autores del artículo titulado "Carta de control bayesiana asociada a no conformidades en las historias clínicas" [3] exponen un método de elicitación en tres etapas, para el control de calidad de historias clínicas en salud. La exposición del trabajo, permite evi-

denciar las ventajas del caso de las no conformidades, donde se argumenta que, los límites se autoajustan sin que se requiera reiniciar el proceso de construcción de la carta de control.

Continuamos con "Análisis numérico del flujo sobrepandido en la tobera cónica experimental ULA-2 fuera de diseño" [4], cuya finalidad es describir el proceso el comportamiento del campo de flujo sobrepandido en esta tobera con respecto a un grupo de toberas supersónicas con longitud de garganta, las cuales han sido diseñadas y fabricadas en la Universidad de Los Andes, Venezuela, por el Grupo de Ciencias Atmosféricas y del Espacio (GCAE). En el manuscrito, los autores concluyen que existe una influencia de la longitud de garganta en el desarrollo del flujo en esa sección, pero no representa un impacto significativo en la velocidad del flujo de salida.

"Análisis de zonas de cultivo y cuerpos de agua mediante el cálculo de índices radiométricos con imágenes Sentinel-2" [5] presenta una asociación entre la agricultura y el procesamiento de imágenes satelitales usando Sentinel-2, un programa de observación de la Tierra que consta de 13 bandas espectrales. El artículo

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3910>

describe un análisis multitemporal basado en el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada y el Índice de Agua de Diferencia Normalizada, obtenidos con imágenes del satélite Sentinel-2, para la identificación de cambios que se presentan en una zona del sureste de México en el periodo 2018-2020.

Como una inminente preocupación por reincorporar elementos no biodegradables y hacerlos reutilizables, los autores de "Evaluación de las propiedades mecánicas de ladrillos elaborados con residuos de vidrio y plástico. Análisis de las emisiones de dióxido de carbono" [6] exponen un estudio de las propiedades mecánicas de ladrillos que contienen agregados, vidrio y pellets de tereftalato de polietileno. En su manuscrito los autores realizan una comparación valorativa de las propiedades del ladrillo frente a la variación del porcentaje de cada uno de los agregados.

Para cerrar la edición 24 se presenta otro estudio de caso, esta vez relacionado con el Hospital Pablo Tobón Uribe de la ciudad de Medellín, Colombia. El manuscrito "Creación de pacientes internacionales automatizado con AUTOLT: un caso de aplicación" [7] describe el proceso de automatización de creación de pacientes que contiene el manejo de las historias clínicas electrónicas de pacientes extranjeros, por medio de una plataforma llamada *Web Cheking*. La automatización descrita es lograda con el lenguaje AUTOIT, el cual permite generar, validar y consolidar en el sistema de información AUTOLT, para alcanzar agilidad en los procesos y evitar duplicidad en los datos, según argumentan los autores.

## REFERENCIAS

- H. O. Sarmiento M, "Sobre el análisis de información en la actual revolución tecnológica", *Lámpsakos*, (24), pp. 10-11, julio-diciembre, 2020. doi: 10.21501/21454086.3825
- C. Echavarría, H. Cañola, and W. Echeverri, "Analysis of bolted ultra-high performance concrete joints", *Lámpsakos*, (24), pp. 15-22, julio-diciembre, 2020. doi: 10.21501/21454086.3715
- C. A. Hurtado Castaño, S. Villada Gil, and J. C. Correa Morales, "Carta de control bayesiana asociada a no conformidades en las historias clínicas", *Lámpsakos*, (24), pp. 23-32, julio-diciembre, 2020. doi: 10.21501/21454086.3362
- S. L. Baudilio Tolentino Masgo, y J. L. Mírez Tarrillo, "Análisis numérico del flujo sobreadvertido en la tobera cónica experimental ula-2 fuera de diseño", *Lámpsakos*, (24), pp. 33-47, julio-diciembre, 2020. doi: 10.21501/21454086.3707
- F. Pech May, J. V. Sánchez Hernández, and H. Sánchez Jacinto, "Análisis de zonas de cultivo y cuerpos de agua mediante el cálculo de índices radiométricos con imágenes Sentinel-2", *Lámpsakos*, (24), pp. 48-59, julio-diciembre, 2020. doi: 10.21501/21454086.3601
- O. F. Arbeláez Pérez, F. S. Cardona Howard, L. A. Rengifo Rojas, J. F. Guarín Martínez, y D. G. Mazo Castro, "Evaluación de las propiedades mecánicas de ladrillos elaborados con residuos de vidrio y plástico. Análisis de las emisiones de dióxido de carbono", *Lámpsakos*, (24), pp. 60-73, julio-diciembre, 2020. doi: 10.21501/21454086.3725
- L. M. Montoya Suárez, J. Restrepo Sierra, y E. Gómez Marín, "Creación de pacientes internacionales automatizado con Autolt: un caso de aplicación", *Lámpsakos*, (24), pp. 74-81, julio-diciembre, 2020. doi: 10.21501/21454086.2809

# Presentation

**Ingrid Durley Torres Pardo**

**Estilo de citación de artículo:**

"I. D. Torres Pardo, "Presentation", *Lámpsakos*, no. 24, pp. 8-9, julio-diciembre, 2020. DOI: 10.21501/21454086.3910

For this 2020, a strange year for everyone, *Lámpsakos* presents its 24th edition, composed of five research articles from different areas of knowledge within Engineering and two case reports, in addition to its editorial that in this publication has been oriented "On the analysis of information in the current technological revolution" [1], this always supported by current events. The author of this manuscript is an expert researcher who shares with us the wealth of information that underlies the data.

According to, "Analysis of bolted ultra-high performance concrete joints" [2], the authors present to analyze the influence of edge distance and elastic properties of ultra-high performance concrete plates (UHPC), in the development of failures in bolted connections. The work is enriched with equations of closed form, used to measure the stress concentrations in the connection.

Exposing a method consisting of the technique proposed by Ishikawa, followed by the implementation of the Delphi methodology and ending with the third round of Delphi, using the freehand elicitation method, within a tool for industrial use such as control charts. in

the field of health, this is what the authors describe in the article entitled "Bayesian control letter associated with non-conformities in medical records" [3]. Those who expose the advantage of the case of non-conformities in the medical records, where they argue that the limits are self-adjusting without requiring restarting the process of construction of the control letter.

We continue with "Numerical analysis of the over-expanded flow in the experimental ula-2 conical nozzle out of design" [4], whose purpose is to describe the process and the behavior of the over-expanded flow field in the ULA-2 experimental conical nozzle, on a group of throat length supersonic nozzles, which have been designed and manufactured at the University of Los Andes, Venezuela, by the Group of Atmospheric and Space Sciences (GCAE). In the manuscript, the authors conclude that there is an influence of the throat length on the development of the flow in that section, but without representing a significant impact on the outflow velocity.

"Analysis of cultivation areas and bodies of water by calculating radiometric indices with Sentinel-2 images" [5] presents an association between agriculture

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3910>

and satellite image processing, using Sentinel-2 an Earth observation program that consists of 13 spectral bands. The article describes a multitemporal analysis based on the Vegetation Index of Normalized Difference and Water Index of Normalized Difference obtained with images from the Sentinel-2 satellite, for the identification of changes that occur in an area of southeastern Mexico in the period 2018-2020.

As an imminent concern to reincorporate non-biodegradable elements and make them reusable, the authors of "Evaluation of the mechanical properties of bricks made with glass and plastic waste. analysis of carbon dioxide emissions" presents a study of the mechanical properties of bricks containing aggregates, glass, and polyethylene terephthalate pellets. In their manuscript, the authors make an evaluative comparison of the properties of the brick against the variation of the percentage of each one of the aggregates, in the bricks [6].

At the close of the 24th edition, another case study is presented, this time related to the Pablo Tobón Uribe Hospital, in the city of Medellín, Colombia. The manuscript "Automated creation of international patients with AUTOIT: an application case" [7], describes the process of automating the creation of patients that contains the management of electronic medical records of foreign patients, through a platform called Web Cheking. The automation described is achieved with the Autolt language, which allows generating, validating, consolidating in the information system, achieving agility in the processes, and avoiding duplication in the data, according to the authors.

## REFERENCIAS

- H. O. Sarmiento M, "Sobre el análisis de información en la actual revolución tecnológica", *Lámpsakos*, (24), pp. 10-11, julio-diciembre, 2020. doi: 10.21501/21454086.3825
- C. Echavarría, H. Cañola, and W. Echeverri, "Analysis of bolted ultra-high performance concrete joints", *Lámpsakos*, (24), pp. 15-22, julio-diciembre, 2020. doi: 10.21501/21454086.3715
- C. A. Hurtado Castaño, S. Villada Gil, and J. C. Correa Morales, "Carta de control bayesiana asociada a no conformidades en las historias clínicas", *Lámpsakos*, (24), pp. 23-32, julio-diciembre, 2020. doi: 10.21501/21454086.3362
- S. L. Baudilio Tolentino Masgo, y J. L. Mírez Tarrillo, "Análisis numérico del flujo sobreadvertido en la tobera cónica experimental ula-2 fuera de diseño", *Lámpsakos*, (24), pp. 33-47, julio-diciembre, 2020. doi: 10.21501/21454086.3707
- F. Pech May, J. V. Sánchez Hernández, and H. Sánchez Jacinto, "Análisis de zonas de cultivo y cuerpos de agua mediante el cálculo de índices radiométricos con imágenes Sentinel-2", *Lámpsakos*, (24), pp. 48-59, julio-diciembre, 2020. doi: 10.21501/21454086.3601
- O. F. Arbeláez Pérez, F. S. Cardona Howard, L. A. Rengifo Rojas, J. F. Guarín Martínez, y D. G. Mazo Castro, "Evaluación de las propiedades mecánicas de ladrillos elaborados con residuos de vidrio y plástico. Análisis de las emisiones de dióxido de carbono", *Lámpsakos*, (24), pp. 60-73, julio-diciembre, 2020. doi: 10.21501/21454086.3725
- L. M. Montoya Suárez, J. Restrepo Sierra, y E. Gómez Marín, "Creación de pacientes internacionales automatizado con Autolt: un caso de aplicación", *Lámpsakos*, (24), pp. 74-81, julio-diciembre, 2020. doi: 10.21501/21454086.2809

# Editorial

## Sobre el análisis de información en la actual revolución tecnológica

**Henry O. Sarmiento M.\***

(Recibido el 09-13-2020, Aprobado el 27-11-2020)

**Estilo de citación del artículo:**

H. O. Sarmiento, "Sobre el análisis de información en la actual revolución tecnológica", *Lámpsakos*, no. 24, pp. 10-11, julio-diciembre, 2020.  
DOI: 10.21501/21454086.3825

En estos tiempos en que la tecnología ha permeado todo –o casi todo, para no resultar extremista– la disponibilidad de datos provenientes de procesos, sistemas y equipos ha resultado no solo desbordante, sino también, en la mayoría de casos, casi totalmente subutilizada [1]. Además, si se evalúa sin mucho esfuerzo, resulta onerosa atendiendo a una capacidad instalada que no genera beneficios.

Un aspecto a valorar respecto al tema planteado resulta de tomar consciencia sobre la riqueza de información que subyace en los datos y que, al ser descubierta, posibilita la tarea de realimentación en los sistemas o procesos en forma asertiva y ágil. En ello se ha trabajado durante la reciente década muy exitosamente, con toda la potencialidad de las técnicas de inteligencia artificial y medios computacionales para realizar la extracción de información base útil para el análisis y la consecuente toma de decisiones que se requiera [2].

Ante este panorama real, y que continúa siendo promisorio y exitoso, también puede resultar valioso y relevante capacitarse y prepararse para la actividad exi-

gente del análisis, con base en la modelación de los procesos o sistemas mediante las rigurosas técnicas que se consideran clásicas. Este adiestramiento será finalmente preparación idónea para una acción más cualificada en el análisis de datos o información antes planteado.

De esta forma, los registros susceptibles de ser captados en forma técnica con parámetros de exactitud y presión acordes con la naturaleza y área de aplicación, y la oferta disponible desde un mercado muy amplio de dispositivos con capacidades que excitan la imaginación, nos debe llevar necesariamente a responder con el desarrollo de capacidades direccionadas a conocer, aplicar o adecuar herramientas que posibiliten hacer un uso responsable de los datos y generar utilidad a partir de ellos [3]. En resumen, la tarea de transformar números en información.

Hoy, ante una nueva revolución industrial consecuente con los avances tecnológicos, en la que el Internet de las Cosas y sus dispositivos hacen mucho más próxima la disponibilidad de los datos con la alternativa de ejecutar tareas y procesos en la nube, incluyendo

\* Ph.D. en Ingeniería Electrónica, docente de Planta del Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, líder del Grupo de Investigación en Instrumentación, Control Automático y Robótica (ICARO). Medellín-Colombia. Contacto: [hosarmiento@elpoli.edu.co](mailto:hosarmiento@elpoli.edu.co)

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3825>

todas las potencialidades que nos ha abierto la inteligencia artificial y el *aprendizaje de máquina*, podría tentarnos a ir desplazando toda la riqueza y conocimiento que se requiere al trabajar el análisis basado en una exigente modelación clásica. Casi que atrevemos a pensar que con estas herramientas tenemos un elemento mágico que puede llegar a resolvernos casi todos los problemas que puedan presentarse, evadir los fundamentos de los procesos, la forma organizada y consistente en que estos deben plantearse para obtener modelos o representaciones valiosas y útiles en muchos sentidos, y en escenarios donde la información a partir de los datos pueda ser insuficiente o limitada.

Partiendo de la premisa, como lo resume Obregón [4], de que las carreras profesionalizantes abarcan dos grandes acciones: análisis o modelación y diseño o síntesis; la formación para ello implica transitar por elementos tales como: (1) Sistemas de información; (2) Desarrollo del modelos conceptuales; (3) Desarrollo del modelos matemáticos; (4) Desarrollo del aplicativos computacionales; (5) Calibración y validación de los modelos; (6) Creación de escenarios; y (7) Simulación. Se establece la necesidad de un equilibrio o complemento en la formación de nuestras nuevas generaciones direccionado a generar destrezas y habilidades para alcanzar capacidades de análisis de calidad y alto nivel. El camino para lograrlo no solo con suficiencia, sino en forma destacada, sobresaliente y competitiva, requiere de la sólida y estructurada formación de base (según las leyes y principios que rijan), además de una continua actualización y formación en técnicas de análisis de datos basada en Aprendizaje de Máquina e Inteligencia Artificial. Todo este andamiaje estructurado y a la vez flexible va a potenciar a los estudiantes y egresados en el ejercicio real al que son llamados en una sociedad tan cambiante y demandante como en la que nos correspondió vivir [5]. Se asegurará entonces un excelente desempeño desde la etapa de formación (nivel educativo) hasta el campo profesional en el cual obtendrán grandes logros y réditos individuales impactando positivamente esa sociedad que requiere de sus servicios.

## CONFLICTO DE INTERESES

El autor declara la inexistencia de conflicto de interés con institución o asociación comercial de cualquier índole.

## REFERENCIAS

- [1] C. M. Sánchez, and H. O. Sarmiento, "Fuzzy Classification of Industrial Data for Supervision of a Dewatering Machine: Implementation Details and Results", *IEEE Colombian Conference on Applications in Computational Intelligence, Barranquilla, Colombia, June 5-7, 2019*, doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-36211-9\\_21](https://doi.org/10.1007/978-3-030-36211-9_21)
- [2] E. J. Hernández-Leal, N. D. Duque-Méndez, and J. Moreno-Cadavid, "Big Data: una exploración de investigaciones, tecnologías y casos de aplicación", *Tecnológicas*, vol. 20, no. 39, pp. 17-24, 2017. <https://repositorio.itm.edu.co/bitstream/handle/20.500.12622/1020/685-Manuscrito-968-1-10-20180411.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [3] C. Henríquez Miranda, "Modelo de extracción de información desde recursos web para aplicaciones de la planificación automática", *Prospectiva*, vol. 10, no. 2, pp. 74-80, 2012, doi: <https://doi.org/10.15665/rp.v10i2.236>
- [4] N. Obregón Neira, "Proceso de análisis en ingeniería como estrategia para la profesionalización del docente-ingeniero", *Revista Educación en Ingeniería*, vol. 3, no. 5, pp. 91-97, 2008. <https://educacioneningenieria.org/index.php/edi/article/view/152>
- [5] L. A. Rivas Tovar, "Las nueve competencias de un investigador", *Investigación administrativa*, vol. 40, no. 108, pp. 34-54, 2011. <http://www.scielo.org.mx/pdf/ia/v40n108/2448-7678-ia-40-108-34.pdf>

# Editorial

## On the analysis of information in the current technological revolution

**Henry O. Sarmiento M.\***

(Received on 09-13-2020, Approved on 27-11-2020)

**Estilo de citación del artículo:**

H. O. Sarmiento, "On the analysis of information in the current technological revolution", *Lámpsakos*, No. 24, pp. 12-13, DOI: 10.21501/21454086.3825

In these times in which technology has permeated everything—or almost everything—so as not to be extreme, the availability of data from processes, systems, equipment, etc., it has not only been overwhelming but in most cases almost totally underutilized [1]. And that in addition, consequently, if it is evaluated without much effort, it is onerous considering an installed capacity that does not generate benefits.

One aspect to assess regarding the issue raised results from becoming aware of the wealth of information that underlies the data, and that when discovered enables the task of feedback in the systems or processes in an assertive and agile way. It is here, that already during the recent decade it has been working—and very successfully—with all the potential of artificial intelligence techniques and computational means to extract useful base information for analysis and the consequent decision-making that is required [2].

Faced with this real scenario, which continues to be promising and successful, it can also be valuable and relevant to train and prepare ourselves for the demanding activity of analysis, based on the modeling of processes or systems using the rigorous techniques that are considered classical. This training will finally be the ideal preparation for a more qualified action in the analysis of data or information mentioned above.

In this way, the records that can be captured technically with parameters of accuracy and pressure following the nature and area of application, and the offer available from a very wide market of devices with capacities that excite the imagination, must necessarily lead us to respond in the sense of developing capacities aimed at knowing, applying, developing, or adapting tools that make it possible to make responsible use of data and generate utility from them [3]. In short, the task of transforming numbers into information.

\* Ph.D. in Electronic Engineering. Teacher of the Colombian Polytechnic Jaime Isaza Cadavid. Leader of the Research Group on Instrumentation, Automatic Control, and Robotics—ICARO. Medellín Colombia. Contact: [hosarmiento@elpoli.edu.co](mailto:hosarmiento@elpoli.edu.co)

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3825>

Today, faced with a new industrial revolution as a consequence of technological advances, where the Internet of Things and its devices make the availability of data much closer with the alternative of executing tasks and processes in the cloud, including all the potentialities that they provide us, they have opened up artificial intelligence, and also machine learning, they could tempt us to displace all the wealth and knowledge that is required when working on analysis based on demanding classical modeling.

Almost, we dare to think that with these tools we have something like a magic element that can solve almost all the problems that may arise and, therefore, we can evade the fundamentals of the processes and the organized and consistent way in which these should be considered to obtain models or representations that are valuable and useful in many ways and in scenarios where the information from the data may be insufficient or limited.

Starting from the premise, as summarized by Obregón [4], that professional careers encompass two major actions such as analysis or modeling and design or synthesis, and that training for this implies passing through elements such as (1) Information systems; (2) Development of conceptual models; (3) Development of mathematical models; (4) Development of computational applications; (5) Calibration and validation of the models; (6) Creation of scenarios; and (7) Simulation; The need for a balance or complement in the training of our new generations is established, aimed at generating skills and abilities to achieve high-level quality analysis capabilities.

The way to achieve this not only with sufficiency but in a prominent, outstanding, and competitive way, requires solid and structured basic training (according to the laws and principles that govern) and continuous updating and training in data analysis techniques based on Machine Learning and Artificial Intelligence. All this structured and at the same time flexible scaffolding will empower students and graduates in the real exercise to which they are called in society as changing and demanding as in which we lived [5]. An excellent

performance will then be ensured from the training stage (educational level) to the professional field in which everyone will obtain great achievements and individual returns, positively impacting that society that requires his/her services..

## REFERENCIAS

- [1] C. M. Sánchez, y H. O. Sarmiento, "Fuzzy Classification of Industrial Data for Supervision of a Dewatering Machine: Implementation Details and Results", *IEEE Colombian Conference on Applications in Computational Intelligence, Barranquilla, Colombia, June 5-7, 2019*, doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-36211-9\\_21](https://doi.org/10.1007/978-3-030-36211-9_21)
- [2] E. J. Hernández-Leal, N. D. Duque-Méndez, y J. Moreno-Cadavid, "Big Data: una exploración de investigaciones, tecnologías y casos de aplicación", *Tecnológicas*, vol. 20, no. 39, pp. 17-24, 2017. <https://repositorio.itm.edu.co/bitstream/handle/20.500.12622/1020/685-Manuscrito-968-1-10-20180411.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [3] C. Henríquez Miranda, "Modelo de extracción de información desde recursos web para aplicaciones de la planificación automática", *Prospectiva*, vol. 10, no. 2, pp. 74-80, 2012, doi: <https://doi.org/10.15665/rp.v10i2.236>
- [4] N. Obregón Neira, "Proceso de análisis en ingeniería como estrategia para la profesionalización del docente-ingeniero\*", *Revista Educación en Ingeniería*, vol. 3, no. 5, pp. 91-97, 2008. <https://educacioneningenieria.org/index.php/edi/article/view/152>
- [5] L. A. Rivas Tovar, "Las nueve competencias de un investigador", *Investigación administrativa*, vol. 40, no. 108, pp. 34-54, 2011. <http://www.scielo.org.mx/pdf/ia/v40n108/2448-7678-ia-40-108-34.pdf>

# ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN

## RESEARCH ARTICLE

# Analysis of bolted ultra-high performance concrete joints

## Análisis de conexiones con pernos en hormigones de ultra-alto desempeño

(Recibido el 19-08-2020. Aprobado el 01-11-2020)

**César Echavarría\***  
**Hernán Cañola\*\***  
**Wilmar Echeverri\*\*\***

### Estilo de citación de artículo:

C. Echavarría, H. Cañola, and W. Echeverri, "Analysis Of Bolted Ultra-High Performance Concrete", *Lámpsakos*, no. 24, pp. 15-22, julio-diciembre, 2020.  
DOI: 10.21501/21454086.3715

### Abstract

Ultra-high performance concrete (UHPC) is a composite material which has a remarkable self-compacting ability and high-compressive strength. Currently, UHPC precast construction is considered as an interesting option to take into account for civil engineering projects, in order to make use of its exceptional material properties. Discovering a practical and reliable method of connecting UHPC elements with fasteners has been recognized as a crucial factor in future construction projects. In this paper, the stress concentrations in an UHPC joint to predict brittle failure modes is investigated. Experimental results are compared with an analytical solution, which estimates the stress concentrations using the elastic properties of the anisotropic material and the geometry of the joint. The impact of the end and edge distances and elastic properties on the development of failure is presented for a bolted UHPC joint. The analytical solution proposed here that is based on closed-form equations, can be used to evaluate stress concentrations. Laboratory results on UHPC joints with bolts agree well with the model predictions. A theoretical analytical model for mechanically fastened precast concrete joints is, without a doubt, the reference for any experimental or numerical study of bolted UHPC joints.

**Keywords:** Analytical modelling; End distances; Stress concentrations; Concrete; Joints; Model predictions; Elastic properties.

\* Ph.D. César Echavarría, Profesor Universidad Nacional de Colombia

ORCID: 0000-0002-2885-1945 Contacto: [Caechavarrial@unal.edu.co](mailto:Caechavarrial@unal.edu.co)

\*\* Magíster en Construcción Hernán Cañola, Profesor Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia

ORCID: 0000-0002-0488-5817 Contacto: [Hernan.canola@colmayor.edu.co](mailto:Hernan.canola@colmayor.edu.co)

\*\*\* Magíster en Construcción Wilmar Echeverri, Director Centro Argos para la Innovación

ORCID: 0000-0002-9718-4701 Contacto: [Wecheverri@argos.com.co](mailto:Wecheverri@argos.com.co)

## Resumen

El hormigón de ultra-alto desempeño (UHPC) es un material compuesto con una notable capacidad de autocompactación y una alta resistencia a la compresión. Actualmente, la construcción de prefabricados en UHPC, debido a sus propiedades excepcionales, es considerada como una opción interesante en los proyectos de ingeniería civil. El desarrollo de métodos prácticos y confiables para el diseño de conexiones con pernos de elementos en UHPC ha sido considerado como un factor crucial en futuros proyectos de construcción. En este artículo, se estudian las concentraciones de tensión y los modos de falla frágiles en conexiones con pernos de paneles UHPC. Los resultados experimentales son comparados con una solución analítica que estima las concentraciones de tensión usando las propiedades elásticas de los materiales anisotrópicos y la geometría de las conexiones. Se analizan la influencia de la distancia al borde y de las propiedades elásticas de las placas UHPC en el desarrollo de fallas en conexiones con pernos. La solución analítica propuesta en esta investigación considera ecuaciones de forma cerrada que pueden ser usadas para evaluar las concentraciones de tensión en la conexión. Los resultados de laboratorio en conexiones con pernos de paneles UHPC se ajustan a las predicciones del modelo analítico. Un modelo analítico teórico es sin duda un precursor para cualquier estudio experimental o numérico de conexiones con pernos de elementos de hormigón de ultra-alto desempeño.

**Palabras clave:** Modelo analítico; Distancias a los bordes; Concentraciones de tensión; Hormigón, Conexiones; Modelo de predicción; Propiedades elásticas.

## INTRODUCTION

Ultra-high performance concrete (UHPC) is a material with outstanding durability, a high-compressive strength, a sustained post-cracking tensile strength and notable self-compacting capacity. UHPC elements exhibit compressive and tensile properties higher of those from conventional and fiber-reinforced concretes. Currently, UHPC precast construction is regarded as an interesting alternative to be considered in civil engineering projects to take advantage of its exceptional material properties. Discovering a practical and reliable method of connecting ultra-high performance concrete precast elements with fasteners has been recognized as a critical factor in future construction projects (Maya et al. [1]).

Analytical, numerical and experimental methods have been used to investigate dowelled joints in anisotropic plates [2-11].

Echavarría and Salenikovich [12], presented an analytical model to calculate the stresses around a hole in a bolted joint and to predict failures in timber bolted connections. Timber bolted joints loaded parallel to grain were tested. Experimental results agreed well with theoretical predictions.

In Hammoud and Naaman [13], experimental work was carried out in order to study the behavior of ferrocement bolted shear joints. The type, number, and orientation of mesh layers, along with end distance and hole diameter were studied. Equations were developed to predict the net tension, cleavage, and bearing failure loads.

Maya et al. [1], have studied UHPC precast elements. The behavior of precast elements connected using short reinforcement splice lengths was analyzed. This configuration reduced the in-situ work.

Mansur et al. [14], have described an experimental investigation on ferrocement bolted joints. Laboratory tests have shown that the mode of failure of a moment joint depends on whether the applied moment is in the opening or closing mode.

Kwon et al. [15], have experimentally investigated the joint strength of bolted UHPC elements. The width, the thickness, and the distance from the center of the hole to the edge of the joint were considered. Results showed that the joint strength does not increase when the size and thickness of the joint augment.

Unfortunately, the research in bolted UHPC joints is so far insufficient (Camacho et al [16]). This lack of studies has delayed the development of an analytical design criteria.

The objective of this paper is to experimentally validate, in an UHPC joint, the analytical method, presented initially by Echavarría [17] capable of determining the stress distribution around a pin-loaded hole to predict brittle failure modes.

## 1. DEVELOPMENT OF BASIC EQUATIONS

The stress concentrations in an elastically orthotropic plate are examined for a joint loaded frictionless along the edge of the hole by an infinitely rigid pin (see Fig. 1 and Fig. 2). The loading force  $F$  is of magnitude  $pd$ . Where  $d$  is the diameter of the hole,  $p$  is the bearing stress, and  $t$  is the unit thickness of the plate.

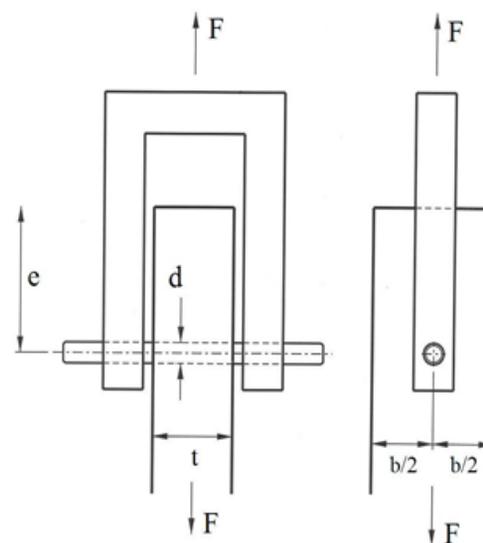


Figure 1. Joint geometry.

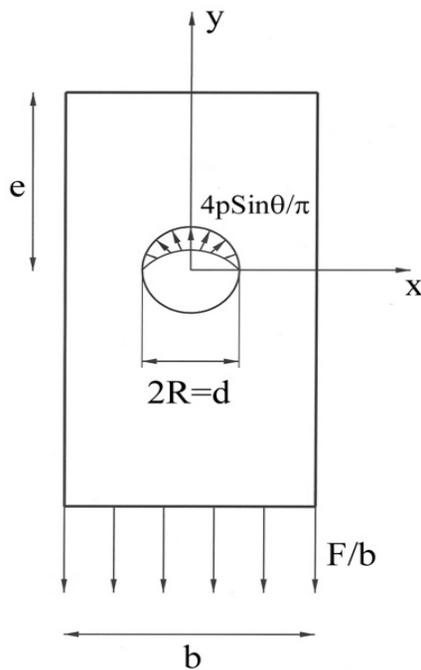


Figure 2. Joint under a sinusoidal distribution of load.

In general, the boundary conditions are used to calculate the stress functions. The stresses for the joint under consideration are summarized below.

The stresses at  $(x = 0, y = d/2)$  are calculated in this way:

$$\sigma_{x,max} = \left\{ \frac{(4 + \pi)Fn\omega}{2R\pi^2} \right\} - \left( \frac{Fk}{2b} + \frac{3Fk}{2R\pi} \right) - \frac{\nu_{xy}F}{2R\pi} \quad (1)$$

$$\sigma_y = - \left( \frac{2F}{R\pi} \right) \quad (2)$$

$$\tau_{xy} = 0 \quad (3)$$

At  $(x = d/2, y = 0)$ , the stresses are:

$$\sigma_x = 0 \quad (4)$$

$$\sigma_{y,max} = \left( \frac{F}{2b} + \frac{2F}{R\pi^2} \right) \frac{n}{k} + \frac{F}{2b} \quad (5)$$

$$\tau_{xy} = 0 \quad (6)$$

where,

$$\omega = \frac{1 - \sin\alpha}{\cos\alpha} \quad (7)$$

$$\alpha = \frac{\pi}{5} \left\{ \frac{e-2d}{d} \right\} - \frac{\pi}{30} \left\{ \frac{e-2d}{d} \right\}^2 \quad 2d \leq e \leq 5d \quad (8)$$

$$\alpha = \frac{3\pi}{10} + \frac{\pi}{45} \left\{ \frac{e-5d}{d} \right\} \quad 5d \leq e \leq 14d \quad (9)$$

$$\nu_{xy} = \nu_{yx} \frac{E_x}{E_y} \quad (10)$$

$$k = \sqrt{\frac{E_x}{E_y}} \quad (11)$$

$$n = \left\{ 2 \left( \sqrt{\frac{E_x}{E_y}} - \nu_{xy} \right) + \frac{E_x}{G_{xy}} \right\}^{1/2} \quad (12)$$

where,

$b$	width of plate
$e$	end distance
$E_x$ and $E_y$	orthogonal and longitudinal Young's moduli of elasticity
$F$	resultant force, predicted failure load
$G_{xy}$	shearing modulus of elasticity
$R$	radius of the hole
$\nu_{yx}$	coefficient of Poisson
$\sigma_x$ and $\sigma_y$	orthogonal stress and longitudinal stress
$\sigma_{x,max}$	highest orthogonal stress

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3715>

$\sigma_{y,max}$  highest longitudinal stress  
 $\tau_{xy}$  shear stress

Stress concentrations calculated with this analytical method are identical with those of the fundamental method found in De Jong [18] and Bickley [19]. The accuracy of De Jong's solution falls off in view of the excessive number of calculations. On the other hand, Bickley's solution considers only infinite isotropic plates.

## 2. PREDICTING BRITTLE FAILURES OF A BOLTED ULTRA-HIGH PERFORMANCE CONCRETE JOINT

There are four common failure modes in bolted joints, namely tension, shear-out, bearing, and cleavage. Unfortunately, brittle failures in UHPC bolted joints with inadequate end and edge distances and fastener spacing occur predominantly due to tension. In this study, the width of plate ( $b/d$  ratio) and the end distance ( $e/d$  ratio) were considered. Table 2 and Table 3 show the stress-concentration factors  $\sigma_{x,max}$  and  $\sigma_{y,max}$  (normalized by the average bearing stress  $p$ ) assuming the elastic properties listed in Table 1 of a UHPC element of a unit thickness  $t$  and width  $b$ . For clarity, the tensile stresses are reported as positive.

- This analytical solution indicates that the reduction of the  $b/d$  ratio will increase the  $\sigma_{y,max}$  and, simultaneously, will cause a reduction in the  $\sigma_{x,max}$ .
- Clearly  $\sigma_{y,max}$  will increase if  $b/d$  decreases. When  $b/d$  is small,  $\sigma_{y,max}$  generates a pure tension failure in UHPC joints because of their low ultimate longitudinal tensile strength.
- $\sigma_{x,max}$  will cause splitting in materials with a low ultimate orthogonal tensile strength (i.e. wood joints).
- The highest longitudinal compressive stress (Equation 2) is independent of  $e/d$  and  $b/d$  and can result in the bearing failure of the joint.

Considering a brittle performance of UHPC in tension and the maximum stress criteria, the joint will break predominantly when the highest longitudinal tensile stress  $\sigma_{y,max}$  reaches the corresponding strength value.

Table 1 Material properties of UHPC

$E_x$ (GPa)	$E_y$ (GPa)	$G_{xy}$ (GPa)	$\nu_{yx}$	Tensile strength (MPa)
45	45	18.75	0.20	10

Table 2 Orthogonal stress concentration ( $\sigma_{x,max} / p$ )

e/d	Equation (1)			
	$b = \infty$	$b = 16d$	$b = 8d$	$b = 4d$
2	0.43	0.40	0.37	0.30
4	-0.46	-0.49	-0.53	-0.59
8	-0.71	-0.74	-0.77	-0.84
16	-1.02	-1.05	-1.08	-1.14

Table 3 Longitudinal stress concentration ( $\sigma_{y,max} / p$ )

e/d	Equation (5)			
	$b = \infty$	$b = 16d$	$b = 8d$	$b = 4d$
2, 4, 8, 16	0.81	0.90	1.00	1.19

## 3. EXPERIMENTAL VERIFICATION

Laboratory tests on ultra-high performance fiber reinforced concrete (UHPRFC) joints with the geometry shown in Fig. 1 were conducted to validate the maximum stress concentrations predicted by the model.

An in-house developed UHPRFC mix made with CEM HE ASTM C1157 type cement, silica fume, and a superplasticizer was used for the experiments. The UHPRFC specimens used straight non-deformed steel fibers that were 13 mm long and had a 0.2 mm diameter. These fibers were included in the mix at a concentration of 2% by volume.

Static load applied in tension using a universal testing machine was used. The displacement-control rate of loading was set to reach failure in 5 to 15 minutes. UHPRFC elements for the joints were cut from 1 by 1-m panels. In addition, the elastic properties of UHPRFC

panels were determined using ultrasonic pulse velocity tests. Tensile strength was determined using direct tensile tests (Graybeal et al. [20]). The average properties from 50 replications tested are shown in Table 1.

Forty joints were tested using various geometric combinations as specified in Table 4. The bolt was 9.5 mm (3/8 in.) in diameter and was made of low carbon steel. The  $t/d$  ratio was small enough to avoid bending deformation of the bolt and induce failure in the UHPFRC element.

Summarization of experimental results and the comparison with the analytical predictions are given in Table 4 and Table 5. The specimens failed mostly in pure tension, as predicted by the analytical model (see Fig. 3).



Figure 3. Net tension failure.

Table 4 Experimental results for UHPC bolted joints

$e/d$	$b$	A	B	C	D
2	$3d$	7	$1.0p$	12	Tension
6	$3d$	7	$1.2p$	21	Tension
2	$10d$	20	$0.7p$	15	Tension
6	$10d$	6	$0.4p$	32	Tension

where,

- A Number of replications
- B Experimental longitudinal stress concentration
- C Coefficient of variation (%)
- D Prevalent failure mode

Table 5 Analytical predictions for UHPC bolted joints

$e/d$	$b$	E Equation (5)	F
2	$3d$	$1.4p$	Tension
6	$3d$	$1.4p$	Tension
2	$10d$	$1.0p$	Tension
6	$10d$	$1.0p$	Tension

where,

- E Predicted longitudinal stress concentration
- F Predicted failure mode

#### 4. CONCLUSIONS

The prediction of stress concentrations in fastened precast concrete plates is a common issue. The focus of this work is to validate an effective analytical method to predict brittle failure modes for different geometries and anisotropic conditions of an UHPC joint. The proposed analytical equations allow estimate the stress concentrations using the elastic properties of the anisotropic material. These predictions correspond reasonably well with those of the analytical solutions found in De Jong [18] and Bickley [19]. Further, laboratory experiments in UHPC joints agree well with the analytical predictions. Most importantly, it is the first time that this analytical model is applied to predict brittle failures of UHPC joints. These results prove that the analytical model originally developed for orthotropic plates can be also applied to UHPC joints. The variability of the experimental dowelled joints results is high. In future projects it would be convenient to increase the number of tests. An efficient and accurate analytical model is certainly an essential precursor to additional experimental studies and numerical models.

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3715>

## 5. CONFLICT OF INTEREST

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

## 6. REFERENCES

- [1] Maya LF, Zanuy C, Albajar L, Lopez C, Portabella J. Experimental assessment of connections for precast concrete frames using ultra high performance fiber reinforced concrete. *Construction and Building Materials* 2013; 48: 173–186. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.07.002>.
- [2] Collings TA, Beauchamp MJ. Bearing deflection behaviour of a loaded hole in CFRP. *Composites* 1984; 15: 33-38. [https://doi.org/10.1016/0010-4361\(84\)90958-3](https://doi.org/10.1016/0010-4361(84)90958-3).
- [3] Girão Coelho AM, Mottram JT. A review of the behaviour and analysis of bolted connections and joints in pultruded fiber reinforced polymers. *Materials & Design* 2015; 74: 86–107. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.02.011>.
- [4] Hong SG, Chung SH. Experimental study on the behavior of single bolted joints for UHPC panels. *IABSE Symposium Report* 2015; 105: 1530-1537.
- [5] Lee YG, Choi E, Yoon SJ. Effect of geometric parameters on the mechanical behavior of PFRP single bolted connection. *Composites Part B: Engineering* 2015; 75: 1–10.
- [6] Okutan B. The effects of geometric parameters on the failure strength for pin-loaded multi-directional fiber-glass reinforced epoxy laminate. *Composites Part B* 2002; 33: 567-578. [https://doi.org/10.1016/S1359-8368\(02\)00054-9](https://doi.org/10.1016/S1359-8368(02)00054-9).
- [7] Quinn WJ, Matthews FL. The effect of stacking sequence on the pin-bearing strength in glass fiber reinforced plastic. *Journal of Composite Materials* 1977; 11: 139-145. <https://doi.org/10.1177/002199837701100202>.
- [8] Wong CM, Matthews FL. A finite element analysis of single and two-hole bolted joints in fiber reinforced plastic. *Journal of Composite Materials* 1981; 15: 481-491. <https://doi.org/10.1177/002199838101500506>.
- [9] Zhang K, Ueng C. Stresses around a pin-loaded hole in orthotropic plates with arbitrary loading direction. *Composite Structures* 1985; 3: 119-143. [https://doi.org/10.1016/0263-8223\(85\)90040-6](https://doi.org/10.1016/0263-8223(85)90040-6).
- [10] Zou X, Wang J. Experimental study on joints and flexural behavior of FRP truss-UHPC hybrid bridge. *Composite Structures* 2018; 203: 414–424. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2018.06.118>.
- [11] Koord J, Stüvenc JL, Petersen E, Völkerink O, Hühne C. Investigation of exact analytical solutions for circular notched composite laminates under tensile loading. *Composite Structures* 2020; 243: 112180. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2020.112180>.
- [12] Echavarría C, Salenikov A. Analytical model for predicting brittle failures of bolted timber joints. *Materials and Structures* 2009; 42: 867–875. <https://doi.org/10.1617/s11527-008-9428-0>.
- [13] Hammoud H, Naaman AE. Ferrocement bolted shear joints: failure modes and strength prediction. *Cement and Concrete Composites* 1998; 20: 13-29. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(97\)87389-1](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(97)87389-1).
- [14] Mansur MA, Tan KL, Naaman AE. Strength of bolted moment connections in ferrocement construction. *Cement and Concrete Composites* 2010; 32: 532–543. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2010.04.001>.

- [15] Kwon Y, Chung S, Hong S. Strength and behavior of bolted ultra-high performance concrete panel joint with geometric parameter. *Journal of Applied Mechanical Engineering* 2017; 6: 261. <https://doi.org/10.4172/2168-9873.1000261>.
- [16] Camacho E, Serna P, López JA. UHPFRC bolted joints: failure modes of a new simple connection system. *High Performance Fiber Reinforced Cement Composites RILEM* 2012; 6: 421-428.
- [17] Echavarría C. Analyse d'une plaque orthotrope avec trou: Application aux assemblages en bois. Ph.D. thesis N° 2947, Swiss Federal Institute of Technology Lausanne EPFL, Switzerland 2004.
- [18] De Jong T. Stresses around pin-loaded holes in elastically orthotropic or isotropic plates. *Journal of Composite Materials* 1977; 11: 313-331. <https://doi.org/10.1177/002199837701100306>.
- [19] Bickley W. The distribution of stress round a circular hole in a plate. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical or Physical Character* 1928; 227: 383-415. <https://doi.org/10.1098/rsta.1928.0010>.
- [20] Graybeal B, Florent B. Development of direct tension test method for ultra-high-performance fiber-reinforced concrete. *ACI Materials Journal* 2013; 110: 177-186.

# Carta de control bayesiana asociada a no conformidades en las historias clínicas

## Bayesian control letter associated with non-conformities in medical records

**Carlos Alberto Hurtado Castaño\***  
**Stiven Villada-Gil\*\***  
**Juan Carlos Correa Morales\*\*\***

(Recibido el 05-09-2020. Aprobado el 05-11-2020)

### Estilo de citación de artículo:

C. A. Hurtado Castaño, S. Villada-Gil, and J. C. Correa Morales, "Carta de control bayesiana asociada a no conformidades en las historias clínicas", *Lámpsakos*, no. 24, pp. 23-32, julio-diciembre, 2020. DOI: 10.21501/21454086.3362

### Resumen

En el presente trabajo se exploró la utilización de una herramienta de común uso industrial, las cartas de control, en un ámbito netamente social, específicamente en la salud. Se pretendió exponer un método para introducir este concepto con base en herramientas de fácil uso e implementación; este concepto está constituido por la técnica propuesta por Ishikawa [1] como primera instancia del proceso, seguida de la implementación de la metodología Delphi en dos rondas y, finalmente, con una tercera ronda de Delphi, que usa el método de elicitación a mano alzada. Este proceso resultó ser novedoso debido a la estimación de los límites de control bayesianos y a la estimación de la distribución *a priori* a mano alzada; se acudió a expertos y se determinó la distribución predictiva *a posteriori* que permite la actualización permanente de los límites de control en un proceso social hasta donde sabemos no usado en la literatura. El resultado permitirá la generación de alertas tempranas de control del proceso, ya sea por el aumento no esperado de la cantidad de no conformidades o porque las innovaciones son sorprendentemente menores a lo esperado de acuerdo a la distribución de probabilidad *a posteriori*.

**Palabras clave:** Carta de control; Método Delphi; Estadística bayesiana; Control estadístico; Elicitación; Ishikawa; distribución *a priori*; Distribución de probabilidad *a posteriori*; Intervalo de confianza variable; Software estadístico R.

\* MSc. en Estadística, Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid. Facultad de Ciencias Básicas, Sociales y Humanas. Medellín, Colombia. Contacto: [carlosahurtado@elpoli.edu.co](mailto:carlosahurtado@elpoli.edu.co)

\*\* Ph.D en Ingeniería, Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid. Facultad de Ciencias Básicas, Sociales y Humanas. Medellín, Colombia. Contacto: [svillada@elpoli.edu.co](mailto:svillada@elpoli.edu.co)

\*\*\* Ph.D en Estadística, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Escuela de Estadística. Contacto: [jecorrea@unal.edu.co](mailto:jecorrea@unal.edu.co)

**Abstract**

In this work, using a commonly used industrial tool, such as control charts, was explored in a purely social environment, specifically in health. It was intended to present a method to introduce this easy-to-use tools-based concept and implementation. Based on the technique proposed by Ishikawa [1] as the first instance of the process, it is followed by the implementation of the Delphi methodology in two rounds and ending with a third round of Delphi, using the freehand elicitation method. This process turned out to be novel due to the estimation of the Bayesian control limits, the estimation of the a priori distribution by freehand, consulting experts, and the determination of a posteriori predictive distribution. These allow the permanent updating of the control limits in a social process, as far as we know, not used in the literature. This result will allow the generation of early alerts to control the process, either due to the unexpected increase in non-conformities or because the innovations are surprisingly less than expected according to the posterior probability distribution.

**Keywords:** Control chart, Delphi method, Bayesian statistics; Statistical processes control; Elicitation; Ishikawa; A priori distribution; A posteriori probability distribution; Variable confidence interval; R statistical software.

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3362>

## 1. INTRODUCCIÓN

El sistema de salud en Colombia es planeado a partir de los datos capturados a través de las historias clínicas; tales documentos electrónicos y físicos son valorados en cuanto a su calidad a través de trece criterios: motivo de consulta, antecedentes, revisión por sistemas, signos vitales, examen físico de cefalocaudal, énfasis motivo de consulta, impresión diagnóstica, apoyo diagnóstico realizado o pendiente, prescripción de medicamentos, acciones educativas y enfoque de riesgo, criterios clínicos, ortografía y racionalidad científica [1].

El control estadístico de procesos (SPC por sus siglas en inglés) se refiere a los métodos usados para monitorear y mejorar la calidad y productividad de ciclos de manufactura y servicios. Este involucra la implementación de cartas de control, usadas para detectar un cambio en la media o la varianza de un proceso que podría afectar la calidad del mismo. Las cartas de control están entre las herramientas más importantes y usadas en estadística [2].

Una carta de control es una gráfica en la que se despliega una medición de la característica de calidad de un proceso a través del tiempo. En cualquier proceso es útil conocer en cada instante hasta qué punto nuestros productos o servicios cumplen con las especificaciones preestablecidas. Podemos decir que la calidad de un producto tiene dos grandes *enemigos*: las desviaciones con respecto al objetivo especificado (falta de exactitud) y una excesiva variabilidad respecto a los valores deseables (falta de precisión) [3]. En procesos de medición de fenómenos sociales no es habitual encontrarse con cartas de control para la administración de los procesos. No obstante, estas herramientas pueden usarse al igual que en el sector industrial [4].

Una propiedad diferencial de los procesos sociales frente a los industriales es que los parámetros de medición, como la media o la varianza, pueden sufrir cambios en el tiempo, lo cual, de hecho, es con frecuencia lo que se busca. Un ejemplo de esto son las tasas de error en los registros clínicos de los usuarios de un sistema de salud; se espera que las mediciones de este estadístico bajen mes a mes en consonancia con los esfuerzos

que desarrolle la organización al respecto, con lo que las cartas de control tradicionales le exigen al proceso de medición introducirse en un ciclo de entrada y salida de las fases I y II del proceso de control, lo que convierte la carta del control en una herramienta poco práctica [5].

Una carta de control tiene como finalidad ser una herramienta útil para detectar el estado no aleatorio o fuera de control de un proceso. Si la detección de un punto fuera de control es lenta, se producen más artículos defectuosos o por fuera de especificaciones, lo que tiene como consecuencia un desperdicio y un costo mayor. En particular, las cartas de control establecen si el comportamiento de un proceso se mantiene en un nivel aceptable de calidad. Se espera que cualquier proceso experimente una variabilidad natural [6].

En un mundo ideal, podríamos diseñar un proceso con características de calidad que siempre cumplan con el objetivo sin ninguna variación. En un mundo real los productos tendrán siempre una variación respecto del objetivo y requerirán un control del proceso. En general todos los procesos mostrarán variaciones en sus características de calidad; en este sentido, tal variabilidad puede dividirse en dos [7], así:

- Variación debido a causas asignables.
- Variación debido a causas comunes, variación aleatoria (de causa desconocida o insignificante, diferenciada de la definición matemática –sin causa–) o inherente al proceso [3].

Las causas asignables, si existen, pueden deberse a la maquinaria, al material, al profesional, entre otras, mientras que las causas comunes son inherentes al proceso. Operacionalmente, un sistema funciona bajo causas comunes en cada realización del proceso. Estas dos fuentes de variación son la base para diferentes definiciones de proceso controlado o fuera de control.

Además, en las cartas de control *frecuentistas* no se incluye el conocimiento que los dueños del proceso tienen sobre el fenómeno que se está llevando a cabo,

pues dependen exclusivamente de la historia aportada por los datos. Este hecho, en particular, hace justificable la búsqueda de métodos como las cartas de control bayesianas, las cuales, además de tener en cuenta los cambios en los parámetros de interés medidos en el tiempo, también usan el conocimiento del proceso proveniente de expertos para proporcionar con frecuencia resultados aceptables por los interesados.

El problema en estudio es relevante por cuanto el adecuado registro en la historia clínica de los pacientes, permite mayor pertinencia en las conductas a seguir y además facilita la formulación de políticas públicas en salud con base en datos ciertos.

Aquí se presenta la construcción del proceso *elicitatorio*, la construcción de la distribución *a priori* a partir de la opinión de expertos y, por último, la construcción de los límites de control de la carta a partir de percentiles equivalentes a un intervalo de confianza, con una confianza del 95 % de la distribución de probabilidad predictiva *a posteriori* punto a punto, lo que implica no solo que los límites de control son variables, sino que también la distribución de probabilidad de los parámetros cambia a la luz de los nuevos datos.

En este artículo se pretende mostrar una aplicación social en el ámbito de control de calidad de historias clínicas en salud; una herramienta de uso industrial como la carta de control bajo el esquema bayesiano, cuyos límites de control han sido establecidos a través de un proceso de *elicitación* en tres etapas y cuyos resultados permitan a los responsables de auditoría tomar medidas tempranas para el mejoramiento del registro.

## 2. METODOLOGÍA

### Cartas de control bayesianas

En las cartas de control frecuentistas Shewhart [8], los límites de control se definen a partir de la historia del proceso o bien en una etapa I de evaluación previa a la

etapa de control. Se establece en esta etapa que el proceso está bajo control (dentro de los límites) para con ello dar continuidad a la etapa de monitoreo o control del proceso. La estructura de una carta de control está basada en el concepto frecuentista de corridas largas, es decir, el número de muestras antes de una detección fuera de control, de la cual se requiere una baja tasa de falsa alarma si el proceso está bajo control, y corta si el proceso realmente está fuera de control, lo que habla de la alta potencia de la carta [9].

Un problema que está siendo estudiado con enorme interés en control estadístico de procesos en los últimos años es el de escasos de datos en la fase I del proceso de control [9], [12]. Esta dificultad es frecuente en procesos cuyo control pueda ser costoso, cuyas mediciones obliguen a experimentación destructiva, conlleven considerable tiempo de ejecución o el producto, fruto del proceso de vigilancia, no admita periodo base de control.

Tsiamyrtzis y colaboradores [13] proponen no asumir límites de control provenientes de la fase I —con frecuencia restringida por el número de datos— sino cercarse al problema a través de técnicas bayesianas que permitan la actualización de los límites de control, en la medida en que nuevas realizaciones del proceso sean observadas desde una perspectiva bayesiana [14], [16].

Este método no implica establecer unos límites de control, sino la distribución *a priori* de los mismos, a partir de la cual se pueda construir la distribución *a posteriori* sustentada en las realizaciones nuevas del proceso a fin de hacer las inferencias correspondientes. Khatiwada & Sthapit [17] muestran que esto tiene sentido ya que es precisamente cuando hay pocos datos disponibles o cuando su obtención es costosa, que una creencia previa podría ser incorporada en la práctica.

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3362>

### Densidad *a priori*

Colosimo y colaboradores [9] introdujeron tres casos comunes de distribución *a priori*: uno de ellos, la *a priori* conjugada, asegura que la distribución de probabilidad *a posteriori* tendrá una forma cercana a la calculada a partir de la verosimilitud de los datos; la clase de *a priori* llamada *no conjugada* resulta de una propuesta de distribución con una forma distinta a la propuesta por los datos; y las *a priori* no informativas no proveen información acerca del parámetro. En esta propuesta de análisis bayesiano se necesita modelar el conocimiento *a priori* sobre los parámetros de la distribución *a priori* de los expertos, de tal suerte que tal distribución provenga de la experiencia y conocimiento de quienes son los dueños o responsables de este. Existen multiplicidad de formas en que se puede recabar el pensamiento *a priori* que los expertos tienen sobre un fenómeno en particular. La herramienta que se consideró útil para la obtención de información *a priori* en nuestro proceso es el método Delphi [18], que se modificó para la última etapa o ronda.

Se optó por la obtención de una distribución *a priori* construida a mano alzada por los expertos; la intención de la herramienta es que ellos describan gráficamente su conocimiento acerca de la distribución de probabilidad de la variable de interés, en este caso las no conformidades por historias clínicas auditadas. La ilustración correspondiente a las respuestas de cada uno de los expertos (en este caso auditores) es la presentada en la Figura 1.

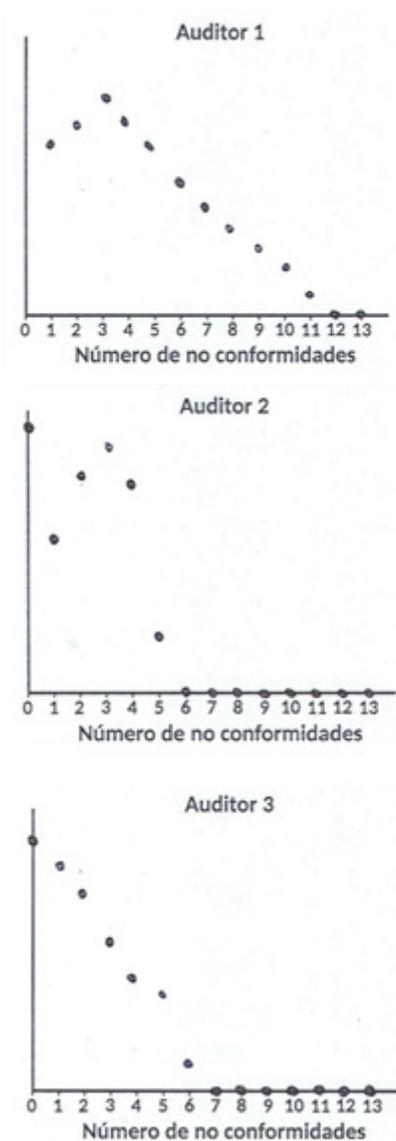


Figura 1. Elicitación a mano alzada de la probabilidad (eje *y*) del número de no conformidades promedio por historia clínica de acuerdo con uno de los expertos.

Nótese que el eje de las ordenadas no tiene escala alguna; esto fue hecho adrede con la finalidad de no perturbar la noción de probabilidad que cada auditor tiene en su cerebro, y más bien permitirle expresar su idea de la probabilidad de ocurrencia de cada evento. Las distribuciones *a priori* obtenidas de las opiniones de los expertos están resumidas en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros de la distribución gamma *a priori* propuesta por cada experto.

Parámetro	$\beta$	$\alpha$
Auditor 1	1,0477256	2,9609640
Auditor 2	0,6798596	3,02841630
Auditor 3	1,7240356	4,74110110

## Mezcla de distribuciones *a priori*

Las distribuciones *a priori* a mano alzada propuestas por los expertos deben ser ahora unificadas a través de alguna técnica que nos permita obtener solo una que incluya la información obtenida.

Clement & Winkler [19] proponen algunos métodos matemáticos para fusionar distribuciones; los más destacados son:

### 1. Mezcla de la opinión lineal

$$p(\theta) = \sum_{i=1}^n \omega_i p_i(\theta) \quad (1)$$

Donde  $n$  es el número de expertos,  $p_i(\theta)$  representa la distribución del experto  $i$ -ésimo para la variable  $\theta$ ,  $p(\theta)$  es la distribución combinada y  $\omega_i$  es el peso asignado al experto  $i$ , los cuales suman 1.

2. Aproximación bayesiana. Un esquema de actualización bayesiano es el método más oportuno para algunos expertos [20]. Este método proporciona una forma bayesiana para combinar información y rutas de asignación de pesos a los expertos. Si  $n$  expertos proporcionan información  $g_1, g_2, g_3, \dots, g_n$  para informar acerca del parámetro  $\theta$  de una distribución, puede usarse el teorema de Bayes con el fin de actualizar la información sobre  $p(\theta)$ ; esto es, consensuar matemáticamente la opinión de los expertos sobre  $\theta$  y, por ende, sobre  $p(\theta)$ , así:

$$p^* = p(\theta | g_1, g_2, g_3, \dots, g_n) = \frac{p(\theta)L(g_1, g_2, g_3, \dots, g_n | \theta)}{p(g_1, g_2, g_3, \dots, g_n)} \quad (2)$$

3. Otra aproximación allí propuesta es el promedio multiplicativo, llamado algunas veces mezcla de opinión logarítmica. La distribución de probabilidad combinada es de la forma:

$$p(\theta) = k \prod_{i=1}^n p_i(\theta)^{w_i} \quad (3)$$

Donde  $k$  es una constante normalizada,  $n$  es el número de expertos y los pesos  $w_i$  satisfacen algunas restricciones para asegurarse que  $p(\theta)$  es una distribución de probabilidad.

La solución adoptada para el problema abordado es la instrucción *gammamixEM* del paquete *mixtools* [21] del software estadístico R [22], el cual propone como solución una mezcla de distribuciones asociada a una ponderación establecida por el investigador, ordinariamente asociada con la credibilidad, experiencia y resultados de cada experto. Esta solución usa el algoritmo EM.

Para ello, debieron simularse conjuntos de datos asociados a cada distribución propuesta por cada experto; en este caso, doscientas simulaciones por distribución *a priori*. Con ellas, se procede a ejecutar el algoritmo propuesto que requirió 374 iteraciones para obtener un conjunto de parámetros asociados a la distribución de probabilidad mezclada que se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Parámetros de la distribución Gamma *a priori* procedente de la mezcla de distribuciones gamma de tres expertos.

$\alpha$	$\beta$
2,841210	0,85415664

Como consecuencia del modelo experimental usado —número de ensayos hasta obtener un éxito en condiciones de  $p$  (éxito) pequeña— podemos decir que la variable de interés tiene una distribución de probabilidad

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3362>

Poisson, conduciendo a elegir como distribución *a priori* informativa para  $\lambda$  a la distribución de probabilidad Gamma.

Es destacable que  $\lambda$  puede dársele tratamiento estocástico, por cuanto es un parámetro cuyo valor en el tiempo  $i$  depende de las realizaciones observadas de la variable aleatoria en el instante  $i - 1$ . Esta es fundamentalmente una idea novedosa para los tipos de modelos de cartas de control tradicionales.

En general, la representación del modelo es:

$$y_i \sim \text{Poisson}(\lambda) \tag{4}$$

Con distribución de probabilidad para  $\lambda_i$

$$\lambda_i \sim \text{Gamma}(\alpha, \beta) \tag{5}$$

### 3. RESULTADOS

La construcción de la distribución predictiva *a posteriori*, y desde luego de la carta de control bayesiana, con base en la elicitación ejecutada con el grupo de expertos, puede mostrarse como:

La distribución predictiva *a posteriori* es una Binomial - Negativa con media  $\frac{\sum_{i=1}^n x_i + \alpha}{n + \beta}$  y varianza  $\frac{\sum_{i=1}^n x_i + \alpha}{(n + \beta)^2} (n + \beta + 1)$ . Con estas cuentas, estamos en capacidad de definir un intervalo de probabilidad  $r$ , que cubra el valor de  $p$ ; es decir, un intervalo con extremos  $a$  y  $b$  que satisfagan la ecuación (6).

$$\int_a^b f(p|x) dp = r \tag{6}$$

Habitualmente se escogen  $a$  y  $b$  de manera que deja probabilidad  $\frac{1-r}{2}$  a su izquierda y  $\frac{1-r}{2}$  a su derecha.

La distribución predictiva *a posteriori* está dada por  $p(x_{new} | x)$  que expresa la probabilidad de ocurrencia de la innovación observada a la luz de los datos previos, permitiendo con ello el cálculo de un intervalo de confianza para la respuesta media que se traduce en la localización de los límites de control para la innovación  $x_{new+1}$ .

$$p(x_{new} | x) = \frac{\Gamma(x_{new} + \sum x_i + \alpha)}{\Gamma(\sum x_i + \alpha) \Gamma(\sum x_{new} + 1)} \left( \frac{n + \beta}{n + \beta + 1} \right)^{\sum x_i + \alpha} \left( \frac{1}{n + \beta + 1} \right)^{x_{new}} \tag{7}$$

Para la construcción definitiva de la carta de control se eligió un intervalo con  $r = 0,95$ . En la Figura 2 se presenta la carta de control clásica para el número de no conformidades por historia clínica, mientras que la Figura 3 presenta la carta de control bayesiana cuyos límites de control han sido elicitados con el concurso de expertos.

Obsérvese que en la carta de control de la Figura 2 calculada con el método clásico presentado en las ecuaciones (8) y (9) muchos de los puntos del proceso están por fuera de los límites de control, sea porque en verdad el proceso está fuera de control o por falsas alarmas.

$$LCI = \max \left( \hat{\lambda} - 3 \sqrt{\hat{\lambda}/m_i}, 0 \right) \tag{8}$$

$$LCS = \hat{\lambda} + 3 \sqrt{\hat{\lambda}/m_i} \tag{9}$$

Figura 2. Carta de control clásica para controlar las no conformidades por historia clínica.

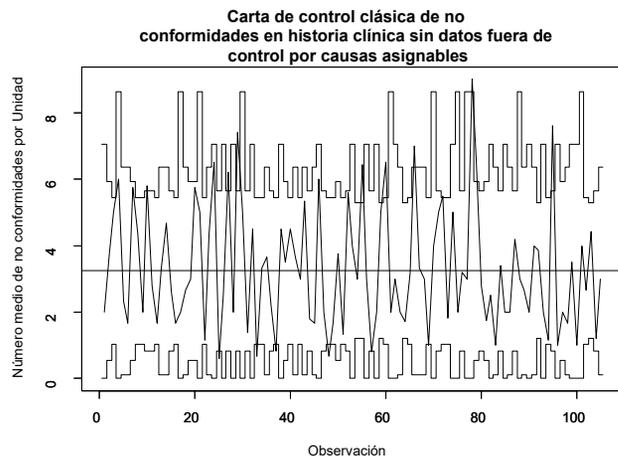


Figura 3. Carta de control clásica para controlar las no conformidades por historia clínica.

Por otro lado, la carta de control bayesiana presentada en la Figura 3, cuyos límites de control son calculados con la ayuda de la distribución de probabilidad predictiva *a posteriori* presentada en la ecuación (7), no muestra signos de que el proceso está fuera de control y, de hecho, no hay alarmas que digan al analista que debe parar o revisar su proceso.

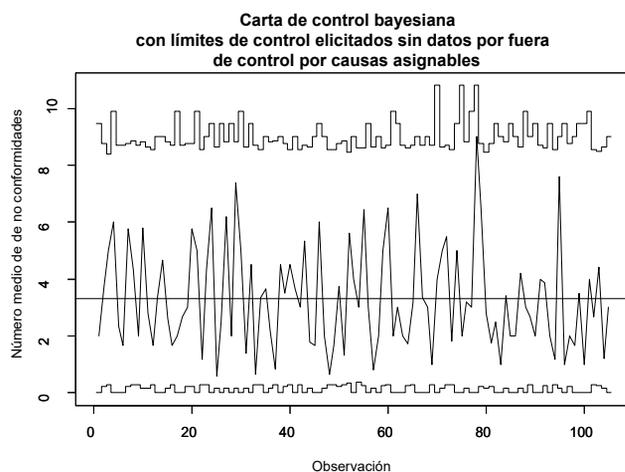


Figura 4. Carta de control bayesiana con límites de control elicitados de las no conformidades por historia clínica.

## 4. DISCUSIÓN

La aplicación de cartas de control bayesianas del número de no conformidades en las historias clínicas permite que la capacidad del proceso sea mayor en el sentido de que se genera un menor volumen de falsas alarmas; en este sentido, cabe construir un procedimiento para el cálculo de las curvas características de operación para estas cartas de control que se alejan de la tradicional teoría de normalidad de los datos.

Las distribuciones de probabilidad *a priori* son el objeto de estudio más relevante para la definición de una carta de control útil, por lo que el procedimiento aquí expuesto lo pone en evidencia.

## 5. CONCLUSIONES

En este trabajo se muestra la construcción de una carta de control en el campo social de la salud, aunque se ha tratado de una herramienta tradicionalmente usada en el ámbito industrial; se contó con la participación del personal de salud responsable de controlar el proceso de manera directa.

La inclusión del conocimiento de expertos en el cálculo de los límites de control de la carta de control proporciona un valor agregado superior en términos del acercamiento a la realidad del fenómeno más allá de la verosimilitud de los datos, además de hacerla más creíble por los responsables de su uso.

La falta de datos para la consecución de la fase I del proceso de construcción de una carta de control suele ser una limitación, pero es evitable con el uso de esta carta de control bayesiana que se propuso para este fenómeno.

Las ventajas de considerar los parámetros de la carta de control como variables aleatorias permite que en la medida en que las intervenciones del proceso surten efecto en los datos, como es el caso de las no confor-

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3362>

midades en las historias clínicas, los límites se autoajustan sin requerir reiniciar el proceso de construcción de la carta de control.

Los expertos pueden ajustar sus opiniones en cualquier momento, reacomodando con esto los límites de control calculados a partir de sus experiencias y la verosimilitud de los datos.

## 6. CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran la inexistencia de conflicto de interés con institución o asociación comercial de cualquier índole.

## 7. REFERENCIAS

- [1] K. Ishikawa, *Guide to Quality Control*. Tokio, Japan: Asian Productivity Organization, 1986.
- [2] W. Woodall and M. Mahmoud, "The Inertial Properties of Quality Control Charts," *Technometrics*, vol. 46, no. 47, pp. 425-436, 2005, doi: <https://doi.org/10.1198/004017005000000256>
- [3] J. Juran y F. Gryna, *Manual de control de calidad*. Madrid, España: McGraw-Hill, 1993.
- [4] S. Limaye, C. Mastrangelo and D. Zerr, "A case study in monitoring hospital associated infections with count control charts," *Quality Engineering*, vol. 20, no. 4, pp. 404-413, 2008, doi: <https://doi.org/10.1080/08982110802334120>
- [5] W. Chiu and M. Leung, "A new Bayesian approach to quality control charts," *Metrika*, vol. 2, no. 1, pp. 243-253, 1980, doi: <https://doi.org/10.1007/BF01893602>
- [6] R. Walpole, *Probabilidad y Estadística para Ingenieros*. México D.F., México: Prentice – Hall Hispanoamericana S.A., 1999.
- [7] W. Deming, *Out of the Crisis*. Cambridge, Inglaterra: M.I.T. Press Cambridge M.A., 1986.
- [8] W. Shewhart, "Quality control charts". *Bell System Technical Journal*, vol. 5, no. 4, pp. 593-603, 1926. <https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1926.tb00125.x>
- [9] H. Gutiérrez, "Cartas de Control Bayesianas para Atributos y el Tamaño de Subgrupo Grande en la Carta p," *Revista Colombiana de Estadística*, vol. 29, no. 2, pp. 163-180, 2006. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/estad/article/view/29180>
- [10] B. Colosimo, and E. del Castillo, *Bayesian Process Monitoring – Control and Optimization*. Boca Raton, Estados Unidos: Chapman and Hall/CRC-Taylor and Francis Group, 2007.
- [11] P. Tsiamyrtzis, *A Bayesian Approach to Quality Control Problems*, PhD thesis, Faculty of the Graduate School, University of Minesota, 2000.
- [12] Y. Zhijian, "Multivariate Bayesian Process Control", PhD thesis, Mechanical and Industrial Engineering, University of Toronto, 2008.
- [13] P. Tsiamyrtzis, and D. Hawkins, "A Bayesian Scheme to Detect Changes in the Mean of a Short-Run Process," *Technometrics*, vol. 47, no. 4, pp. 446-456, 2005, doi: <https://doi.org/10.1198/004017005000000346>
- [14] J. Bernardo and A. Smith, *Bayesian Theory*. New York, United States: Wiley and Sons, 1994.
- [15] R. Marcellus, "Bayesian Statistical Process Control," *Quality Engineering*, vol. 20, no. 1, pp. 113-127, 2008, doi: <https://doi.org/10.1080/08982110701509046>
- [16] J. Marin, and C. Robert, *Bayesian Core. A Practical Approach to Computational Bayesian Statistics*. New York, United States: Springer, 2007.

- [17] R. Khatiwada, and A. Sthapit, "An application of bayesian method in packaged food quality control," *Nepal Journal of Science and Technology*, vol. 9, pp. 41-48, 2008, doi: <https://doi.org/10.3126/njst.v9i0.3163>
- [18] M. Grime, and G. Wright, "Delphi Method," *Wiley StatsRef: Statistics Reference Online*, 2016, doi: <https://doi.org/10.1002/9781118445112.stat07879>
- [19] R. Clement, and R. Winkler, "Combining Probability Distribution from Experts in Risk Analysis," *Risk Analysis*, vol. 19, no. 2, pp. 187-203, 1999. <https://faculty.fuqua.duke.edu/~clemen/bio/Published%20Papers/28.CombiningDistributions-Clemen&Winkler-RA-99.pdf>
- [20] R. Clement, and R. Winkler, "Combining Economic Forecasts," *Journal of Business & Economic Statistics*, vol. 4, no. 1, pp. 39-46, 1986, doi: <https://doi.org/10.2307/2583199>
- [21] T. Benaglia, D. Chauveau, D. Hunter and D. Young, "Mixtools: An R Package for Analyzing Finite Mixture Models," *Journal of Statistical Software*, vol. 32, no. 6, pp. 1-29, 2009.
- [22] R Core Team, "R: A Language and Environment for Statistical Computing". Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2013.

# Análisis numérico del flujo sobrexandido en la tobera cónica experimental ULA-2 fuera de diseño

## Numerical analysis of over-expanded flow in the experimental ULA-2 conical nozzle out of design

**San Luis B. Tolentino Masgo\***  
**Jorge Luis Mírez Tarrillo\*\***

(Recibido el 17-08-2020. Aprobado el 01-10-2020)

### Estilo de citación de artículo:

S. L. Tolentino Masgo, and J. L. Mírez Tarrillo, "Análisis numérico del flujo sobrexandido en la tobera cónica experimental ULA-2 fuera de diseño", *Lámpsakos*, no. 24, pp. 33-47, julio-diciembre, 2020. DOI: 10.21501/21454086.3707

### Resumen

En la Universidad de Los Andes, Venezuela, el GCAE ha diseñado y fabricado un grupo de toberas supersónicas con longitud de garganta, las cuales han sido empleadas en su fase experimental en motores de cohetes sonda de la serie ULA. En el presente trabajo el objetivo es analizar el comportamiento del campo de flujo sobrexandido en la tobera cónica experimental ULA-2, que tiene un ángulo medio de la divergente de  $9^\circ$ , considerado una tobera fuera de diseño. El campo de flujo se simuló en un dominio computacional 2D con el código *Ansys-Fluent* para dos casos de longitud de garganta; se empleó el modelo RANS en conjunto con el modelo de turbulencia de Menter, y para la viscosidad la ley de Sutherland. Los resultados del campo de número de Mach, presión y temperatura, para la sección de la garganta con mayor longitud presentaron fluctuaciones producto de las ondas de choque oblicuas, y para la menor longitud no se presentaron fluctuaciones. Se concluye que existe una influencia de la longitud de garganta en el desarrollo del flujo en esa sección; sin embargo, la longitud de garganta no influye de manera significativa en la velocidad del flujo a la salida de la tobera.

**Palabras clave:** Cohete sonda; Campo de flujo; Dominio computacional; Flujo sobrexandido; Fluctuación; Modelo de turbulencia; Longitud de garganta; Onda de choque; Simulación; Tobera cónica.

\* Magíster en Ingeniería Mecánica, doctorando de la Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre, vicerectorado Puerto Ordaz, Bolívar – Venezuela, investigador colaborador en la Universidad Nacional de Ingeniería, integrante del Grupo de Modelamiento Matemático y Simulación Numérica, Lima-Perú. Contacto: [sanluist@gmail.com](mailto:sanluist@gmail.com)

\*\* Doctor en Física, docente investigador de la Facultad de Ingeniería de Petróleo, Gas y Petroquímica en la Universidad Nacional de Ingeniería, líder del Grupo de Modelamiento Matemático y Simulación Numérica, Lima-Perú. Contacto: [jmirez@uni.edu.pe](mailto:jmirez@uni.edu.pe)

**Abstract**

At the University of Los Andes, Venezuela, the GCAE has designed and manufactured a group of supersonic nozzles with throat length, which have been used in their experimental phase in sounding rocket engines of the ULA series. In the present work the objective is to analyze the behavior of the over-expanded flow field in the experimental conical nozzle ULA-2, which has a mid angle of the divergent of  $9^\circ$ , considered an out of design nozzle. The flow field was simulated in a 2D computational domain with the Ansys-Fluent code for two throat length cases, the RANS model was used in conjunction with the Menter turbulence model, and for Sutherland's law viscosity. The results of the Mach number, pressure and temperature field, for the longest throat section had fluctuations resulting from the oblique shocks wave, and for the shorter length no fluctuations were presented. It is concluded that, there is an influence of throat length on the development of the flow in that section; however, the throat length does not significantly influence the flow rate at the outlet of the nozzle.

**Keywords:** Sounding rocket; Flow field; Computational domain; Over-expanded flow; Fluctuation; Turbulence model; Throat length; Shock wave; Simulation; Conical nozzle.

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3707>

## 1. INTRODUCCIÓN

En el campo de la ingeniería aeroespacial existen diferentes tipos de toberas convergentes-divergentes que tienen diferentes aplicaciones de acuerdo a la geometría de los perfiles aerodinámicos de las paredes internas. En una tobera, según la presión de la cámara de combustión y del ambiente, el flujo puede estar sobrexexpandido, adaptado o subexpandido. Las toberas se diseñan considerando el ángulo medio,  $\alpha$ , de la sección divergente dentro del rango de  $12^\circ \leq \alpha \leq 18^\circ$ ; para valores menores de  $12^\circ$  son consideradas toberas fuera de diseño [1].

Para un flujo sobrexexpandido, la onda de choque se presenta dentro de la tobera, en consecuencia, hay cambios abruptos de las magnitudes termodinámicas tales como la presión, temperatura, velocidad y densidad, antes y después del choque; así como la separación de la capa límite de la pared de la tobera, recirculación de flujo, gradientes adversos de presión, turbulencia, separación de flujo, cargas laterales de presión y asimetría en el desarrollo del flujo [2], [3], [4], [5], [6], [7]; por lo cual, la pared de la tobera sufre cambios rápidos de cargas de presión y de temperatura. Con respecto a la temperatura en la pared, con fines ilustrativos, se muestra el efecto térmico en la Fig. 1, la cual fue tomada del trabajo de Riveros & Rodriguez [8]. En la imagen se distingue un tono de color azul más intenso en la divergente de la tobera cónica, el cual es característico de materiales de acero cuando alcanzan altas temperaturas. En esa región con forma de anillo de azul intenso el flujo presenta una onda de choque; además, el gradiente de temperatura en la pared de la tobera interactúa con el flujo interno y externo [9].



Fig. 1. Tobera cónica sometida a ensayo experimental en estática [8]. El tono de color más intenso indica que en esa región se presentó la onda de choque.

Durante los ensayos experimentales en laboratorio, para un flujo sobrexexpandido, las formas de las ondas de choque son captadas en imágenes con la técnica Schlieren [10], [11], cuando las paredes son transparentes, para el caso de un flujo frío. Cuando el flujo es caliente, la toma de captura de imágenes es imposible por las paredes metálicas de la tobera y solo se limitan a las capturas de las ondas de choque fuera de la misma. Además, mediante la técnica Schlieren, no es posible registrar las magnitudes de los parámetros termodinámicos del flujo. Sin embargo, las formas de las ondas de choque que se presentan dentro y fuera de la tobera pueden ser reproducidas aplicando la dinámica de fluidos computacional (CFD, por sus siglas en inglés) [12] y cuantificar las magnitudes de los parámetros termodinámicos en diferentes regiones del campo de flujo.

Diferentes países alrededor del mundo han centrado el interés en el desarrollo de cohetes sonda, dirigidos por centros de investigación, así como por universidades, fundamentados en proyectos académicos [13], [14], [15], [16]. En América del sur dos países tiene el mayor avance tecnológico en cohetes sonda, la Agencia Espacial Brasileña (AEB) de Brasil y la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) de Argentina; en Perú está a cargo la Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial (CONIDA).

En la República Bolivariana de Venezuela, el desarrollo, diseño y fabricación de cohetes sonda y toberas con longitud de garganta, está a cargo de la Universidad de Los Andes (ULA), con sede en el Estado Mérida, como parte del proyecto cohete sonda serie ULA que desarrolla la Comisión Rectoral del Programa de Ciencias Espaciales (CRPCE) y el Grupo de Ciencias Atmosféricas y del Espacio (GCAE) [17]. Las toberas han sido sometidos a ensayos experimentales en estática y empleados en dinámica como parte de los motores de cohetes sonda que emplean combustible sólido de nitrato de potasio y sacarosa ( $\text{KNO}_3 + \text{SO}$ ) [17]. En la Fig. 2 se ilustra el grupo de cohetes de la serie ULA-1 y ULA-2, el posicionamiento del cohete sonda ULA-2 y su lanzamiento al espacio. Otros estudios de toberas con longitud de garganta han sido empleados en motores

de cohetes sonda experimentales con fines de investigación por otras instituciones fuera del territorio venezolano, los cuales están reportados en [18], [19].

Estudios previos de simulaciones computacionales del campo de flujo de una tobera clasificada como ULA-1A XP con ángulo medio de  $11^\circ$ , diseñada por la ULA, reportaron desaceleraciones del flujo en la longitud de garganta con presencia de ondas de choque oblicuas [20]. En ese sentido, motivó el interés en continuar con la investigación del desarrollo del flujo para otros tipos de toberas con longitud de garganta con ángulo medio que sean menores de  $11^\circ$ , con el fin de comparar los resultados y tener un criterio de análisis más amplio del conocimiento del régimen del flujo.

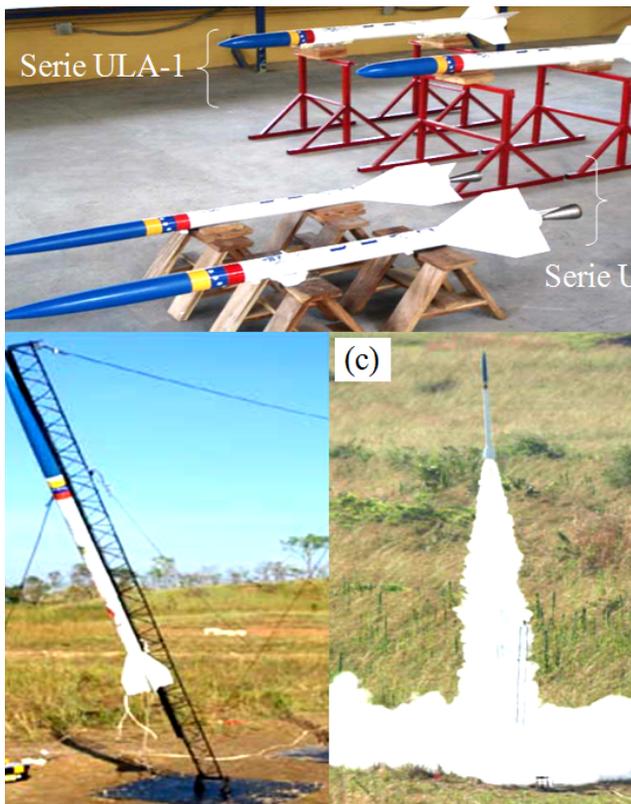


Fig. 2. (a) Grupos de cohetes sonda de combustible sólido Serie ULA-1 y Serie ULA-2. (b) Posicionamiento del cohete sonda ULA-2 en la plataforma de lanzamiento. (c) Lanzamiento del cohete sonda ULA-2 [17].

En el presente trabajo el objetivo es analizar el campo de flujo sobrepandido en la tobera ULA-2 supersónica diseñada con ángulo medio de  $9^\circ$  [17], así mismo,

determinar para cuál longitud de garganta se reducen las desaceleraciones del flujo en dicha sección. Para obtener los resultados esperados, el flujo se simula en un dominio computacional 2D de simetría axial con un código comercial de la CFD. En la sección dos se presenta la metodología, donde se expone el fundamento matemático, el dominio y el método de solución computacional. En la sección tres se presentan los resultados del campo de flujo de número de Mach, presión estática y temperatura estática. En la sección cuatro se exponen las conclusiones. Seguidamente, en la sección cinco se presenta el trabajo a futuro para dar continuidad en la misma línea de investigación.

## 2. METODOLOGÍA

### Fundamento matemático

El campo de flujo compresible en condiciones estacionarias se simuló con el código *Ansys-Fluent* versión 12.1, el cual aplica el método de volumen finito (MVF), y fue resuelta con el modelo de las ecuaciones de Navier-Stokes de número de Reynolds promedio (RANS, por sus siglas en inglés). Cabe señalar que en RANS se acopla el modelo de turbulencia [21] de acuerdo a las condiciones del régimen de flujo.

Las ecuaciones gobernantes son: la conservación de la masa, de la cantidad de movimiento, de la energía y de estado [22], las cuales se expresan como:

Conservación de la masa:

$$\nabla \cdot (\rho u_i) = 0 \quad (1)$$

La densidad es  $\rho$  y la velocidad  $u$ .

Cantidad de movimiento:

$$\nabla \cdot (\rho u_i u_j) = -\nabla p + \nabla \cdot (\bar{\tau}) + \nabla \cdot (-\rho \overline{u'_i u'_j}) \quad (2)$$

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3707>

La presión es  $p$ ; el tensor de tensiones  $\bar{\tau}$ , las tensiones de Reynolds  $-\rho\overline{u'_i u'_j}$ , y las fluctuaciones  $u'$ . La ecuación está cerrada ya que incluye el término de tensiones de Reynolds.

Conservación de la energía:

$$\nabla \cdot (u_i (\rho E + p)) = \nabla \cdot (k_{eff} \nabla T + (\bar{\tau}_{eff} \cdot u_i)) \quad (3)$$

La energía total es  $E$ , la temperatura  $T$ , la conductividad térmica efectiva  $k_{eff}$  y el tensor de tensiones efectivo  $\bar{\tau}_{eff}$ .

Ecuación de estado:

$$p = \rho RT \quad (4)$$

La constante del gas es  $R$ .

Para un flujo compresible, los parámetros termodinámicos presión, temperatura y densidad están en función del número de Mach  $M$ . Las consideraciones para el rango de número de Mach son las siguientes: para  $M < 0,3$  el flujo es incompresible; para  $0,3 < M < 0,8$  el flujo es subsónico; en el rango de  $0,8 < M < 1,2$  el flujo es transónico; para  $1,2 < M < 5$  el flujo es supersónico; y para  $M > 5$  el flujo es hipersónico; y para el flujo con velocidad sónica se tiene  $M = 1$  [2], [3]. Cabe señalar que White [3] considera que para valores mayores de Mach 3 el flujo es hipersónico, y Anderson [23], a partir de Mach 5.

Para la viscosidad del flujo en función de la temperatura se tomó en consideración la ley de Sutherland [2], [24], y esta ley es el resultado de una aproximación de la teoría cinética de los gases, de la idealización del potencial de la fuerza intermolecular; la cual se expresa como:

$$\frac{\mu}{\mu_0} = \left( \frac{T}{T_0} \right)^{\frac{3}{2}} \frac{T_0 + S}{T + S} \quad (5)$$

La viscosidad de referencia es  $\mu_0$ , la temperatura de referencia  $T_0$  y la temperatura efectiva  $S$ . Acotando que la temperatura efectiva es conocida como la constante de Sutherland, la cual es una característica del gas y están tabulados para diferentes rangos de temperatura para diferentes tipos de gases [24].

Para la simulación de la turbulencia del flujo compresible se empleó el modelo de turbulencia SST  $k - \omega$  de Menter [25], el cual es resuelto en conjunto con la ecuación de la cantidad de movimiento en RANS. Es un modelo de dos ecuaciones, una para la energía cinética específica  $k$  y la otra para la tasa de disipación específica  $\omega$ , que logra mejorar las respuestas en el desarrollo del flujo con presencia de gradientes adversos de presión y separación de flujo debido al desprendimiento de la capa límite, por lo cual, permite el transporte de esfuerzos cortantes en las regiones adyacentes a las paredes. El modelo de turbulencia de Menter ha sido evaluado para diferentes condiciones del régimen del flujo compresible y comparado con datos experimentales [26], [27], presentando resultados satisfactorios; por lo cual, es un modelo adecuado para ser empleado en el campo de flujo sobrexexpandido del presente trabajo.

## Dominio computacional

La geometría de la tobera cónica experimental ULA-2 tiene una longitud de garganta  $L_g = 21,38$  mm y diámetro de la garganta  $D_g = 23,4$  mm, siendo  $L_g/D_g = 0,9136$ ; y longitud de la divergente  $L_d = 148,8$  mm,  $L_d/D_g = 6,35$ . La sección convergente tiene un ángulo medio  $20^\circ$  y la divergente un ángulo medio  $\alpha = 9^\circ$ . Se señala que el esquema y dimensiones de detalles de la tobera ULA-2 están reportados en [17]. Por la simetría que tiene la tobera cónica se consideró un dominio 2D, el cual se muestra en la Fig. 3; las dimensiones están dadas en milímetros, en el mismo dominio se muestra dónde se aplican las condiciones

de borde (C. B.); así como se muestra el dominio malla- do. Además, se consideró un segundo dominio con longitud de garganta  $L_g = 1 \text{ mm}$ , que tiene  $L_g/D_g = 0,042$ , y no se muestra el dominio por ser repetitivo.

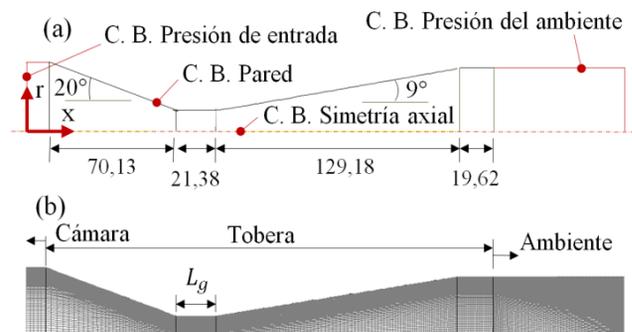


Fig. 3. (a) Dominio computacional 2D en el plano de simetría con el eje x. (b) Dominio malla- do con 25100 celdas cuadriláteras.

El dominio 2D está configurado con una sección corta de la cámara de combustión, la tobera, y una sección del ambiente que corresponde a la atmósfera local del entorno. Cabe señalar que la tobera ULA-2 al final de la divergente tiene una sección recta de 19,62 mm, la cual es parte de su diseño original.

Para la simulación del flujo en el dominio 2D, los gases quemados en la cámara de combustión del propelente sólido compuesto por nitrato de potasio y sacarosa ( $\text{KNO}_3 + \text{SO}$ ) se consideró como gas ideal; los ensayos experimentales de la presión están reportadas en [28] y de la temperatura en [29]. Como parámetro se fijó para el gas ideal la relación de calor específico  $\gamma = 1,4$ , la constante del gas  $R = 287 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ , el calor específico a presión constante  $C_p = 1006,43 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$  y la conductividad térmica  $k = 0,0242 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ .

Para las condiciones de borde, se tomaron las siguientes consideraciones para los dominios con longitud de garganta  $L_g = 21,38 \text{ mm}$  y  $L_g = 1 \text{ mm}$ :

- Las condiciones del flujo en la cámara de combustión se establecieron a la presión de 709 kPa y de la temperatura a 1673,15 K; para el ambiente de la

atmósfera se fijaron a 98 kPa y 293,15 K; la relación de presión ( $rp$ ) entre la presión de la cámara y de la presión del ambiente es  $rp = 7,234$ .

- Las paredes de la cámara y de la tobera se consideraron adiabáticas y la velocidad del flujo en esas paredes se consideró nula por la condición de no deslizamiento.
- En la simetría axial, en el eje  $x$ , la velocidad del flujo en la dirección radial es nula.

El dominio con longitud de garganta  $L_g = 21,38 \text{ mm}$ , la cual se muestra en la Fig. 3, se malló con celdas cuadriláteras estructuradas en la plataforma *Ansys-Meshing* en *Workbench*, aplicando el MVF, se discretizó el dominio mediante la interacción *ICEM-CFD*. En la dirección radial se dividió el dominio en 100 partes a lo largo de todas las secciones, para la sección recta, convergente y divergente, con *bias factor* igual a 50 hacia las paredes para que las regiones adyacentes a las paredes sean más refinadas por la presencia del esfuerzo cortante y de la capa límite. En la dirección axial del eje  $x$ , el tramo recto de la sección de la cámara de combustión se dividió en 5 partes; la la convergente se dividió en 30 partes; la longitud de la garganta en 56 partes; en la divergente en 100 partes; y la sección recta perteneciente a la atmósfera se dividió en 60 partes; para un total 25100 celdas en todo el dominio.

Cabe señalar que el dominio malla- do mostrado en la Fig. 3 corresponde al tercer malla- do luego de un estudio de convergencia. El dominio se refinó tres veces: el primer malla- do se discretizó con 24290 celdas, el segundo malla- do con 24960 celdas y el tercer malla- do con 25100 celdas, siendo para los tres casos la densidad de la malla alta. Para los tres casos de malla- do, el espaciamiento mínimo de la celda en la pared de la tobera se ubicó por debajo de  $y^+ < 1$ . Para cualquier celda bidimensional de un dominio computacional, para que la malla sea de buena calidad, el sesgo equiángulo debe estar en el rango de  $0 \leq Q_{EAS} \leq 1$  [30]; para el dominio del tercer malla- do, se obtuvo  $Q_{EAS} = 0,39$ .

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3707>

Para el segundo dominio, con longitud de garganta  $L_g = 1 \text{ mm}$ , se malló con 21100 celdas cuadriláteras, y la disminución de las celdas fue debido a la disminución de la longitud de la garganta; y no se realizó ningún estudio de convergencia por tener las mismas características del tercer mallado del primer dominio. Por la complejidad del campo de flujo sobrexexpandido con presencia de ondas de choque en la divergente se consideró analizar la relación de áreas en la posición local  $A/A^* = 1,2$ , en la región donde el flujo no presenta ondas de choque, y se obtuvo mediante simulación numérica Mach 1,5. Con la ecuación analítica (6) [2] correspondiente a la teoría para flujo cuasiunidimensional para  $\gamma = 1,4$  y  $A/A^* = 1,2$  se obtuvo Mach 1,54, siendo la diferencia entre ambos resultados  $M: 1,54 - 1,5 = 0,04$ ; por lo cual, el resultado numérico del proceso de validación de la convergencia numérica es aceptable.

$$\frac{A}{A^*} = \frac{1}{M} \left( \frac{1 + \frac{\gamma-1}{2} M^2}{\frac{\gamma+1}{2}} \right)^{\frac{\gamma+1}{2\gamma-2}} \quad (6)$$

### Método de simulación computacional

En el código *Ansys-Fluent*, se consideró la solución de análisis basado en densidad para un fluido compresible y simetría axial 2D. Se seleccionó el modelo de turbulencia SST  $k - \omega$  Menter para la turbulencia del flujo, la ley de Sutherland para la viscosidad en función de la temperatura. Para el flujo se estableció el calor específico a presión constante  $C_p = 1006,43 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$  y la conductividad térmica  $k = 0,0242 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ . Para la presión de entrada se definió la intensidad turbulenta con valor de 1,5 % y la relación de la viscosidad turbulenta con magnitud de 10; así mismo para la presión de salida, para la intensidad turbulenta de contraflujo con magnitud 1,5 % y la relación de la viscosidad turbulenta de contraflujo con magnitud de 10. Para la solución del flujo en estado estacionario se seleccionó la formulación implícita, tipo de flujo: Roe-FDS. Para la discretización espacial del gradiente se optó por las celdas basadas en el mínimo cuadrado; para el flujo, la energía cinéti-

ca turbulenta y para la tasa de disipación específica, se seleccionó la opción Second Order Upwin. El monitor residual se acondicionó para un valor fijo de 0,00001, tanto para la continuidad, la velocidad y la energía. La simulación del flujo para el mallado final del dominio 2D con longitud de garganta  $L_g = 21,38 \text{ mm}$  reportó 16130 iteraciones, y para  $L_g = 1 \text{ mm}$  reportó 14221 iteraciones. Se obtuvieron los resultados del campo de número de Mach, presión y temperatura. Para el procesamiento de datos de la simulación computacional se empleó un equipo con las siguientes características: Laptop marca Síragon, modelo M54R, Intel Core 2 Duo, dos procesadores de 1,8 GHz, memoria RAM de 3 GB.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se presentan los resultados del campo de flujo sobrexexpandido para el número de Mach, presión estática y temperatura estática; las líneas de contorno y los perfiles evaluados en la simetría axial del eje  $x$ , y en las paredes de la tobera experimental ULA-2.

Como puede verse en la Fig. 4, los gradientes de Número de Mach, presión estática y temperatura estática en el campo de flujo muestran sus magnitudes máximas y mínimas. En la longitud de garganta  $L_g = 21,38 \text{ mm}$  se presentan ondas de choque oblicuas y reflejadas, en consecuencia, el flujo se acelera antes del choque y desacelera después del choque, presentando fluctuaciones bruscas de sus parámetros termodinámicos. En la sección divergente, el flujo se acelera hasta cierta distancia y se frena bruscamente debido al choque, y aguas abajo el choque presenta diferentes configuraciones; la capa límite se desprende de la pared y el flujo se separa; aguas abajo, en las regiones adyacentes a las paredes, se presenta una recirculación del flujo a bajas presiones.

La región que presenta el inicio de la separación del flujo produce un cambio de presión, producto de la onda de choque oblicua. También, la temperatura

alcanza un valor máximo cuando se frena el flujo y después del choque oblicuo disminuye drásticamente. Incluso, se puede observar en la región de circulación del flujo un color más azulado, que se encuentra adyacente de la pared, lo cual muestra que el flujo se encuentra a menor temperatura que en otras regiones. Una imagen ampliada de la temperatura del flujo en la divergente se muestra en la Fig. 5, en la que se observa en cuál región el flujo adyacente a la pared alcanza la mayor temperatura; en la simulación computacional se han considerado paredes adiabáticas, por lo cual, el flujo adyacente a la pared antes del choque presenta mayor temperatura y después del choque, menor temperatura.

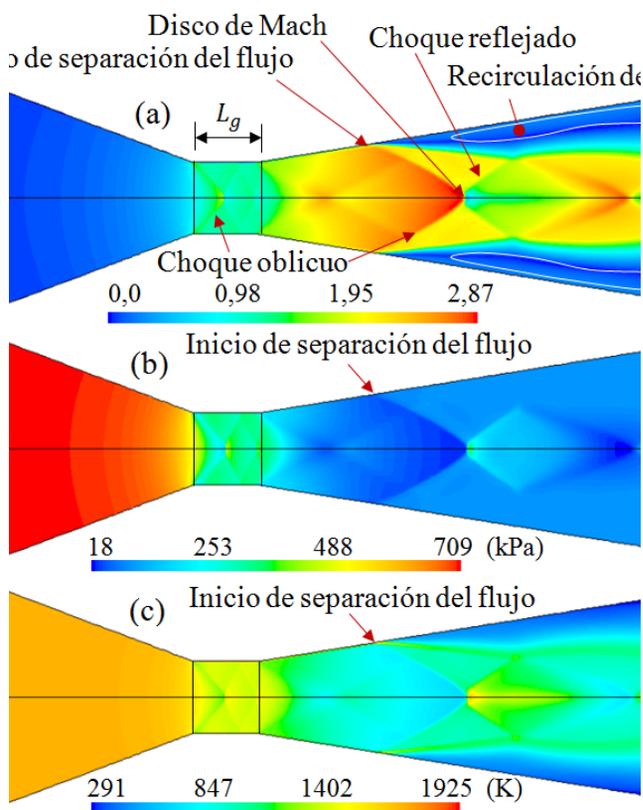


Fig. 4. Campo de flujo: (a) Número de Mach. (b) Presión estática y (c) Temperatura estática.

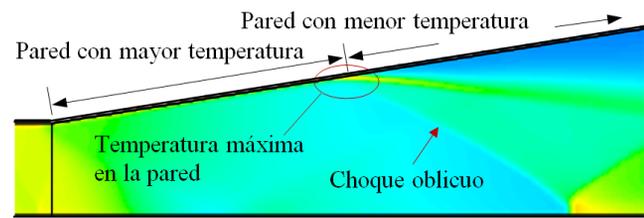


Fig. 5. Detalle ampliado del campo de temperatura estática, donde se hace referencia a la región que presenta la temperatura máxima en la pared.

Ampliaciones de la sección de la garganta y de la divergente se muestran en las Fig. 6, Fig. 7 y Fig. 8, en las que las líneas de contorno están bien definidas por la escala de grises. Se muestran las comparaciones para la tobera con longitud de garganta  $L_g = 21,38 \text{ mm}$  y  $L_g = 1 \text{ mm}$ , y se observan las distintas configuraciones de los patrones de choque en diferentes regiones del campo de flujo. Para  $L_g = 1 \text{ mm}$  no se presenta ningún choque oblicuo, por lo cual el flujo no presenta desaceleración en la longitud de garganta. No obstante, el flujo en la divergente cercana a la garganta ha sido influenciado en su comportamiento, pues se observa en el campo de flujo en la región central, cómo las líneas de contorno lo definen con una forma de equis (x); antes de que se presente el frente de choque normal y choque oblicuo se presenta una desaceleración del flujo.

El comportamiento de los patrones del flujo en la simetría del eje x en la sección de la tobera cónica ULA-2, para el campo de número de Mach (Fig. 6) se muestra en la Fig. 9; de la presión estática (Fig. 7) se muestra en la Fig. 10; de la temperatura estática (Fig. 8) se muestra en la Fig. 11. La presión y la temperatura en la pared se muestran en la Fig. 12.

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3707>

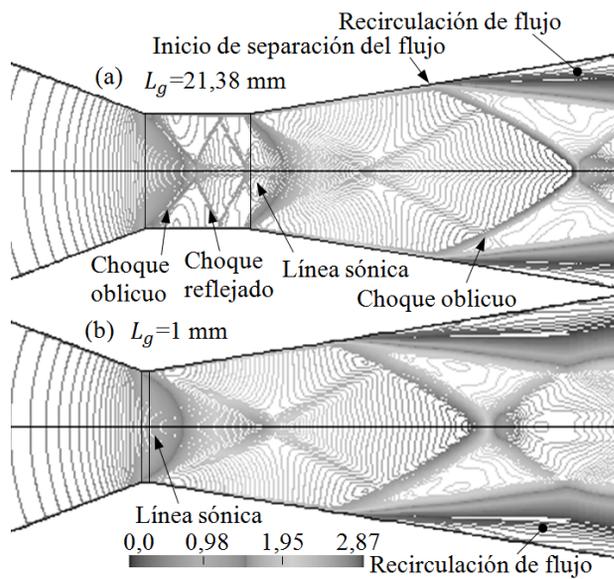


Fig. 6. Patrones de choque, línea de contorno de número de Mach.

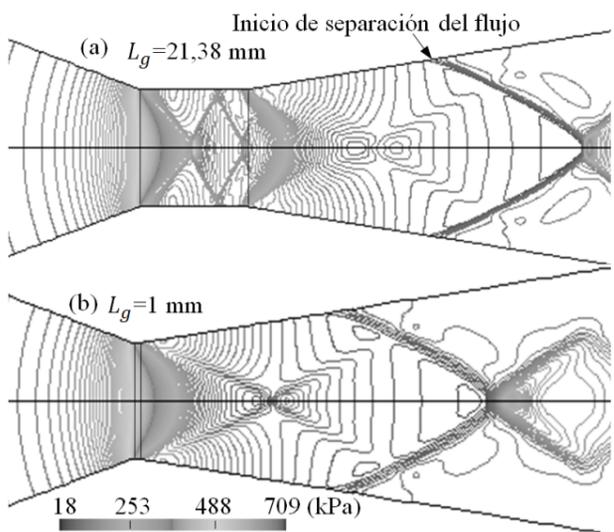


Fig. 7. Patrones de choque, línea de contorno de presión estática.

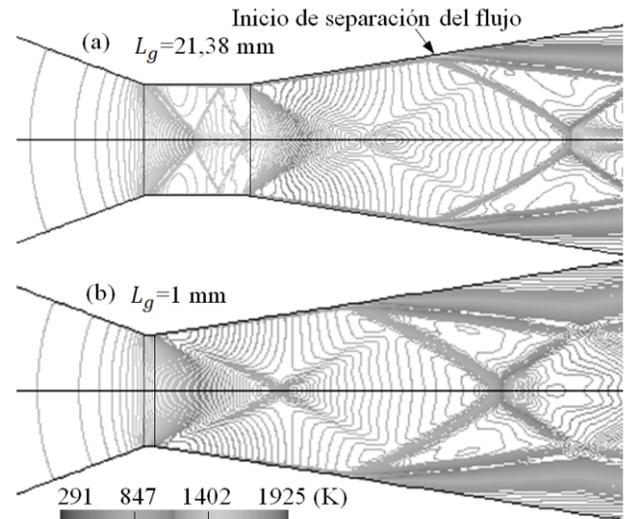


Fig. 8. Patrones de choque, línea de contorno de temperatura estática.

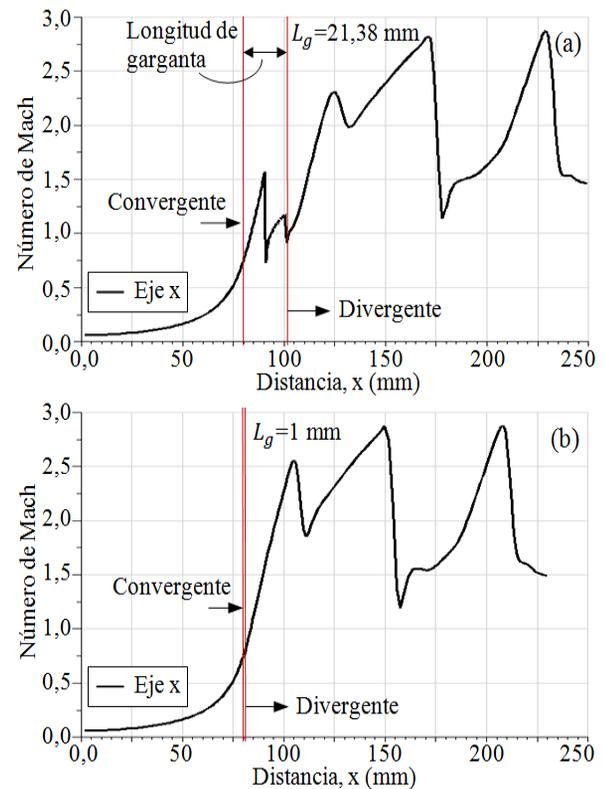


Fig. 9. Patrón de número de Mach en la simetría axial. (a) Longitud de garganta 21,38 mm. (b) Longitud de garganta 1 mm.

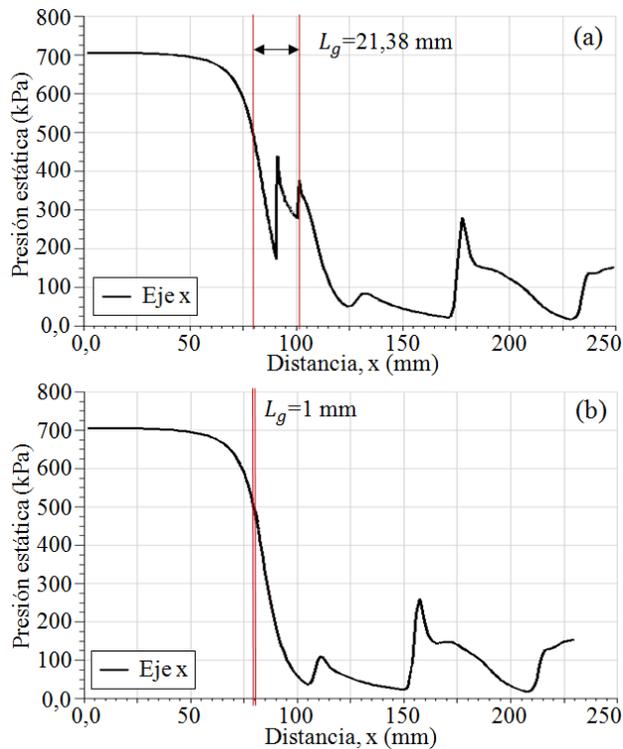


Fig. 10. Patrón de presión estática en la simetría axial. (a) Longitud de garganta 21,38 mm. (b) Longitud de garganta 1 mm.

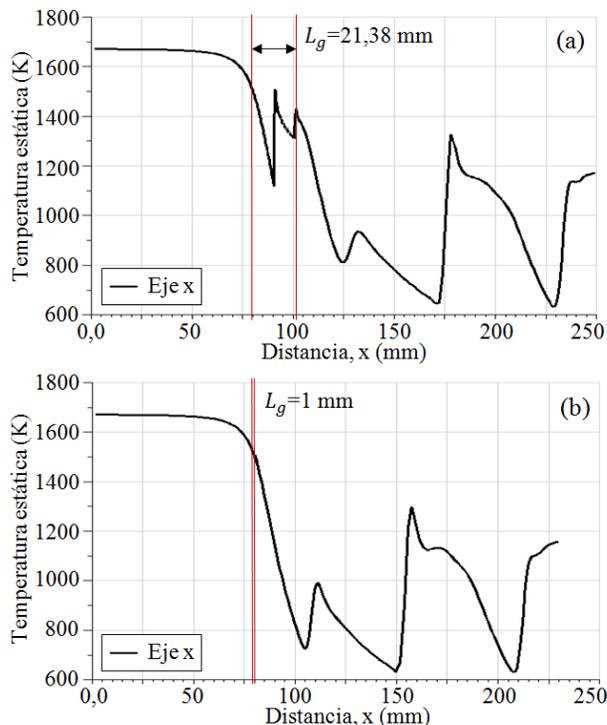


Fig. 11. Patrón de temperatura estática en la simetría axial. (a) Longitud de garganta 21,38 mm. (b) Longitud de garganta 1 mm.

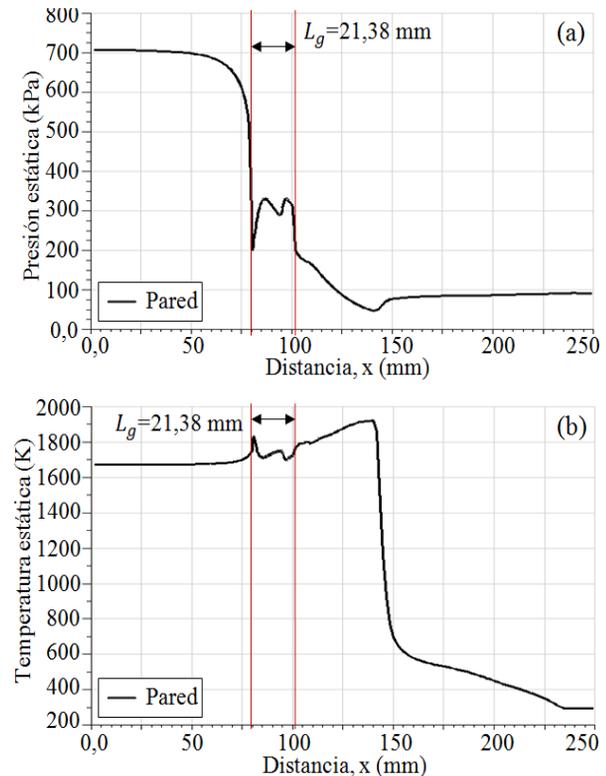


Fig. 12. (a) Patrón de presión estática en la pared. (b) Patrón de temperatura estática en la pared. Para ambos casos: longitud de garganta 21,38 mm.

Como puede verse en la Fig. 9, en la longitud de garganta  $L_g = 21,38$  mm se evidencia la desaceleración del flujo, la cual fluctúa a velocidad transónica y una región del flujo alcanza un pico de velocidad supersónica estimado de Mach 1,55; mientras que, para  $L_g = 1$  mm el flujo se acelera sin perturbaciones e ingresa a la divergente por debajo de la velocidad sónica, por lo cual, define un patrón de comportamiento. Al ingresar el flujo a la divergente, para el primer pico de número de Mach, para  $L_g = 1$  mm, se ha incrementado su velocidad, por tanto, el flujo tiene un mejor desarrollo con respecto a la otra longitud de garganta que ingresa a la divergente a velocidad sónica Mach 1. Para ambos dominios, el segundo y tercer pico se encuentran en el rango de número de Mach 2,5 – 3; así como el flujo a la salida de la tobera es supersónico, con una velocidad estimada de Mach 1,5. Así mismo, para los parámetros de número de presión estática (Fig. 10) y temperatura estática (Fig. 11) se muestran los patrones de comportamiento en la garganta y en la divergente, donde se observan sus magnitudes máximas y mínimas.

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3707>

Para el caso del flujo adyacente a la pared de la divergente, como puede verse en la Fig. 12, se evidencia dónde se presenta la separación del flujo con una caída de presión, en la posición en el rango de 140–145 mm. Desde la caída de presión hasta la salida de la tobera se tiene una trayectoria de la presión con una tendencia horizontal. Para el caso de la temperatura, y para la misma posición 140–145 mm, se observa que la temperatura máxima alcanzó un valor estimado de 1900 K, el cual es mayor al de la cámara de combustión de 1673,15 K; luego del choque, se presenta una caída abrupta de la temperatura casi de forma vertical. La temperatura máxima que se presenta en la divergente para un flujo sobreexpandido corrobora con lo que se presenta en la realidad, tal como se mostró en la Fig. 2 [8] del efecto de la alta temperatura con un tono de color en la pared de acero.

La tobera cónica ULA-2 del presente trabajo, con relación  $L_q/D_q = 0,9136$  y  $L_d/D_q = 6,358$ , tiene un ángulo medio  $9^\circ 9'$  de la divergente y el comportamiento de la trayectoria de presión del flujo en la divergente es similar con respecto a la tobera experimental ULA-1A XP, con  $L_q/D_q = 1,101$  y  $L_d/D_q = 10,41$ , y con ángulo medio  $11^\circ$ , estudiado por Tolentino et al. [20]. No obstante, para un ángulo medio mayor de  $9^\circ$  de la divergente, los patrones de choque tienen una configuración diferente, tal como fue reportado para la misma tobera ULA-1A XP analizada para un dominio 2D con diferentes ángulos medio en el rango de  $\sim 11,5^\circ < \alpha < \sim 13,5^\circ$  [31]. Por tanto, el flujo es influenciado a cambiar su comportamiento por la variación del ángulo medio y la longitud de la divergente. Cabe señalar que la tobera ULA-2 fue estudiada con paredes adiabáticas, por lo cual, no se tomó en cuenta la pérdida de calor a través de las paredes; en un proceso real, el efecto térmico interviene en la interacción del campo de flujo, en la pared de la tobera y en la región del flujo del ambiente externo adyacente a la pared [9], [32]. Se destaca que el efecto térmico se puede observar en diferentes toberas que han sido ensayadas experimentalmente para un flujo sobreexpandido cuando se presenta el choque en la divergente, y tiene consecuencias en la estructura de la

tobera, pues podría deformar cuando el efecto térmico supera los límites térmicos de diseño por largos tiempos de operación para un flujo sobreexpandido.

La desaceleración del flujo en la longitud de garganta obtenido para la tobera cónica ULA-2, para  $rp = 7,234$ , presentó resultados casi similares con la tobera cónica ULA-1A XP para  $rp = 6,234$  [20]; donde el flujo presentó fluctuaciones con presencia de ondas de choque oblicuas, con un pico de valor estimado de Mach 1,4, siendo este valor menor para el caso de la tobera ULA-2 con Mach 1,55. No obstante, el flujo de la tobera ULA-2 para  $L_q/D_q = 0,042$ , en la sección de la garganta, se aceleró sin presencia de choques oblicuos, así como para la tobera ULA1A-XP para  $L_q/D_q = 0,0659$  [31].

Por tanto, existe una influencia en el desarrollo del flujo en la sección de la garganta con respecto a su longitud y la influencia del ángulo medio de la divergente. Esto es para la condición de flujo sobreexpandido. La geometría de la tobera cónica ULA-2 del dominio computacional 2D no tiene curvatura en los vértices que unen la garganta con la convergente y la divergente, mientras que, el estudio de la tobera ULA-1A XP [31] sí tiene ligeras curvaturas; la velocidad, la presión, la temperatura, entre otros parámetros termodinámicos presentan fluctuaciones y disminuyen las fluctuaciones al reducir la longitud de garganta. En otro estudio se señala que el flujo subexpandido en la tobera cónica clasificada como Helios-X [33] con longitud de garganta y  $L_q/D_q = 1,07$ , el flujo se desaceleró en la longitud de garganta con un comportamiento escalonado sin presencia de choques oblicuos, no obstante, el flujo salió de la tobera a velocidad supersónica ligeramente mayor de Mach 3.

El comportamiento del perfil de la presión en la pared de la tobera ULA-2 es similar al de la tobera ULA-1A XP [20], y esto se debe a la longitud de la divergente y el ángulo medio  $11^\circ$ . No obstante, para toberas planas con longitudes de la divergente menores a la tobera ULA-2 y ULA-1A XP, y con ángulos medios alrededor de  $11^\circ$ , el comportamiento del patrón de presión en la pared es diferente, tal es el caso para el flujo en una tobera plana experimental estudiado por Hunter [34] para

un ángulo medio de la divergente de  $11,01^\circ$  que presentó una menor caída de presión en la pared, para el rango de  $rp: 1,255 - 5,423$ , en el que el comportamiento de la trayectoria de la presión fue creciente con una curvatura hacia la salida de la tobera; en tal sentido, existe una influencia de la divergente con respecto a su longitud. En la divergente, para un flujo sobrexandido, cuando el flujo se frena producto del choque, el flujo se separa de la pared aguas abajo, por lo cual se origina una interacción del choque oblicuo con la capa límite, se presentan los gradientes adversos de presión y la transición de choque libre (FSS, por sus siglas en inglés) [35], [36], [37]; en la región central, antes del choque la presión es menor y después del choque la presión es mayor; la región del flujo adyacente a la pared, mucho antes de la separación del flujo la presión es mayor, la presión después del choque es menor que la presión del ambiente de la atmósfera, por lo cual, el flujo ingresa rozando las paredes internas de la tobera y se presenta una recirculación del flujo.

#### 4. CONCLUSIONES

Del análisis realizado del flujo sobrexandido en la tobera cónica ULA-2 con longitud de garganta, se concluye que:

En la sección de la garganta para  $L_g = 21,38 \text{ mm}$ , que corresponde para  $L_g/D_g = 0,9136$ , se presentan ondas de choques oblicuas, por lo cual el flujo se desacelera; no obstante, en la misma sección de la garganta, para una longitud  $L_g = 1 \text{ mm}$  que corresponde a  $L_g/D_g = 0,042$ , el patrón de flujo de velocidad tiene un comportamiento acelerado a velocidad transónica, y presenta un buen desarrollo el régimen del flujo; por tanto, la longitud de garganta influye en la aceleración del flujo. En la simetría axial, en la divergente, para  $L_g = 1 \text{ mm}$ , una región del flujo adyacente a la garganta es influenciada a incrementar su velocidad a un valor estimado Mach 2,5; además, el flujo presenta fluctuaciones de sus propiedades termodinámicas por la presencia de ondas de choque oblicuas. En la salida de la tobera el flujo alcan-

za un valor estimado de Mach 1,5 para ambas longitudes de garganta, por tanto, no se ve afectado cuando disminuye la longitud de garganta.

Después del choque, la presión del flujo en las paredes de la divergente disminuye a una presión menor a la del ambiente de la atmósfera, por lo que induce al flujo a presentar una recirculación. El cambio de presión antes y después del choque oblicuo no es abrupto; las cargas laterales de la presión interna del flujo no tiene una mayor incidencia de manera significativa sobre la estructura de la tobera.

La temperatura del flujo presenta un valor máximo de 1900 K en la pared adiabática de la divergente, en la región en la que se presenta la separación de flujo producto del choque oblicuo, a causa del incremento de la energía interna como consecuencia del frenado del flujo en esa región, y cuya magnitud de la temperatura es mayor que de la cámara de combustión. Por tanto, antes del choque está presente una carga térmica de mayor temperatura en las paredes de la tobera, y de menor temperatura después del choque.

#### 5. TRABAJOS FUTUROS

En los trabajos futuros para las simulaciones del campo de flujo sobrexandido y flujo subexpandido en la tobera ULA-2, para un dominio 2D y 3D, se tiene previsto incrementar el ángulo medio de la divergente en el rango de  $9^\circ \leq \alpha \leq 18^\circ$ , para diferentes longitud de garganta  $L_g$ , con el objeto de analizar la influencia del incremento del ángulo medio de la divergente.

#### 6. AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento a Jehová, mi Dios todopoderoso, mi fuente de sabiduría e inspiración. A la Comisión Rectoral del Programa de Ciencias Espaciales (CRP-CE) y al Grupo de Ciencias Atmosféricas y del Espacio

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3707>

(GCAE) de la Universidad de Los Andes (ULA), Mérida, Venezuela, por el gran aporte de asesoría técnica recibida en sus instalaciones.

## 7. CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran la inexistencia de conflicto de interés con institución o asociación comercial de cualquier índole.

## 8. REFERENCIAS

- [1] G. P. Sutton and O. Biblarz, *Rocket propulsion elements*, 9th ed., New York, USA: John Wiley & Sons, 2016.
- [2] J. D. Anderson, *Fundamentals of aerodynamics*, 6th ed., New York, USA: McGraw-Hill, 2017.
- [3] F. White, *Fluids Mechanics*, 8th ed., New York, USA: McGraw-Hill Education, 2016.
- [4] T. v. Karman, "The fundamentals of the statistical theory of turbulence", *Journal of the Aeronautical Sciences*, vol. 4, no. 4, pp. 131–138, 1937, doi: <https://doi.org/10.2514/8.350>
- [5] F. White, *Viscous fluid flow*, 3rd ed., New York, USA: McGraw-Hill, 2006.
- [6] H. Schlichting and G. Klaus, *Boundary-layer theory*, 9th ed., Berlin Heidelberg, Germany: Springer-Verlag, 2017.
- [7] J. Östlund and B. Muhammed, "Supersonic flow separation with application to rocket engine nozzles", *ASME, Applied Mechanics Reviews*, vol. 58, no. 3, pp. 143-177, 2005, doi: <https://doi.org/10.1115/1.1894402>
- [8] F. A. Riveros y L. A. Rodriguez, "Diseño y construcción de un cohete aficionado controlado mediante el accionamiento de una tobera de empuje vectorial". Trabajo de grado, dirigido por J. A. Aponte, Facultad de ingeniería, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia, 2010.
- [9] C. Génin, A. Gernoth and R. Stark, "Experimental and numerical study of heat flux in dual bell nozzles", *Journal of Propulsion and Power*, vol. 29, no. 1, pp. 21-26, 2013, doi: <https://doi.org/10.2514/1.B34479>
- [10] P. Krehl and S. Engemann, "August toepler –the first who visualized shock waves", *Shock Waves*, vol. 5, no. 1, pp. 1-18, 1995, doi: <https://doi.org/10.1007/BF02425031>
- [11] G. S. Settles, "Toma ultrarrápida de imágenes de ondas de choque, explosiones y disparos". *Revista Investigación y Ciencia*, pp. 74-83, no. 356, may, 2006, <http://www.investigacionyciencia.es/revistas/investigacion-y-ciencia/genes-de-la-longevidad-419/toma-ultrarrpida-de-imgenes-de-ondas-de-choque-explosiones-y-disparos-5828>
- [12] J. Blazek, *Computational fluid dynamics: principles and applications*, 3rd ed., Oxford, United Kingdom: Butterworth-Heinemann, 2015.
- [13] A. Okninski, B. Marciniak, B. Bartkowiak, D. Kaniewski, J. Matyszewski, J. Kindracki and P. Wolanski, "Development of the polish small sounding rocket program", *Journal Acta Astronautica*, vol. 108, pp. 46-56, 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2014.12.001>
- [14] J. Huh, B. Ahn, Y. Kim, H. Song, H. Yoon and S. Kwon, "Development of a university-based simplified H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/PE hybrid sounding rocket at KAIST", *International Journal of Aeronautical and Space Sciences*, vol. 18, no. 3, pp. 512-521, 2017, doi: <https://dx.doi.org/10.5139/IJASS.2017.18.3.512>

- [15] C. Nilsen, S. Meriam and S. Meyer, "Purdue liquid oxygen-liquid methane sounding rocket", *AIAA SciTech Forum*, 2019, San Diego, California, doi: <https://doi.org/10.2514/6.2019-0614>
- [16] F. Heeg, L. Kilzer, R. Seitz and E. Stoll, "Design and test of a student hybrid rocket engine with an external carbon fiber composite structure", *Aerospace*, vol. 7, no. 57, pp. 1-19, 2020, doi: <https://doi.org/10.3390/aerospace7050057>
- [17] V. Marcano, P. Benítez, C. La Rosa, L. Lacruz, M. A. Parco, J. Ferreira, R. Andressen, A. Serra, M. Peñaloza, L. Rodríguez, J. E. Cárdenas, V. Minitti y J. J. Rojas, "Progresos alcanzados en el proyecto universitario cohete sonda ULA", *Revista Universidad, Ciencia y Tecnología*, vol. 13, no. 53, pp. 305–316, 2009, <http://uct.unexpo.edu.ve/index.php/uct/article/view/109>
- [18] G. Ordoñez, "Diseño y fabricación de un cohete híbrido con aceleradores sólidos auxiliares para alcanzar altitudes extremas con fines de investigación", *Revista ciencia y Tecnología*, vol. 10, no. 1, pp. 101–113, 2008, [https://unac.edu.pe/documentos/organizacion/vri/eu/Revista\\_Ciencia\\_y\\_Tecnologia/CienciaTecnologia10.pdf](https://unac.edu.pe/documentos/organizacion/vri/eu/Revista_Ciencia_y_Tecnologia/CienciaTecnologia10.pdf)
- [19] R. Nakka, "Richard Nakka's Experimental rocketry web site". [Online]. Available: <https://www.nakka-rocketry.net>, consultado el 5 de julio de 2020.
- [20] S. L. Tolentino, J. Ferreira, M. A. Parco, L. Lacruz y V. Marcano, "Simulación numérica del flujo sobre-expandido en la tobera cónica experimental ULA-1A XP", *Revista Universidad, Ciencia y Tecnología*, vol. 21, no. 84, pp. 126–133, 2017, <http://www.uct.unexpo.edu.ve/index.php/uct/article/view/803>
- [21] D. C. Wilcox, *Turbulence modeling for CFD*, 3rd ed., California, USA: DCW Industries, 2006.
- [22] ANSYS, "Ansys Fluent 2019 R1: Theory guide", [Online]. Available: <https://go-pdf.online/out/2BE079D/ansys-fluent-theory-guide.pdf>, consultado el 5 de julio de 2020.
- [23] J. Anderson, *Hipersonic and high temperature gas dynamics*, Virginia, USA: AIAA, 2019.
- [24] W. Sutherland, "The viscosity of gases and molecular force", *Philosophical Magazine series 5*, pp. 507–531, 1893, doi: <https://doi.org/10.1080/14786449308620508>
- [25] F. R. Menter, "Two equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications", *AIAA Journal*, vol. 32, no. 8, pp. 1598–1605, 1994, doi: <https://doi.org/10.2514/3.12149>
- [26] S. L. Tolentino, "Evaluation of turbulence models for the air flow in a planar nozzle", *Revista INGENIUS*, no. 22, pp. 25–37, 2019, doi: <https://doi.org/10.17163/ings.n22.2019.03>
- [27] S. L. Tolentino, "Evaluación de modelos de turbulencia para el flujo de aire en un difusor transónico", *Revista Politécnica*, vol. 45, no. 1, pp. 25-38, 2020, doi: <https://doi.org/10.3333/rp.vol45n1.03>
- [28] L. Lacruz, M. A. Parco, R. Santos, C. Torres, J. Ferreira y P. Benítez, "Análisis experimental de las oscilaciones de presión interna en un motor de combustible sólido para cohete sonda", *Revista Ciencia y Tecnología*, vol. 37, no. 2, pp. 81–88, 2016, <http://revistas.saber.ula.ve/index.php/cienciaeingenieria/article/view/7443>
- [29] M. A. Parco, "Análisis experimental de temperaturas en la tobera de un motor de cohete de combustible sólido". Trabajo de Grado de Maestría, dirigido por P. R. Benítez, Facultad de Ingeniería, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela, 2014.
- [30] Y. A. Cengel and J. M. Cimbala, *Fluid mechanics: Fundamentals and applications*, 4th ed., New York, USA: McGraw-Hill, 2017.

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3707>

- [31] S. L. Tolentino, M. A. Parco, S. Caraballo, L. Lacruz, V. Marcano, J. Ferreira y J. Mírez, "Análisis numérico del comportamiento del flujo en la sección de la garganta de una tobera cónica experimental", *Revista Enfoque UTE*, vol. 12, no. 1, pp. 12-28, 2021, doi: <https://doi.org/10.2909/enfoqueute.676>
- [32] H. Ding, C. Wang and G. Wang, "Transient conjugate heat transfer in critical flow nozzle", *International Journal of Heat and Mass transfer*, vol. 104, pp. 930-942, 2017, doi: <https://dx.doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2016.09.021>
- [33] S. L. Tolentino, R. Nakka, S. Caraballo y J. Mírez, "Numerical simulation of the flow under-expanded flow in the experimental conical nozzle helios-x", *Revista INGENIUS*, no. 25, pp. 81-93, 2021, doi: <https://doi.org/10.17163/ings.n25.2021.08>
- [34] C. A. Hunter, "Experimental, theoretical, and computational investigation of separated nozzle flows", *34th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & exhibit*, july 1998, Cleveland, OH, doi: <https://doi.org/10.2514/6.1998-3107>
- [35] S. Verma, M. Chidambaranathan and A. Hadjadj, "Analysis of shock unsteadiness in a supersonic over-expanded planar nozzle", *European Journal of Mechanics/B Fluids*, vol. 68, pp. 55-65, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.euromechflu.2017.11.005>
- [36] E. Martelli, P. P. Ciottoli, L. Saccoccio, F. Nasuti, M. Valorani and M. Bernardini, "Characterization of unsteadiness in an overexpanded planar nozzle", *AIAA Journal*, vol. 57, no. 1, pp. 239-251, 2019, doi: <https://doi.org/10.2514/1.J057162>
- [37] P. P. Nair, A. Suryan and H. Dong, "Computational study on reducing flow asymmetry in over-expanded planar nozzle by incorporating double divergence", *Aerospace Science and Technology*, vol. 100, pp. 1-18, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ast.2020.105790>

# Análisis de zonas de cultivo y cuerpos de agua mediante el cálculo de índices radiométricos con imágenes Sentinel-2

## Analysis of growing areas and bodies of water by calculating radiometric indices with Sentinel-2 images

**Fernando Pech-May\***  
**Julio Víctor Sánchez Hernández\*\***  
**Honorio Guadalupe Sánchez Jacinto\*\*\***  
**Jorge Magaña Govea\*\*\*\***

(Recibido el 30-04-2020. Aprobado el 18-08-2020)

### Estilo de citación de artículo:

F. Pech-May, J. V. Sánchez Hernández, H. G. Sánchez Jacinto, and J. Magaña Govea, "Análisis de zonas de cultivo y cuerpos de agua mediante el cálculo de índices radiométricos con imágenes Sentinel-2", *Lámpsakos*, no. 24, pp. 48-59, julio-diciembre, 2020. DOI: 10.21501/21454086.3601

### Resumen

Los cultivos y cuerpos de agua son un tema de interés para los países. Tener información sobre las zonas de cultivo, fuentes de agua y su comportamiento en las distintas temporadas del año es de utilidad para la producción agrícola y para la toma de decisiones. Por otra parte, actualmente se han generado gran cantidad de datos satelitales de la Tierra y herramientas para el procesamiento de grandes volúmenes de imágenes satelitales que son fundamentales para el monitoreo forestal, análisis multitemporal de zonas de cultivo y cuerpos de agua, clasificación del uso del suelo, entre otros usos. Sentinel-2 es un programa de observación de la Tierra que consta de 13 bandas espectrales que proporcionan imágenes de alta resolución espacial y calidad radiométrica. En este artículo se presenta un análisis multitemporal basado en el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada y el Índice de Agua de Diferencia Normalizada, obtenidos con imágenes del satélite Sentinel-2, para la identificación de cambios que se presentan en una zona del sureste de México en el periodo 2018-2020. Los resultados obtenidos demuestran un bajo rango del índice radiométrico en las áreas de estudio durante el 2018. Asimismo, los mayores cambios durante la temporada de lluvia fueron registrados en 2018; esto evidencia la provocación en la disminución en la calidad de los cultivos y en el cuerpo de agua.

**Palabras clave:** Sentinel-2; Google Earth Engine; Índices radiométricos; NDVI; NDWI; Imágenes satelitales; Balancán; Cultivos; Cuerpos de agua; Percepción remota.

\* Doctor en Ciencias de la Computación, Cuerpo académico Cómputo Distribuido del Instituto Tecnológico Superior de los Ríos, Tabasco, México. Contacto: fernando.pech@cinvestav.mx

\*\* Ingeniero en Sistemas Computacionales, Cuerpo académico Cómputo Distribuido del Instituto Tecnológico Superior de los Ríos, Tabasco, México. Contacto: hjuilio288@gmail.com

\*\*\* Ingeniero en Sistemas Computacionales, Cuerpo académico Cómputo Distribuido del Instituto Tecnológico Superior de los Ríos, Tabasco, México. Contacto: honoriosanchezjacinto@gmail.com

\*\*\*\* Maestro en Administración en Tecnologías de la Información, Cuerpo académico Cómputo Distribuido del Instituto Tecnológico Superior de los Ríos, Tabasco, México. Contacto: tosausa@hotmail.com

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3601>

## Abstract

Crops and bodies of water are a topic of interest to countries. Having information about growing areas, water sources and their behaviour in the different seasons of the year is useful for agricultural production and decision-making. On the other hand, a large amount of Earth satellite data and tools for the processing of large volumes of satellite images have now been generated that are critical for forest monitoring, multitemporal analysis of growing areas and bodies of water, classification of land use, among others. Sentinel-2 is an Earth observation program consisting of 13 spectral bands that provide high spatial resolution and radiometric quality images. This article presents a multitemporal analysis based on the Standardized Difference Vegetation Index and Standardized Difference Water Index obtained with images of the Sentinel-2 satellite, for the identification of changes that occur in an area of south-eastern Mexico in the period 2018-2020. The results obtained demonstrate a low range of radiometric indexes in the study areas during 2018. In addition, the biggest changes during the rainy season were recorded in 2018; this shows the provocation in the decrease in crop quality and in the body of water.

**Keywords:** Sentinel-2; Google Earth Engine; Radiometric indices; NDVI; NDWI; Satellite images; Balancan; Crops; Bodies of water; Remote perception.

## 1. INTRODUCCIÓN

El estudio del medio ambiente es cada vez más relevante, debido a los cambios y estragos causados por la explotación desmedida de los recursos y el cambio climático. Las principales preocupaciones a escala mundial son la agricultura y la conservación de los cuerpos de agua. Desde los años sesenta, la producción mundial de alimentos ha mantenido el paso del crecimiento demográfico mundial, suministrando más alimentos per cápita a precios cada vez más bajos en general, pero a costa de los recursos hídricos. De acuerdo a la FAO [1], en el siglo xx la agricultura empleaba el 70 % de toda el agua utilizada en el mundo y para el 2030 se estima que aumentará el 14 %; sin embargo, la escasez del agua cada vez será mayor en el mundo y, afecta directamente la producción de los alimentos.

En México, donde el sector primario es la agricultura, la demanda de alimentos es cada vez mayor; lo que implica llevar un adecuado balance entre la producción agrícola y el consumo de agua. Por tal motivo es importante conocer la dinámica y el estado de los suelos agrícolas y cuerpos de agua para crear estrategias e iniciativas que promuevan el buen uso y conservación de estos recursos vitales.

Por otra parte, distintos gobiernos y organizaciones han desarrollado herramientas para llevar a cabo el seguimiento de los procesos ambientales, es decir, análisis multitemporales que permitan detectar cambios en la cobertura terrestre. La percepción remota (PR) o teledetección es una herramienta que permite el estudio de la cubierta terrestre, desde las superficies continentales hasta los cuerpos de agua como mares, ríos, etc. [2] Estos estudios son utilizados en diversas actividades como la minería, para la detección de minerales; la hidrología, para el monitoreo de los cuerpos de agua; la agricultura, para la detección de zonas de cultivo, entre otros. Para ello, ha sido necesario el uso de satélites que proporcionan datos globales de la superficie de la Tierra [3].

En este artículo se presenta un análisis multitemporal basado en los Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) e Índice de Agua de Diferencia

Normalizada (NDWI) obtenidos con imágenes del satélite Sentinel-2, para la identificación de cambios que se presentan en una zona de cultivo y cuerpo de agua del municipio de Balancán, Tabasco, México, en el periodo 2018-2020.

El documento se conforma de la siguiente manera: en la sección 2 se presentan el marco teórico y trabajos relacionados; en la sección 3, los materiales y métodos empleados para la realización de la investigación; en la sección 4, los resultados de la investigación; por último, las conclusiones en la sección 5.

## 2. MARCO TEÓRICO Y TRABAJOS RELACIONADOS

### Marco teórico

#### *Percepción remota*

La información adquirida con sensores remotos ha resultado de gran utilidad para muchas áreas como la agricultura, la minería, el medio ambiente, la hidrología, entre otras. Al conjunto de técnicas y herramientas que permiten obtener información/datos de un objeto o fenómeno sin estar en contacto con él, se le conoce como percepción remota (PR) o teledetección [4] [5]. En los últimos años esta ciencia ha estado en constante evolución, ha pasado por el conocimiento de las características de la superficie terrestre y atmósfera, hasta el estudio oceánico y del sistema solar [6] [7]. La obtención de información mediante esta ciencia se logra a través de un conjunto de cámaras o sensores acoplados en un vehículo aéreo (aviones o satélites), los cuales miden la energía electromagnética, longitud de onda reflejada por el Sol o emitida por la superficie terrestre [3] [8]. Las imágenes obtenidas por estos sensores poseen diferentes características que dependen de los sensores con las que son obtenidas, los cuales son: resolución espacial, que determina el área sobre la Tierra que cubre cada pixel de la imagen; resolución espectral, que indica el número y anchura de las regio-

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3601>

nes del espectro para las cuales capta datos el sensor; resolución temporal, que determina el tiempo en el que podemos obtener una imagen del mismo lugar con el mismo satélite; resolución radiométrica, indica la sensibilidad del sensor, es decir la capacidad de discriminar entre pequeñas variaciones en la radiación que capta.

### Satélites para el monitoreo terrestre

Los satélites de observación terrestre son instrumentos que orbitan en el planeta y registran la radiación electromagnética que emite la superficie terrestre. Su funcionamiento se basa en la llamada firma espectral, es decir, la capacidad que tienen determinados objetos o sustancias para reflejar o emitir energía electromagnética [9]. Mediante la firma espectral se pueden identificar diferentes tipos de cultivos, cuerpos de agua, suelos, y otras características de la corteza terrestre. Actualmente, se encuentran activos un gran número de programas satelitales dedicados a la observación terrestre tales como:

- **Landsat.** Es una serie de misiones dedicadas a la observación terrestre conformada por 8 satélites, de los cuales solo se encuentran activos el Landsat 5 y 8. Su mantenimiento y operación está a cargo de la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA, del inglés *National Aeronautics and Space Administration*). Asimismo, la producción y comercialización de las imágenes depende del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, del inglés *United States Geological Survey*) [9].
- **Sentinel.** Es un proyecto multisatélite desarrollado por la Agencia Espacial Europea (ESA, del inglés *European Space Agency*) en el marco del Programa Copernicus [10]. Se conforma por cinco satélites con diferentes objetivos que van, desde la vigilancia terrestre hasta la observación marina: 1) Sentinel-1, tiene como objetivo la observación de la Tierra y los océanos; 2) Sentinel-2, su principal objetivo es la observación terrestre, y se compone de dos satélites de proporcionan imágenes de alta resolución; 3) Sentinel-3, tiene como objetivo principal la observación

marina; 4) Sentinel-4, dedicado al monitoreo de la calidad del aire; 5) Sentinel-5, al igual que su antecesor, se dedica al monitoreo de la calidad del aire.

- **Aqua.** Satélite para la observación de la Tierra dedicado al estudio del ciclo del agua. Fue puesto en órbita el 4 de mayo de 2002 desde la base de Vandenberg por un cohete Delta II a una distancia de 705 km de altura [11].

Por otra parte, el proyecto Copernicus Sentinel-2 [12] comprende una constelación de dos satélites de órbita polar colocados de forma sincrónica con el Sol. Su principal objetivo es monitorear las variaciones de la superficie terrestre y ofrecer imágenes de alta resolución de la misma zona cada 10 días. Los satélites incorporan un sensor óptico llamado “*MultiSpectral Instrument*” (MSI) que cuenta con 13 bandas espectrales (ver Tabla 1); 4 de ellas cuentan con una resolución espacial de 10 metros, 6 con resolución de 20 metros y 3 con resolución de 60 metros [13].

Las imágenes Sentinel-2 se encuentran disponibles para su descarga, visualización y procesamiento de forma gratuita por la ESA<sup>1</sup>.

Tabla 1. Distribución de bandas espectrales de Sentinel-2.

Bandas	Longitud de onda (micrómetros)	Resolución (metros)
1. Aerosol costero	0.43	60
2. Azul	0.49	10
3. Verde	0.56	10
4. Rojo	0.66	10
5. Infrarrojo cercano (NIR)	0.7	20
6. Infrarrojo cercano (NIR)	0.74	20
7. Infrarrojo cercano (NIR)	0.78	20
8. Infrarrojo cercano (NIR)	0.84	10
8a. Rojo de borde (RedEdge)	0.86	20
9. Vapor de agua	0.94	60
10. Cirrus	1.37	60
11. Onda corta infrarroja (SWIR)	1.61	20
12. Onda corta infrarroja (SWIR)	2.19	20

<sup>1</sup> <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>

## Índices radiométricos

Los índices radiométricos se definen como una categoría de las transformaciones de imágenes obtenidas por satélites. Consisten de un conjunto de operaciones matemáticas entre las bandas espectrales con el objetivo de resaltar las diferencias entre coberturas; así como de atenuar efectos atmosféricos o del suelo. Los índices más utilizados en los estudios terrestres son:

- Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI, del inglés *Normalized Difference Vegetation Index*). Es un indicador de biomasa fotosintéticamente activa, propuesto inicialmente por Rouse *et al.* [14]. Es uno de los índices de vegetación más utilizados en la PR ya que ayuda a diferenciar la vegetación de otros tipos de cobertura del suelo (artificial) y determinar su estado general. También permite definir y visualizar áreas con vegetación en el mapa y detectar cambios anormales en el proceso de crecimiento. Este índice se calcula siguiendo la ecuación:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

- NIR corresponde a la banda del infrarrojo cercano y RED a la banda roja. Por definición, los valores del NDVI varían entre -1 y 1 con valores más altos para la vegetación densa y los valores negativos para áreas con superficie de agua, rocas, y nubes.
- Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI, del inglés *Normalized Difference Water Index*). Representa un índice de medición de cantidad de agua presente en la vegetación o suelo. Se calcula a partir de imágenes adquiridas por los sensores satelitales y de las bandas espectrales [15]. Constituye una variación del NDVI. El cálculo de los valores se realiza aplicando el método de McFeeters [16] mediante la siguiente ecuación:

$$NDWI = \frac{NIR - GREEN}{NIR + GREEN}$$

NIR corresponde a la banda del infrarrojo cercano y GREEN a la banda verde. Los valores de NDWI varían entre +1 y -1 con valores más altos para la presencia de agua y valores muy bajos para superficies sin presencia de vegetación o agua [15].

## Google Earth Engine

Los datos de teledetección requieren de altos recursos informáticos, los cuales se traducen en altos costos y limitan la investigación en este campo. *Google Earth Engine* (GEE) ofrece una solución a esta limitante. GEE es una plataforma basada en la nube que permite acceder y utilizar recursos informáticos de alto rendimiento dedicados al análisis de enormes colecciones de datos geoespacial [17]. Además, la plataforma posee un robusto conjunto de datos que incluyen imágenes satelitales, como las colecciones Landsat, Sentinel, datos climáticos y de cobertura terrestre, entre otros [18]. La arquitectura de la plataforma permite la ejecución de algoritmos complejos en extensiones espaciales considerables de manera rápida, demostrando ser una herramienta eficiente en diferentes aplicaciones geoespaciales como el mapeo de tierras de cultivo, detección de cambios temporales y análisis ambientales.

## Trabajos relacionados

El empleo de estos recursos es considerado una herramienta muy importante en el campo de la investigación ya que contribuye a la obtención de datos homogéneos y precisos para su aplicación en diversas áreas. Tal es el caso de Lodoño *et al.* [19] quienes realizaron una clasificación automática de las coberturas de suelo a partir de imágenes satelitales utilizando un método de aprendizaje automático basado en Redes Neuronales Convolucionales (CNN); obtuvieron una exactitud promedio de 83.52 % en entrenamiento y 91.02 % en validación. De igual manera, Morales [20] presenta la actualización de la cartografía de la cobertura del suelo; realizó el cálculo de Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) sobre un mosaico de imágenes satelitales Sentinel 2B-1C utilizando la plataforma *Google Earth Engine* (GEE); posteriormente realizó una clasificación no su-

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3601>

pervisada por clusters obteniendo como resultado una exactitud del 83 %. Aliaga et al. [21] realizaron un análisis de imágenes satelitales de distintas resoluciones espaciales para interpretar el comportamiento de seis lagunas de una región mediante el Índice Estandarizado de Precipitación (IEP).

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología aplicada para el análisis de las zonas de cultivo y cuerpos de agua se dividió en 5 apartados (ver Figura 1): 1) se establecieron las áreas de interés, 2) se determinaron las series de tiempo basadas en un conjunto de características, 3) se adquirieron las colecciones de imágenes de las áreas de interés acorde a las series de tiempo, 4) se preprocesaron digitalmente las imágenes para realizar correcciones atmosféricas y, finalmente, 5) se aplicaron los algoritmos correspondientes para calcular los índices radiométricos.



Figura 1. Metodología propuesta para el análisis de zonas de cultivo y cuerpos de agua.

La zona de estudio corresponde al municipio de Balancán, localizado en la región Ríos del estado de Tabasco, México. La región se encuentra en las coordenadas 17°48' latitud norte y entre 91°32' longitud oeste. Esta población se asienta en los márgenes del río Usamacinta, en donde convergen otros ríos más pequeños. El territorio se caracteriza por ser hábitat de una rica flora y fauna silvestre. El clima es cálido-húmedo con abundantes lluvias en verano; tiene una temperatura media anual de 32° C y la mínima absoluta alcanza los 20° C. El régimen de precipitaciones se caracteriza por un total de caída de agua de 1,500 milímetros en el mes de septiembre y las mínimas en el mes de abril. La humedad relativa se estima en un máximo de 90 % en los meses de septiembre y octubre, un mínimo de 74 % en abril y mayo [22].

Se seleccionaron dos áreas de la región para su estudio: 1) espacio geográfico de la zona de cultivo Palo Verde ubicada en las coordenadas geográficas 17°44'33,928" latitud norte y 91°33'3,119" longitud oeste, la cual posee una dimensión aproximada de 4500 m<sup>2</sup> y los principales cultivos son sorgo y maíz; 2) el espacio geográfico de la laguna Santana, tiene una dimensión de aproximadamente 2286 m<sup>2</sup>, sus coordenadas geográficas son 17°43'56,109" latitud norte y 91°27'5,191" longitud oeste.

En la Figura 2 se muestra la localización geográfica de las áreas de estudio mediante una imagen obtenida de GEE. Se establecieron series de tiempo anuales (2018 – 2020 para la zona de cultivo y 2017 – 2020 para la laguna) tomando en cuenta algunas características como clima de la región, ciclos de siembra/cosecha y temporadas de lluvias. Esto con el objetivo de realizar el análisis multitemporal de ambas áreas de estudio.

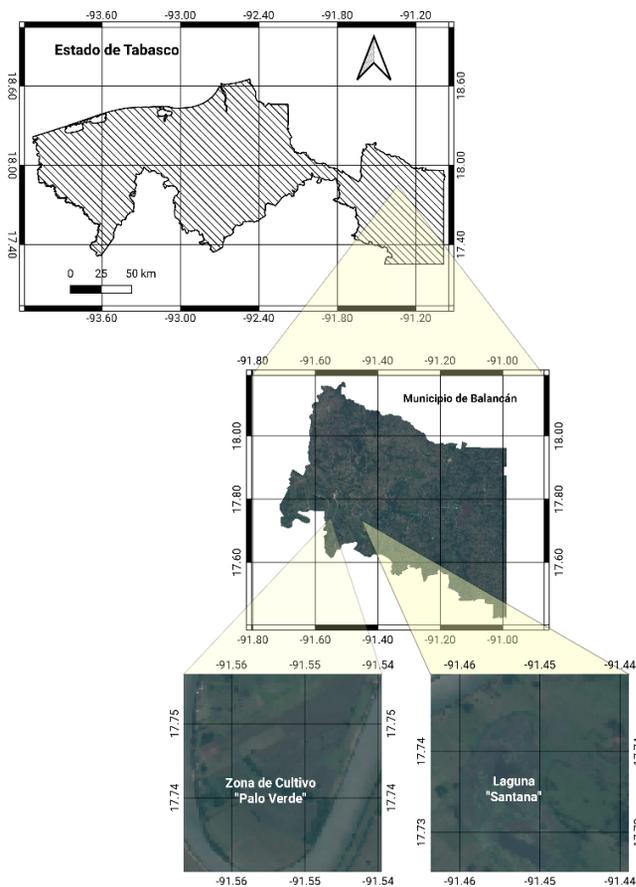


Figura 2. Ubicación geográfica de las áreas de estudio.

Para el análisis de la tierra de cultivo se utilizaron los ciclos de cosechas primavera – verano, que comprenden del mes de mayo a septiembre y otoño – invierno, que inicia en el mes de noviembre y termina en abril. Para la laguna se utilizaron las temporadas de seca (marzo-mayo); lluvias (junio – noviembre) y media (diciembre – febrero).

Las escenas disponibles del satélite Sentinel-2 constituyen un recurso valioso debido a su cobertura mundial, adecuada resolución espacial y registro radiométrico. Dichas imágenes se obtuvieron mediante la plataforma GEE con una filtración de 20 – 40 % de nubosidad. Las escenas obtenidas fueron preprocesadas para su corrección atmosférica a la extracción de información relevante para su análisis, mediante SNAP–Sen2Cor<sup>2</sup> que convierte la reflectividad TOA

<sup>2</sup> Software para corregir, procesar y formatear imágenes Sentinel-2A

(*Top Of Atmosphere*) a reflectividad BOA (*Bottom Of Atmosphere*). Finalmente, se aplicaron los algoritmos sugeridos por Rouse *et al.* [14] y McFeeters [16] con el objetivo de obtener los cálculos multitemporales de los índices radiométricos para, posteriormente, evaluar el comportamiento que han sufrido las áreas de estudio en los últimos años.

## 4. RESULTADOS

### Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

Disponer de imágenes satelitales permitió estimar la variación de los cultivos en el área de estudio durante los años 2018 – 2020. En la mayoría los valores de NDVI entre 0.2 y 0.4 corresponden a vegetación escasa; la vegetación moderada tiende a variar entre 0.4 y 0.6; cualquier valor por encima de 0.6 indica mayor densidad de vegetación en la zona de estudio. En la Figura 3 se representan los valores obtenidos mediante el análisis NDVI de las imágenes satelitales Sentinel-2, en el periodo enero – diciembre del 2018 a 2020. Durante el periodo, el NDVI se encontró en rangos entre 0.2 y 0.6, indicando la presencia de vegetación y sus variaciones.

La Figura 3a corresponde a las variaciones en el periodo enero – marzo; en la gráfica se observa que el índice obtuvo su valor más alto en marzo de 2020, mientras que el más bajo fue en la segunda mitad de febrero de 2018. El alto índice en el 2020 puede atribuirse a las abundantes lluvias suscitadas en el área de cultivo; como consecuencia, los cultivos pueden presentar alteraciones por saturación de agua, dando como resultados índices elevados.

La Figura 3b corresponde al periodo abril – junio, con rangos entre 0.2 y 0.5. En la gráfica se observa que el valor más alto del índice se obtuvo en el mes de junio de 2018 y el más bajo fue a finales de mayo del mismo año; los resultados obtenidos del periodo en cuestión son consecuencia de la temporada seca en la región, en la cual la mayor parte de los trabajadores agrícolas

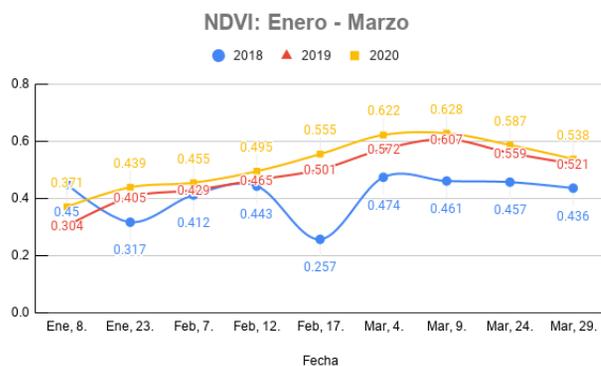
DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3601>

preparan las tierras de cultivo para la siembra del ciclo otoño – invierno; como resultado, presenta bajo índice de vegetación.

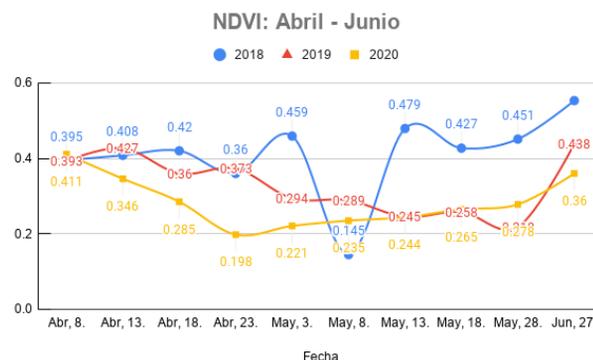
La Figura 3c corresponde al periodo julio – septiembre, en la gráfica se observa que el valor más alto del índice fue a mediados de julio de 2019 y el más bajo fue a inicios de julio de 2018; en este periodo fue notorio la disminución de la calidad de los cultivos; estos resultados pueden atribuirse a las pocas precipitaciones ocurridas en este periodo, de igual manera en este periodo las tierras de cultivo aún se encuentran en labores de preparación para el próximo ciclo de siembra.

La Figura 3d corresponde al periodo octubre – diciembre el cual presentó un rango de valores entre 0.2 y 0.5, en la gráfica se observa que el valor mínimo obtenido fue a mediados de noviembre de 2018 y el valor más alto se obtuvo a finales de octubre del mismo año. Estos resultados se deben a que este periodo de tiempo corresponde al ciclo de siembra otoño – invierno.

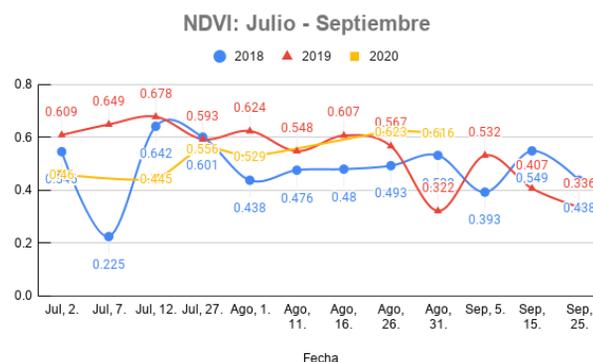
a) NDVI: enero – marzo del 2018 a 2020



b) NDVI: abril – junio del 2018 a 2020



c) NDVI: julio – septiembre del 2018 a 2020



d) NDVI: octubre – diciembre del 2018 a 2019

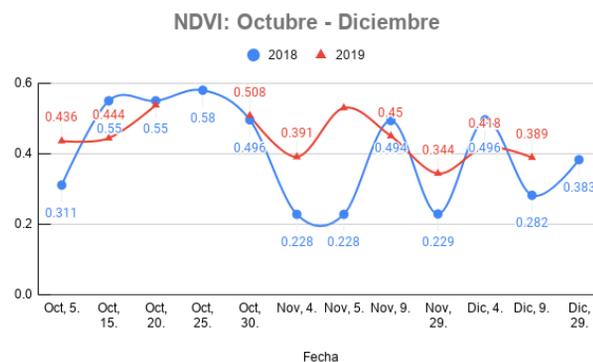


Figura 3. Valores obtenidos mediante el análisis NDVI.

## Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI)

En el municipio de Balancán la temporada de lluvias dura alrededor de 5 meses (mayo a octubre) con una probabilidad de lluvia de más del 40 % y para el mes de septiembre las probabilidades aumentan hasta el 70 %. Por otra parte, la temporada seca dura 7 meses (octubre a mayo) en los cuales las probabilidades de lluvia son menores al 15 %.

El cálculo del NDWI ayuda a detectar cuerpos de agua y zonas sometidas a estrés hídrico, para ello se utilizan las bandas Verde y NIR, las cuales maximizan la reflectividad del agua. En la Figura 4 se muestran los resultados obtenidos del cálculo NDWI sobre la Laguna Santana en el periodo diciembre 2017 – agosto 2020, la media de los valores obtenidos del índice varía entre -0.2 y -0.5.

La Figura 4a corresponde al periodo diciembre – febrero; en este periodo de tiempo los valores del índice varían de -0.5 a -0.2, esto indica que la laguna en estudio no contiene agua ya que el periodo estudiado corresponde al tiempo de seca en la región haciendo que los cuerpos de agua pierdan su contenido.

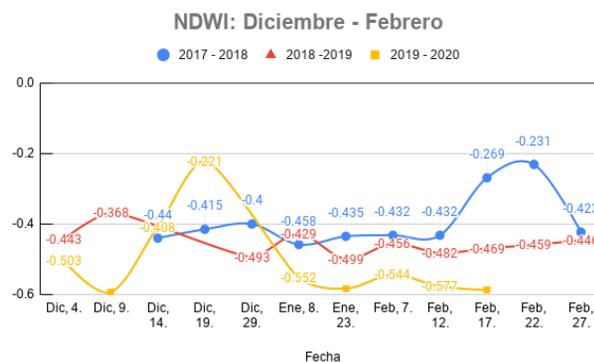
La Figura 4b corresponde al periodo marzo – mayo con rangos entre -0.4 y -0.2; en la gráfica se observa que el índice más bajo fue a inicios mes de marzo del 2018 y el más alto fue en abril de 2019. Estos resultados pueden deberse a la temporada de sequía, que afectó a la zona en 2018, provocando una disminución considerable en su NDWI.

La Figura 4c corresponde al periodo junio – agosto con rangos entre -0.4 y -0.1; en la gráfica se observa que el lago presentó los índices más altos de la temporada en 2020 y el índice más bajo a inicios del mes de agosto de 2019, esto se debe a que en el mes de junio de 2020 la tormenta tropical “Cristóbal” azotó a el municipio de Balancán y dejó severas inundaciones en algunas zonas.

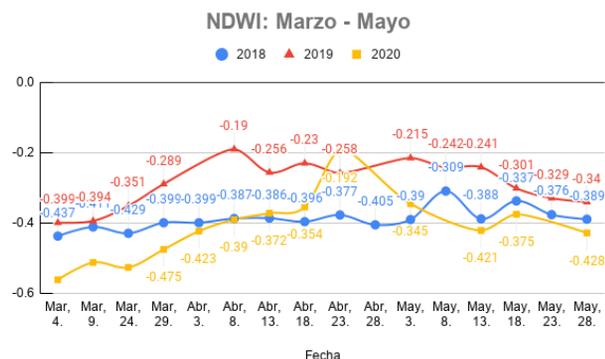
La Figura 4d corresponde al periodo septiembre – noviembre; en la gráfica se observa que los índices del lago se mantuvieron altos durante 2018, y fueron afectados en el mes de octubre del 2019 (con el índice más bajo de la temporada y del año).

En los índices NDVI y NDWI obtenidos, de los años en cuestión, se aprecia que los niveles más bajos se presentaron en el año 2018. Se puede inferir que en estos años los cultivos y el cuerpo de agua se vieron afectados por la sequía que presentó la zona durante ese periodo. Los datos obtenidos reflejan los cambios que presentaron las zonas de estudio, permitiendo determinar la afectación que tiene el cambio climático sobre ellos.

### a) NDWI: diciembre – febrero del 2017 a 2020

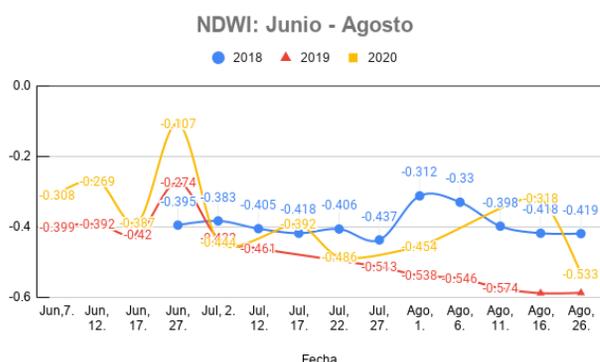


### b) NDWI: marzo – mayo del 2018 a 2020



DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3601>

c) NDWI: junio – agosto del 2018 a 2020



d) NDWI: septiembre – noviembre del 2018 a 2019

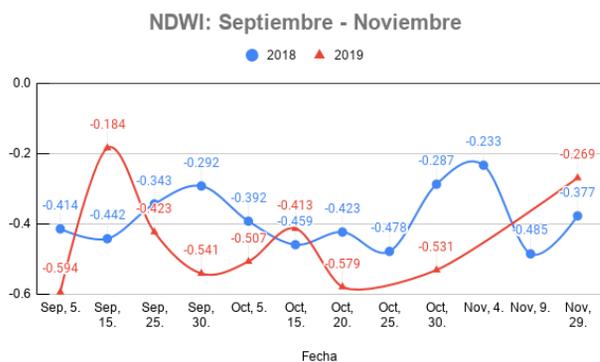


Figura 4. Valores obtenidos mediante el análisis NDVI.

## 5. CONCLUSIÓN

Los resultados expuestos anteriormente demuestran un bajo índice radiométrico en las áreas de estudio durante el 2018. Asimismo, los mayores cambios durante la temporada de lluvia fueron registrados en 2018; esto evidencia la provocación en la disminución en la calidad de los cultivos y en el cuerpo de agua.

Los cambios pueden atribuirse a efectos causados por cambios climáticos presentados en la zona de estudio, que provocan modificaciones en los ciclos de cultivo y disminuyen la producción de alimentos de origen agrícola. Debido a esto, es de gran importancia

el monitoreo de los cultivos que permita observar las anomalías y corregirlas en un corto plazo. Además, es posible recolectar datos que pueden influir en la toma de decisiones que permitan el desarrollo de estrategias que contrarresten los efectos del cambio climático y fortalezcan el sector agrícola. Esto puede mejorar el uso de los cuerpos de agua, además de mantener el rendimiento de los cultivos.

## 6. CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran la inexistencia de conflicto de interés con institución o asociación comercial de cualquier índole.

## 7. REFERENCIAS

- [1] Food and Agriculture Organization, “El agua y la agricultura.”, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2002. <http://www.fao.org/worldfoodsummit/sideevents/papers/y6899s.htm>. (Accedido: 10-mar-2020)
- [2] L. Coutiño Román, “Análisis multitemporal de imágenes satelitales para conocer la calidad del agua en la presa: Valle de Bravo.”, Tesis de pregrado, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, 2012. <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/2500/tesis.pdf?sequence=1>
- [3] J. González Bernal, “La percepción remota.”, Noche de las Estrellas, 2017. [https://www.nochedelasesrellas.org.mx/docs/Articulos/2017/5\\_1\\_PercepcionRemota.pdf](https://www.nochedelasesrellas.org.mx/docs/Articulos/2017/5_1_PercepcionRemota.pdf). (Accedido: 10-mar-2020)
- [4] J. Lira, *La Percepción Remota: Nuestros Ojos desde el Espacio*. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica, 2003. <http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/33/htm/percep.htm>

- [5] T. Lillesand, R. Kiefer, y J. Chipman, "Remote Sensing and Image Interpretation.", USA: John Wiley & Sons Inc, 2015, pp. 1 – 3.
- [6] E. Chuvieco, "Teledetección Ambiental: La Observación de la Tierra Desde el Espacio.", España: Ariel Ciencia, 2002, pp. 17 – 18.
- [7] J. Jensen, "Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective.", USA: Pearson Prentice Hall, Prentice Hall Series in Geographic Information Science, 2007, pp. 2 – 4.
- [8] R. Torres, L. Campillo y H. López, "Percepción remota: Elementos básicos", Kuxulkab, vol. XXI, n° 40, pp. 23 – 29, 2015. <https://revistas.ujat.mx/index.php/kuxulkab/article/download/1001/860>
- [9] A. Berdugo Muñoz, y G. Reales López, "Análisis multiespectral de imágenes satelitales para evaluar variaciones espacio-temporales en la calidad del agua del embalse el Guájaro, Atlántico", Tesis de pregrado, Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad de La Costa (CUC), Barranquilla, 2016.
- [10] European Space Agency, "Sentinel Missions.", Sentinel Online. <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions;jsessionid=5393A7312C49C41754494D43E518898F.jvm2>. (Accedido: 11-mar-2020)
- [11] N. F. Bravo Morales, "Teledetección espacial Landsat, Sentinel2, Aster L1T y MODIS.", Universidad Nacional Agraria de la Selva, Facultad de Recursos Naturales Renovables, Escuela Profesional de Ingeniería Forestal, 2017. [https://acolita.com/wp-content/uploads/2018/01/Teledeteccion\\_espacial\\_ArcGeek.pdf](https://acolita.com/wp-content/uploads/2018/01/Teledeteccion_espacial_ArcGeek.pdf)
- [12] European Space Agency, "Sentinel-2 Mission." Sentinel Online. <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2>. (Accedido: 11-mar-2020)
- [13] J. Delegido, C. Tenjo, y A. Ruiz-Verdu, "Aplicaciones de Sentinel-2 a estudios de vegetación y calidad de aguas continentales." XVII Simposio Internacional en Percepción Remota y Sistemas de Información Geográfica (SELPER), Puerto Iguazú, Argentina, 2016.
- [14] J. Rouse, R. Haas, J. Schell, y D. Deering, "Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS.", 3rd ERTS Symposium, Washington D.C., 1973.
- [15] M. Delpino Aguayo, V. Portillo Sosa, y C. Mora Stanley, "Evaluación de índices espectrales derivados de sensores remotos para la caracterización de ambientes de humedales." 7° Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Brasil, 2018.
- [16] S. McFeeters, "The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features." International Journal of Remote Sensing, vol. 17, no. 7, pp. 1425 – 1432, 1996, doi: <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>.
- [17] B. Liss, M. Howland, and T. Levy, "Testing Google Earth Engine for the automatic identification and vectorization of archaeological features: A case study from Faynan, Jordan.", *Journal of Archaeological Science: Reports*, vol. 15, pp. 299 – 304, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2017.08.013>
- [18] J. Xiong, P. Thenkbail, M. Gumma, P. Teleguntla, J. Poehnelt, R. Congalton, K. Yadav, and D. Thau, "Automated cropland mapping of continental Africa using Google Earth Engine cloud computing.", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 126, pp. 225 – 244, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.01.019>
- [19] A. Suarez Lodoño, A. Jiménez, M. Castro-Franco, y A. Cruz-Roa, "Clasificación y mapeo automático de coberturas del suelo en imágenes satelitales utilizando Redes Neuronales Convolucionales.", *Orinoquia*, vol. 21, pp. 64 – 75, 2017, <https://>

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3601>

[www.researchgate.net/publication/334551585\\_Clasificacion\\_y\\_mapeo\\_automatico\\_de\\_coberturas\\_del\\_suelo\\_en\\_imagenes\\_satelitales\\_utilizando\\_Red\\_Neuronales\\_Convolucionales](https://www.researchgate.net/publication/334551585_Clasificacion_y_mapeo_automatico_de_coberturas_del_suelo_en_imagenes_satelitales_utilizando_Red_Neuronales_Convolucionales).

[20] M. C. Morales Poclava, M. J. Mosciaro, y H. J. Elena, "Determinación de cobertura de suelo con imágenes Sentinel 2B-1C en entorno Google Earth Engine.", presentado en 1° Encuentro Nacional sobre PERIURBANOS E INTERFACES, 2° Reunión Científica de PNNAT y 3° Reunión de la Red PERIURBAN, Córdoba, Argentina, 2018, [https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta\\_resumen\\_ampliado\\_sentinel.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_resumen_ampliado_sentinel.pdf)

[21] V. S. Aliaga, F. Ferrelli, V. Bohn, y M. C. Piccolo, "Utilización de imágenes satelitales para comprender la dinámica lagunar en la Región Pampeana.", Revista de la Asociación Española de Teledetección, no. 46, pp. 133 – 145, 2016, doi: <https://doi.org/10.4995/raet.2016.5196>.

[22] Gobierno de Tabasco, "Balancán.", Tabasco- <https://tabasco.gob.mx/balancan>

# Evaluación de las propiedades mecánicas de ladrillos elaborados con residuos de vidrio y plástico. Análisis de las emisiones de dióxido de carbono

## Evaluation of the mechanical properties of bricks made with glass and plastic waste. Analysis of carbon dioxide emissions

**Faber Sneider Cardona Howard\***

**Luis Alberto Rengifo Rojas\*\***

**Juan Felipe Guarín Martínez\*\*\***

**Daniel Guillermo Mazo Castro\*\*\*\***

**Oscar Felipe Arbeláez Pérez\*\*\*\*\***

(Recibido el 22-08-2020. Aprobado el 04-11-2020)

### Estilo de citación de artículo:

F. S. Cardona Howard, L. F. Rengifo Rojas, J. F. Guarín Martínez, D. G. Mazo Castro and O. F. Arbeláez Pérez, "Evaluación de las propiedades mecánicas de ladrillos elaborados con residuos de vidrio y plástico. Análisis de las emisiones de dióxido de carbono", *Lámpsakos*, no. 24, pp. 60-73, julio-diciembre, 2020.  
DOI: 10.21501/21454086.3725

\* Ingeniero Civil. Universidad Cooperativa de Colombia, Medellín-Colombia. Contacto: [faber.cardonah@campusucc.edu.co](mailto:faber.cardonah@campusucc.edu.co). ORCID: 0000-0002-7446-4794. Google académico: [https://scholar.google.es/citations?view\\_op=list\\_works&hl=es&user=ratnjXAAAAAJ](https://scholar.google.es/citations?view_op=list_works&hl=es&user=ratnjXAAAAAJ)

\*\* Ingeniero Civil. Universidad Cooperativa de Colombia, Medellín-Colombia. Contacto: [luis.rengifor@campusucc.edu.co](mailto:luis.rengifor@campusucc.edu.co), ORCID: 0000-0003-0700-6643. Google académico: [https://scholar.google.es/citations?hl=es&view\\_op=list\\_works&gmla=AJsN-F5CLXx0\\_s3NoAzKmPP-NBkQpoA1\\_FHgQLMT69HgS7215O587InSySzUJh4wTEV6MCatfaueKhWKOOzNGCVq\\_w-glt\\_X8eQIEw-VtR6uKbf5N6ip0SA&user=SL4IFCUAAAAJ](https://scholar.google.es/citations?hl=es&view_op=list_works&gmla=AJsN-F5CLXx0_s3NoAzKmPP-NBkQpoA1_FHgQLMT69HgS7215O587InSySzUJh4wTEV6MCatfaueKhWKOOzNGCVq_w-glt_X8eQIEw-VtR6uKbf5N6ip0SA&user=SL4IFCUAAAAJ)

\*\*\* Ingeniero Civil. Universidad Cooperativa de Colombia, Medellín-Colombia. Contacto: [juan.guarinm@campusucc.edu.co](mailto:juan.guarinm@campusucc.edu.co), ORCID: 0000-0002-1381-6629. Google académico: [https://scholar.google.es/citations?hl=es&user=QWgXpyYAAAAJ&view\\_op=list\\_works&gmla=AJsN-F7NU16YSHbH1yIrMM2pw3itJc9V2MzWjOkmGQIL\\_FSLAXuoJCMPPd7gVee5fdAQq4a1xZHJ4ZjrtEGJdg8tDSwLBTQGbbUgHTEugBeTnnxIR9yHM](https://scholar.google.es/citations?hl=es&user=QWgXpyYAAAAJ&view_op=list_works&gmla=AJsN-F7NU16YSHbH1yIrMM2pw3itJc9V2MzWjOkmGQIL_FSLAXuoJCMPPd7gVee5fdAQq4a1xZHJ4ZjrtEGJdg8tDSwLBTQGbbUgHTEugBeTnnxIR9yHM)

\*\*\*\* Ingeniero Civil. Universidad Cooperativa de Colombia, Medellín-Colombia. Contacto: [daniel.mazoc@campusucc.edu.co](mailto:daniel.mazoc@campusucc.edu.co), ORCID: 0000-0003-1276-502X. Google académico: [https://scholar.google.es/citations?hl=es&user=CVi0D\\_kAAAAAJ&view\\_op=list\\_works&gmla=AJsN-F6a2DiVO6SDm4wBQPRLqFN-blVpsmeGHOHqUxRBqLbBn-A\\_sGw1qte0g9OylWuok2BfF1ziYcNtU19AjpPKSJQnvW-bIQ](https://scholar.google.es/citations?hl=es&user=CVi0D_kAAAAAJ&view_op=list_works&gmla=AJsN-F6a2DiVO6SDm4wBQPRLqFN-blVpsmeGHOHqUxRBqLbBn-A_sGw1qte0g9OylWuok2BfF1ziYcNtU19AjpPKSJQnvW-bIQ)

\*\*\*\*\* Doctor en Ingeniería, Universidad Cooperativa de Colombia, Grupo de Investigación Termomec, Medellín-Colombia. Contacto: [oscar.arbelaez@campusucc.edu.co](mailto:oscar.arbelaez@campusucc.edu.co), ORCID: 0000-0001-8592-5333. Google académico: <https://scholar.google.com/citations?user=TmMf3gAAAAAJ&hl=es>

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3725>

## Resumen

El uso de desechos no biodegradables como el vidrio y el plástico en la industria de la construcción ha recibido atención significativa para un medio ambiente más limpio. Este trabajo presenta un estudio de las propiedades mecánicas de ladrillos que contienen agregados, vidrio y pellets de tereftalato de polietileno. Los ladrillos se fundieron a 240 °C durante 3 horas y se enfriaron por convección natural. Los resultados mostraron que un aumento en el contenido de vidrio y agregados genera un incremento en la densidad, que es superior en las muestras con mayor contenido de agregados. La misma tendencia se observó en la resistencia a la compresión: la muestra con mayor contenido de agregados mostró una mejora del 243 % comparada con la referencia (preparada solo con plástico). Los resultados indicaron que las emisiones de dióxido de carbono disminuyeron alrededor del 30 % en las muestras preparadas, en comparación con los ladrillos tradicionales. Se espera que el uso de residuos de plástico y vidrio en la producción de ladrillos se convierta en una ruta para su valorización.

**Palabras clave:** Residuos de vidrio; Residuos plásticos; Ladrillos no cocidos; Huella de carbono; Emisión de gases; Propiedades mecánicas; Materiales de construcción; Resistencia a compresión; Construcción sostenible; Reciclaje.

## Abstract

The use of non-biodegradable waste such as glass and plastic in the construction industry has received significant attention for a cleaner environment. This work presents a study of bricks' mechanical properties containing aggregates, glass, and polyethylene terephthalate pellets. The bricks were melted at a temperature up to 240 °C for 3 hours and cooled by natural convection. The results showed that an increase in the content of glass and aggregates generates an increase in density, being higher in the samples with a higher aggregates content. The same trend was observed in compressive strength. The sample with the highest aggregates' content showed an improvement of 243% compared to the reference (prepared only with plastic). The results indicated that carbon dioxide emissions decreased by around 30% in the prepared samples, compared to traditional bricks. The use of plastic and glass waste in brick production is expected to become a recovery route.

**Keywords:** Glass waste; Plastic waste; bricks; Carbon footprint; Emission of gases; Mechanical properties; Building materials; Compressive strength; Sustainable construction; Recycling.

## 1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento continuo de la población y su migración a las zonas urbanas genera un incremento en los requerimientos de infraestructura civil, como edificios residenciales y no residenciales, fábricas, hospitales, puentes, túneles y diferentes proyectos viales e hidroeléctricos [1]. Estos requerimientos en infraestructura están asociados con una elevada demanda de materiales de construcción como cemento, ladrillos, acero y concreto, entre otros [2], los cuales representan alrededor del 60 % del costo total de las construcciones [3]. Los ladrillos se han utilizado ampliamente como material de construcción en todo el mundo. Hay dos tipos de ladrillos: los ladrillos a base de cemento y los de arcilla [4]. El ladrillo a base de arcilla ha sido generalmente preferido por los fabricantes porque es más económico, tiene una mayor resistencia al fuego y mayor vida útil que el ladrillo a base de cemento [5]. Actualmente, se consumen al año alrededor de 180 mil millones de toneladas de ladrillos de arcilla en todo el mundo [6]. Aproximadamente 340 billones de toneladas de arcilla y 5000 acres de la capa superior de tierra excavada se requieren para su fabricación; además de la erosión del suelo, la emisión de dióxido de carbono en su proceso de elaboración y la deforestación son algunos de los problemas relacionados con este proceso [6]. Asimismo, la elevada demanda de arcilla en la producción de ladrillos ha llevado a su sobreexplotación, lo que resulta en la reducción de este material no renovable en varios países de rápido crecimiento en todo el mundo [7]. Por lo tanto, es crucial identificar materiales alternativos ecológicos para reemplazar los precursores tradicionales empleados en la elaboración de ladrillos.

La investigación sobre el uso de residuos (cenizas volantes [8], desperdicios de mármol [9], piedra pómez [10] o materiales reciclados de la industria de la construcción y la demolición [11], ha ido en aumento en los últimos años en razón del esfuerzo por preservar las materias primas naturales existentes y reducir el efecto negativo de estos desechos, especialmente los no biodegradables, como residuos de vidrio y plástico, en el medio ambiente [12]. Se ha reportado que solo en los Estados Unidos se producen anualmente decenas de millones de toneladas de residuos de vidrio y de estos

alrededor del 60 % se eliminan a través de los rellenos sanitarios, disminuyendo el espacio disponible para su disposición [13]. Cada año se generan 6.5 billones de toneladas de desechos plásticos a escala mundial y la eliminación de estos representa una amenaza considerable para el medio ambiente debido a sus largos períodos de degradación [14].

Diferentes investigaciones han reportado sobre sustitutos, como los residuos de vidrio o plástico, de los componentes tradicionales en la elaboración de ladrillos, buscando obtener ladrillos modificados que conserven propiedades mecánicas similares o superiores al tradicional, además de generar un abanico de posibilidades para hacer frente a los desechos producidos por diferentes industrias. Akinyele y colaboradores [15] reportaron el uso de pellets de tereftalato de polietileno (conocido comúnmente con el nombre de PET) como material de adición en porcentajes del 5 %, 10 %, 15 % y 20 % en la elaboración de ladrillos cocidos. Los autores mostraron que los ladrillos mezclados con PET en porcentajes mayores al 15 % se desintegran durante el proceso de cocción, efecto asociado al aumento en la temperatura por encima del punto de fusión del PET (entre 245 °C y 260 °C); asimismo, reportaron que el material con un reemplazo del 5 % alcanzó la mejor resistencia a la compresión (2.30 MPa), sin embargo, esta solo representa el 66 % del valor recomendado por la BDA (Brick Development Association) (3.5 MPa) [16] y la norma técnica colombiana NTC 4205 [17]. Con respecto a la densidad de los especímenes, se encontró una relación inversa con el porcentaje de plástico; este comportamiento fue atribuido al peso ligero del PET. Para resolver el problema asociado con la desintegración de los ladrillos, Akinyele y colaboradores [18] investigaron la adición de residuos de vidrio en porcentajes de 1 %, 2 %, 3 %, 4 %, y 5 % en la preparación de ladrillos. Los autores reportaron que este material evita la desintegración de los especímenes durante su proceso de elaboración. El valor más alto en la resistencia a la compresión se observó para los ladrillos con adiciones del 5 % de vidrio (11.02 MPa), el cual fue 1.79 y 3.14 veces mayor que el espécimen de control (6.15 MPa) y el recomendado por la BDA, respectivamente. Kumi y colaboradores [19] reportaron el efecto del tamaño de

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3725>

partícula (0.25 mm, 0.75 mm, 1.68 mm y 3.55 mm) y el contenido (50 – 90 % en masa) de agregados sobre la densidad y la resistencia a la compresión de cubos de 50 mm preparados a partir de PET (de residuos de bolsas plásticas). Los autores reportaron que un aumento en el tamaño de partícula genera una disminución en la densidad y en la resistencia a la compresión; de hecho, muestras con tamaños de partícula de 3.55 mm presentaron la mayor resistencia a la compresión (alrededor de 27.5 MPa). Con respecto al efecto del contenido de agregados, los autores reportaron que en el rango entre 50 % y 90 % se observó un aumento en la densidad entre 1460 Kg/m<sup>3</sup> a 1910 Kg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Asimismo, la resistencia a la compresión mejoró con el contenido de agregados, alcanzando un óptimo de 27.3 MPa para una adición del 75 %.

La industria de la construcción afecta en gran medida las emisiones de dióxido de carbono; de hecho, el consumo de energía durante la fabricación y transporte de materiales tiene un efecto significativo sobre el medio ambiente, por tanto, la correcta selección de materiales es fundamental para ayudar a ahorrar energía y reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> [20]. Uno de los retos de la industria de la construcción es desarrollar estructuras ambientalmente amigables que generen menores emisiones de dióxido de carbono a lo largo de todo el proceso de extracción, transporte y producción de materiales [21]. En respuesta a este reto, se ha probado la incorporación de diferentes sustitutos tales como cenizas volantes, humo de sílice y escoria granulada de alto horno que han sido incorporados en la preparación de materiales, específicamente concretos, y han permitido reducir las emisiones de dióxido de carbono [22]. Crossin y colaboradores [23] reportaron que la sustitución del 70 % del cemento con escoria de acero reduciría, solo en los Estados Unidos, hasta un 47.5 % la emisión de gases de dióxido de carbono. Asimismo, se ha reportado que la sustitución del 25 % y 40 % del cemento por cenizas volantes reduce las emisiones de dióxido de carbono en un 13 % y un 22 %, respectivamente [24]. De manera similar, el uso de cenizas volantes en concreto prefabricado permitió una reducción del 18 % en los aportes de cemento, lo que llevó a una reducción del 25 % de los gases de efecto invernadero [25].

El proceso tradicional de elaboración de ladrillos implica la emisión de gases (CO<sub>2</sub>, vapor de H<sub>2</sub>O, CO, SO<sub>2</sub> y NO entre otros) contaminantes a la atmósfera, que contribuyen de manera negativa al deterioro del medio ambiente [26]. La concentración de las emisiones varía de acuerdo al tipo de proceso, horno utilizado, combustible, tiempo de cocción y tecnología empleada en el proceso de elaboración de los ladrillos y, debido al rápido crecimiento en la producción de ladrillos en todo el mundo, se ha generado una gran preocupación por los aspectos ambientales asociados a este proceso, los cuales deben ser atendidos de manera inmediata.

La huella de carbono relacionada con las emisiones de gases de efecto invernadero (expresada comúnmente como emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente) es un parámetro ampliamente estudiado en diversas industrias para mejorar la calidad en la toma de decisiones de un proceso con respecto a su impacto ambiental [27]; sin embargo, la literatura sobre factores de emisión para el proceso de elaboración de ladrillos es muy limitada, especialmente con la perspectiva de los países en desarrollo, lo cual requiere que se aborden estudios relacionados que permitan abordar esta brecha en el conocimiento del proceso.

Dada la problemática ambiental asociada con la elevada producción de residuos de vidrio y plástico, y su efecto positivo individual en las propiedades de ladrillos preparados a partir de estos residuos, en este trabajo se presentan los resultados del estudio de las propiedades físicas y mecánicas de bloques preparados a partir de mezclas de plástico, vidrio y agregados, así como el estudio de las emisiones de dióxido de carbono durante el proceso.

## 2. METODOLOGÍA

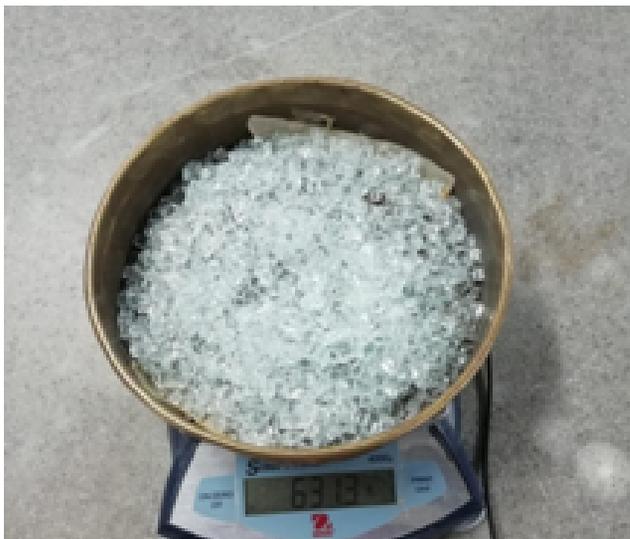
### Preparación de los especímenes

Para la elaboración de los ladrillos se utilizaron pellets de plástico reciclado (Figura 1a) suministrado por la empresa MAGU Industrias Plásticas SAS, con tamaño

de partícula comprendido entre 2.00 mm y 2.38 mm, y una densidad aparente de 1360 Kg/m<sup>3</sup>. Los residuos de vidrio (Figura 1b) fueron suministrados por la empresa Alco SA. Los agregados (Figura 1c) y los residuos de vidrio se clasificaron por análisis granulométrico acorde a la Norma Técnica Colombiana NTC 77, utilizando una agitadora eléctrica de tamices RO-TAP Gilson. Para la elaboración de los ladrillos se utilizó el material con tamaños de partícula comprendidos entre 3/4–1/4 de pulgada.



(a) Residuos de PET



(b) Residuos de Vidrio



(c) Agregados

Figura 1. Materiales utilizados en la elaboración de los especímenes. a. Residuos de PET, b. Residuos de vidrio, c. Agregados.

Las relaciones de plástico reciclado (P), vidrio (V) y agregados (A) de las muestras elaboradas se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Relaciones en masa de PET, vidrio y agregado utilizadas en la elaboración de ladrillos.

Referencia	Relación P:V:A*	% agregados
M1	1:0:0	0
M2	1:3.3:0	0
M3	1:1.8:0.7	20
M4	1:1.3:1.1	32
M5	1:0.8:1.9	51
M6	1:0:2.9	74

\*P:V:A, representan relación PET:Vidrio:Agregado

Las relaciones P:V:A fueron calculadas con base en la masa del plástico, que siempre se mantuvo constante en todos los especímenes. Las diferencias en las proporciones se presentan debido a la diferencia en las densidades entre el PET, el vidrio y los agregados; se procura mantener el mismo volumen del espécimen y evitar que las diferencias en las propiedades sean asociadas a diferencias en la geometría.

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3725>

Para la elaboración de los especímenes, las cantidades de plástico, vidrio y agregados se mezclaron uniformemente utilizando el fondo de un juego de tamices en una agitadora eléctrica RO-TAP Gilson por 5 minutos. Con la mezcla homogénea, se rellenaron y enrasaron los moldes de acero con geometría prismática de 0.124m×0.07m×0.100m, previamente recubiertos con un desmoldante (Figura 2a). La mezcla dispuesta en el molde se fundió en un horno eléctrico BINDER FD 115, calentado a una rampa de temperatura 5°C/min hasta alcanzar 240 °C; una vez alcanzada esta temperatura, el espécimen se mantuvo por 1.5 h. Finalmente, el horno se apagó y el espécimen se enfrió en el mismo molde por convección natural hasta temperatura ambiente; después de este tiempo, se desmoldó (Figura 2b). Para cada una de las muestras se prepararon tres especímenes. Los especímenes preparados se pulieron con una pulidora makita HPGK para eliminar posibles imperfecciones en los bloques durante el proceso de elaboración y garantizar la misma geometría.



(a) Molde para preparación de los especímenes



(b) Especimen preparado

Figura 2. (a) Molde para preparación de los especímenes. (b) Especimen preparado.

### *Evaluación de las propiedades mecánicas*

El ensayo de resistencia a la compresión  $f'_c$  se realizó en una prensa hidráulica HM de compresión simple de 1500 KN, con una velocidad de carga de 0,6 MPa/s., tal como lo muestra la Figura 3.



Figura 3. Pruebas de resistencia de los especímenes elaborados.

La densidad  $\rho$  ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ ) de los especímenes se evaluó tal como se describe en la ecuación 1.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde  $m$  y  $V$  representan la masa ( $\text{Kg}$ ) y el volumen ( $\text{m}^3$ ) del espécimen, respectivamente.

### Calculo de las emisiones de dióxido de carbono

El cálculo de la huella de carbono  $CF$  (*Carbon Footprint*) busca cuantificar la cantidad de emisiones de dióxido de carbono equivalentes generadas para valorar el impacto de los gases de efecto invernadero GHG (*Greenhouse Gases*) sobre el medio ambiente. Se emplea el  $\text{CO}_2$  dado que es el gas de mayor repercusión entre los GHG emitidos durante un proceso o bien generado [28]. El cálculo de la huella de carbono (Ecuación 2) tiene en cuenta la emisión en cada una de las operaciones unitarias, tal como fue descrito previamente por Hong y colaboradores [29].

$$CF = \sum EF * W_i \quad \text{Ec. 2}$$

Donde  $CF$  representa la huella de carbono (*Carbon Footprint*),  $EF$  representa el factor de emisión (*Emission Factor*) y  $W_i$  representa la carga de la fuente de emisión.

Las emisiones de gases durante el proceso de producción de los ladrillos dependen del tipo de horno, el combustible utilizado y las condiciones de funcionamiento del horno. Se pueden derivar dos factores de emisión, a saber, el factor de emisión basado en la energía (EFE) y el factor de emisión basado en la producción (EFP) [30]. Comparar las emisiones de diferentes combustibles o las condiciones de operación requiere normalización, ya sea a la unidad de combustible consumido o la unidad de energía consumida, o una comparación basada en la producción de ladrillos. En este trabajo se tomó en consideración la emisión de dióxido de carbono durante: 1) El proceso de formación de los pellets de plástico reciclado; 2) La clasificación granulométrica de los agregados y el vidrio; 3) La mezcla de

los componentes precursores; y 4) El proceso de cocción de los ladrillos. Para el procedimiento 1 (efectuado por la empresa MAGU SAS) se consideró un factor de emisión de  $4 \text{ Kg CO}_2/\text{Kg}$  de plástico procesado. Los procedimientos 2 y 3 se efectuaron en una agitadora eléctrica RO-TAP (750 W de potencia), mientras que el procedimiento 4 se llevó a cabo en un horno eléctrico BINDER FD 115 (potencia nominal 1100 W a  $300 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Para el caso de los equipos eléctricos la emisión se calculó tal como el producto de la potencia por el tiempo de uso por el factor de emisión de la energía eléctrica. El factor de emisión de energía eléctrica tomado en este trabajo fue de  $0.21 \text{ Kg CO}_2/\text{Kwh}$  [31].

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

La Figura 4 muestra los resultados de la densidad de cada uno de los especímenes preparados.

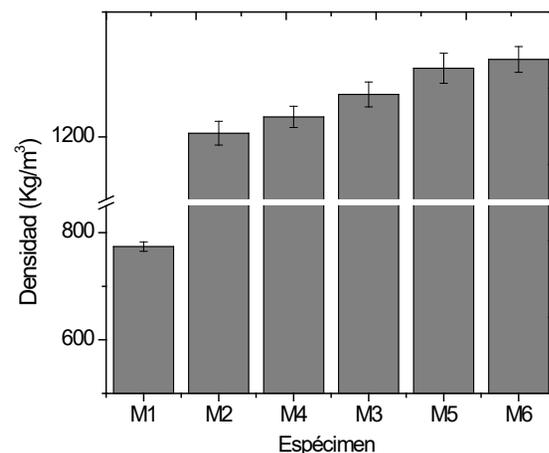


Figura 4. Densidad de los especímenes elaborados

Los resultados de la Figura 4 muestran que el espécimen M1 tiene la densidad más baja ( $774 \text{ Kg}/\text{m}^3$ ), dado que este contiene solo PET (muestra de control), por tanto, debido al peso ligero de este material, entre mayor sea su presencia, menor será la densidad del espécimen resultante. Los especímenes que contienen

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3725>

agregados y residuos de vidrio, ya sea de manera individual o combinada, presentan un aumento en la densidad con respecto a la muestra de control. Los resultados revelaron que las muestras individuales M2 (preparada con plástico y vidrio) y la muestra M6 (preparada con plástico y agregados) presentan el menor (57 %) y el mayor (67 %) aumento, respectivamente, en comparación con la muestra de control. Este comportamiento en la densidad de las muestras individuales está asociado con la menor gravedad específica de los residuos de vidrio ( $2420 \text{ Kg/m}^3$ ) en comparación con los agregados ( $2780 \text{ Kg/m}^3$ ). Este comportamiento está en línea con los reportados previamente por Valencia y colaboradores [32], quienes reportaron que el aumento en la densidad de concretos preparados a partir de adiciones individuales de microesferas y plásticos es función del tipo de sustituto, siendo mayor para los concretos preparados con microesferas. Los resultados de la Figura 4 también muestran que en los especímenes preparados a partir de la combinación de residuos de vidrio y agregados, existe un aumento en la densidad, la cual es directamente proporcional al aumento en el contenido de agregados; de hecho, los especímenes combinados M3, M4 y M5, presentaron aumentos en la densidad de los especímenes del 57 %, 60 % y 62 %, respectivamente, en comparación con la muestra de referencia. La tendencia observada en la densidad por la adición de agregados y vidrio se asocia a la fusión de los pellets de plástico, los cuales ocuparon los espacios existentes entre las partículas de vidrio y agregados durante la elaboración de los materiales. El comportamiento en las muestras combinadas sigue la misma tendencia que las muestras individuales, siendo proporcional al componente dominante. Nuestros resultados son acordes con los trabajos previos de Kumi y colaboradores [19], quienes evidenciaron un aumento en la densidad directamente proporcional el contenido de agregados durante la preparación de bloques elaborados a partir de agregados finos enlazados con plástico.

La Figura 5 muestra los resultados de la resistencia a la compresión de los especímenes preparados. Como es sabido, la resistencia a la compresión es la medida más relevante para determinar la calidad de los ladrillos, cuanto mayor sea esta, más duradero es el ladrillo.

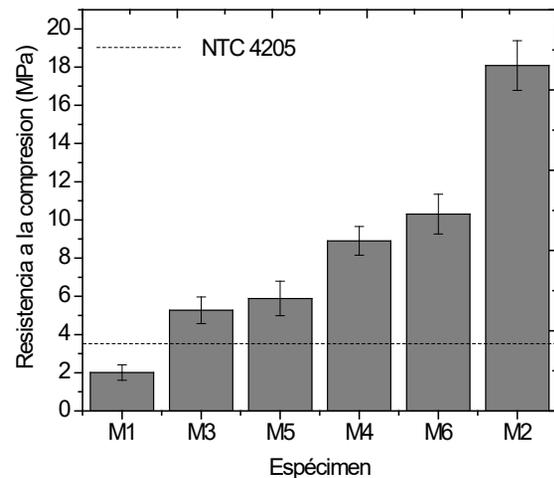


Figura 5. Resistencia a la compresión de los especímenes elaborados

Los resultados de la Figura 5 muestran que la adición de residuos de vidrio o agregados genera un efecto positivo en la resistencia a la compresión de los especímenes preparados exclusivamente a partir de residuos plásticos. Se encontró que la resistencia a la compresión está por encima del valor mínimo necesario (3.5 MPa) exigido por la norma técnica colombiana NTC 4205. Con respecto al espécimen preparado a partir de la adición individual de vidrio M2 se encuentra una resistencia 2.6 veces mayor (5.27 MPa) a la muestra de control, en línea con los reportes previos de Akinyele y colaboradores [18], quienes reportaron una mejora en la resistencia a la compresión fuertemente dependiente de la incorporación y del contenido de residuos de vidrio en la preparación de ladrillos de arcilla con adiciones de vidrio. Asimismo, para el material preparado con adición individual de agregados, se observó una mejora mucho más marcada en la resistencia a la compresión, alcanzando una resistencia 9 veces mayor (18.08 MPa) a la muestra de control. Los resultados encontrados en este trabajo son acordes a los reportados previamente por Kumi y colaboradores [19], quienes hallaron un aumento en la resistencia a la compresión en la preparación de bloques a partir de diferentes combinaciones de plástico y agregados; de hecho, la mejor resistencia (alrededor de 27 MPa) fue reportada para una adición del 75 % de agregados, el cual corresponde a un por-

centaje similar de reemplazo en este trabajo (74 % de contenido de agregados). El comportamiento observado en la resistencia a la compresión puede ser explicado con base en la resistencia individual de cada uno de los materiales individuales, siendo mayor en los agregados que en el vidrio, lo cual permite una mayor capacidad de carga en las muestras individuales preparadas solo con agregados. De hecho, la mayor rugosidad observada en los agregados que en el vidrio se refleja en una mejor adherencia de los agregados con el plástico fundido, mejorando la resistencia a la compresión. Para los especímenes preparados a partir de combinaciones de residuos de vidrio y de agregados, se encontró una tendencia similar a la densidad, mostrando una mejora en la resistencia a la compresión con el incremento en el contenido de agregados; de hecho, los especímenes M3, M4 y M5, que contienen 20 %, 32 % y 51 % de agregados, presentan aumentos en la resistencia del 12 %, 68 % y del 95 %, respectivamente, en comparación con el material preparado a partir de residuos de vidrio y plástico M2. Los resultados muestran el efecto sinérgico positivo que genera la adición de los agregados finos al vidrio, comportamiento asociado a la interacción con los agregados, compuestos de naturaleza inorgánica compatible, los cuales se entrelazaron entre sí durante la elaboración del material permitiendo una mejor interacción, lo que conllevó a un aumento en la resistencia a la compresión, tal como ha sido descrito previamente por otros autores [33].

La Figura 6 muestra una imagen macroscópica de un corte realizado al espécimen M6, el de mayor resistencia



Figura 6. Estructura macroscópica de un corte al espécimen M6.

Los resultados de la Figura 6 muestran que las partículas de agregados están encapsuladas y unidas mecánicamente a la matriz de plástico. De hecho, se puede observar que el aglutinante (residuos de plástico, en este caso) se une a los agregados, rellenando las irregularidades de la superficie y formando una interacción fuerte entre estas fases, lo que conlleva a una mayor resistencia. Para las muestras preparadas con PET y residuos de vidrio (no mostradas en este trabajo), se observa una interacción más débil entre estos materiales, debido a la menor rugosidad del vidrio, lo que conllevó a una menor resistencia a la compresión, sin embargo, esta fue mejorada con la inclusión de agregados en las muestras combinadas, lo que se tradujo en un aumento en la resistencia a la compresión. Este comportamiento fue previamente descrito por Kumi y colaboradores [19], quienes reportaron cambios en la estructura reticular de la matriz estructural plástico-agregados finos observada mediante microscopía electrónica de barrido.

Los resultados encontrados muestran una mejora en la propiedades mecánicas de bloques preparados a partir de residuos plásticos, con adiciones de agre-

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3725>

gados y residuos de vidrio; de hecho, se observa que estas se ven influenciadas no solo por el tipo de material añadido al bloque, sino también por el porcentaje de material y de la relación entre agregados y vidrio, mostrando una influencia más positiva sobre la resistencia a la compresión cuanto mayor sea el contenido de agregados en las muestras combinadas.

La Figura 7 muestra la emisión de dióxido del espécimen que presentó la mejor resistencia a la compresión. Se reportan datos comparativos reportados por otros autores. Los cuales representan el tipo de horno utilizado en el proceso de elaboración de los ladrillos y se describen a continuación: VSK (*Vertical Shaft Brick Kiln*), ZZ (*ZigZag Kiln*), TKI (*Tunnel Kiln India*), FCB (*Fixed Chimney Bull's Trench Kiln*), TK (*Tunnel Kiln USA*), TKU (*Tunnel Kiln United Kingdom*) y DDK (*Down Draft Kiln*) [34].

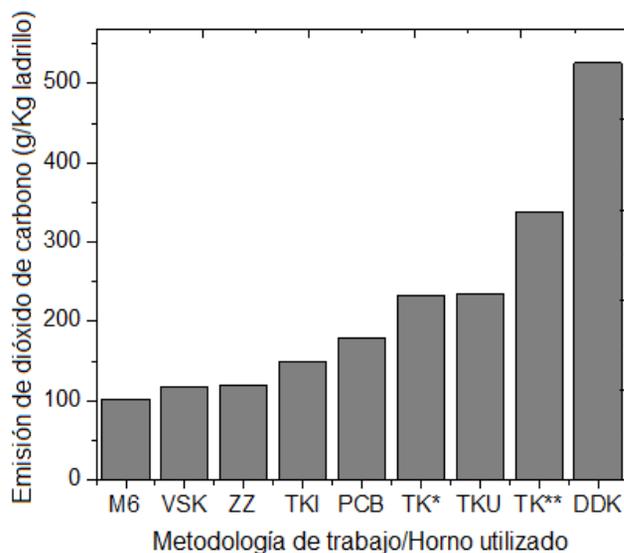


Figura 7. Emisión de dióxido de carbono g /Kg de ladrillo elaborado. TK\* (utilizando gas natural como combustible) TK \*\* (utilizando aceites combustibles ligeros como combustible)

La Figura 7 muestra que el espécimen M6, preparado a partir de plástico y agregados, emite alrededor de 102 g de dióxido de carbono por cada kilogramo de ladrillo elaborado. La emisión de dióxido de carbono en este proceso proviene de la *pelletización* del material plástico. En esta misma figura se puede observar que el proceso de preparación de ladrillos mostrado en

este trabajo presenta menores emisiones que la metodología tradicional, la cual utiliza diferentes hornos y combustibles. De la Figura 7 se puede observar que el proceso tradicional de preparación de ladrillos muestra un rango de emisiones de dióxido de carbono bastante amplio, el cual está comprendido entre 119-526 gCO<sub>2</sub>/Kg de ladrillo; esta emisión depende exclusivamente del tipo de horno y del combustible utilizado para el proceso de elaboración de los materiales. Cuando se compara el método utilizado en este trabajo con los métodos reportados en la literatura (VSK, ZZ, TKI, FCB, TK\*, TKU y DDK) se encuentra que estos son mayores en un 15.7 %, 16.7 %, 46.1 %, 75.5 %, 127.7 %, 129.6 % y 415 %, respectivamente, con respecto al método propuesto, lo cual indica que esta metodología es ambientalmente más amigable, al mismo tiempo que plantea una alternativa de valorización para este tipo de desechos.

De la misma manera, si se realizan comparaciones entre los métodos reportados en la literatura, con respecto al uso de diferentes combustibles (TK\* gas natural y TK\*\* aceites combustibles ligeros) en un horno tipo *Tunnel Kiln* (ver Figura 7) estos, además de presentar mayores emisiones de dióxido de carbono, también generan emisiones adicionales de CO, SO<sub>2</sub> y material particulado. La reducción en las emisiones de dióxido de carbono puede ser explicada desde el punto de vista de la temperatura más baja a la cual se lleva esta metodología (alrededor de 240 °C), siendo menor a la reportada en la literatura para el proceso tradicional (rango entre 700 – 1500 °C) de elaboración de ladrillos [35], lo cual acarrea un mayor consumo energético que, en algunos casos, se abastece mediante la combustión de biomasa.

A partir de los resultados discutidos anteriormente, este estudio indica una diferencia significativa entre ambas técnicas de preparación de ladrillos. La metodología propuesta en este trabajo permite generar ladrillos con resistencias a compresión mayores al material tradicional y menores emisiones de dióxido de carbono. Los resultados encontrados son consistentes con estudios anteriores que presentan cómo la elección del

material puede afectar tanto a la energía incorporada como a la huella de carbono de los materiales de construcción [36].

Con respecto a la metodología reportada en este trabajo, se requieren estudios adicionales sobre el retorno de la inversión del proceso, dado el requerimiento de electricidad para su funcionamiento, lo que podría llevar a una limitación en muchos lugares donde no se disponga de un suministro eléctrico continuo. Con respecto a este trabajo se resalta el potencial que tienen los residuos de plástico y de vidrio para convertirse en un material de construcción ecológico ya que muestra un menor impacto ambiental en comparación con el método tradicional.

#### 4. TRABAJOS FUTUROS

Los resultados de este trabajo muestran el potencial que tiene la adición de agregados sobre las propiedades físicas y mecánicas de ladrillos preparados a partir de residuos plásticos y vidrio, asociado a la sinergia entre estos dos materiales. Por tanto, se espera en trabajos posteriores, llevar a cabo estudios que permitan mejorar la discusión de los resultados encontrados hasta el momento, por lo cual se propone:

Para el espécimen m6 (el de mayor resistencia a la compresión) evaluar el efecto de la variación del contenido y el tamaño de partícula de los agregados, y en las propiedades físicas y mecánicas de los especímenes preparados.

Realizar ensayos de conductividad térmica y pruebas de resistencia al fuego de los especímenes preparados.

Evaluar la adición de aditivos sobre las mezclas preparadas y su efecto sobre las propiedades del sistema

Adelantar estudios de microscopía electrónica de barrido que permitan estudiar con detalle la interacción interfacial entre los agregados, los residuos de vidrio y el plástico fundido.

Adelantar estudios de viabilidad económica del proceso presentado en este trabajo, tomando en cuenta los costos de los materiales y el costo energético.

#### 5. CONCLUSIONES

A partir de residuos de plástico, vidrio y agregados se prepararon mezclas binarias y ternarias, y se elaboraron bloques de las mezclas fundidas a 240 °C. Se evaluaron las propiedades físicas (densidad) y mecánicas (resistencia a la compresión) de los especímenes preparados. Los resultados mostraron que la incorporación de residuos modifica las propiedades de los materiales preparados.

Se observó un aumento en la densidad y la resistencia a la compresión, siendo mayor en las muestras individuales con agregados; mientras que en las muestras que contenían adiciones de vidrio y agregados, se encontró una relación directamente proporcional al contenido de agregados, tendencia relacionada con la mayor densidad y rigidez de estos últimos en comparación al vidrio. La mayor resistencia a la compresión (alrededor de 18 MPa) se observó en el material preparado solo a partir de agregados.

Los resultados de la observación macroscópica de los especímenes, evidenció una buena interacción entre los agregados y el plástico, asociada con la mayor rugosidad del agregado, lo cual estuvo en concordancia con los resultados de la resistencia a la compresión.

La evaluación de la huella de carbono (representada en g CO<sub>2</sub>/Kg de ladrillo) permitió evidenciar que la producción de ladrillos a partir de residuos de plástico y de vidrio genera una menor emisión de dióxido de carbono que el proceso tradicional, efecto directamente relacionado con el proceso de fabricación, que tiene un menor requerimiento energético dada la menor temperatura a la cual se efectúa el proceso.

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3725>

Los resultados de este trabajo evidencian el potencial que tiene la incorporación de residuos de vidrio y de plástico en la elaboración de ladrillos como una estrategia de valorización de estos residuos en beneficio del medio ambiente.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al proyecto INV2824 por el apoyo financiero en el desarrollo de este trabajo de investigación. F. Cardona, L. Rengifo, J. Guarín y D. Mazo, agradecen especialmente al semillero en materiales y estructuras. Universidad Cooperativa de Colombia.

## 7. CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran la inexistencia de conflicto de interés con institución o asociación comercial de cualquier índole.

## 8. REFERENCIAS

- [1] J. Hong, G. Q. Shen, Y. Feng, W. S. T. Lau, and C. Mao, "Greenhouse gas emissions during the construction phase of a building: A case study in China", *Journal of Cleaner Production*, vol. 103, pp. 249–259, 2015, [http://ira.lib.polyu.edu.hk/bitstream/10397/36019/1/Hong\\_Jingke\\_2015.pdf](http://ira.lib.polyu.edu.hk/bitstream/10397/36019/1/Hong_Jingke_2015.pdf)
- [2] A. Al-Fakih, B. S. Mohammed, M. S. Liew, and E. Nikbakht, "Incorporation of waste materials in the manufacture of masonry bricks: An update review", *Journal of Building Engineering*, vol. 21, pp. 37–54, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.09.023>
- [3] L. Zhang, "Production of bricks from waste materials—A review", *Construction and Building Materials*, vol. 47, pp. 643–655, 2013, doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.05.043>
- [4] A. L. Murmu and A. Patel, "Towards sustainable bricks production: An overview", *Construction and Building Materials*, vol. 165, pp. 112–125, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.01.038>
- [5] M. Sutcu, E. Erdogmus, O. Gencel, A. Gholampour, E. Atan, and T. Ozbakkaloglu, "Recycling of bottom ash and fly ash wastes in eco-friendly clay brick production", *Journal of Cleaner Production*, vol. 233, pp. 753–764, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.017>
- [6] S. Elavarasan, A. K. Priya, and V. K. Kumar, "Manufacturing fired clay brick using fly ash and M À Sand", *Materials Today Proceedings*, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.042>
- [7] Y. Chen, Y. Zhang, T. Chen, Y. Zhao, and S. Bao, "Preparation of eco-friendly construction bricks from hematite tailings," *Constr. Build. Mater.*, vol. 25, no. 4, pp. 2107–2111, April 2011. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.11.025>
- [8] P. Indhiradevi, P. Manikandan, K. Rajkumar, and S. Logeswaran, "A comparative study on usage of cowdung ash and wood ash as partial replacement in flyash brick", *Materials Today Proceedings*, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.355>
- [9] M. Sutcu, H. Alptekin, E. Erdogmus, Y. Er, and O. Gencel, "Characteristics of fired clay bricks with waste marble powder addition as building materials", *Constr. Build. Mater.*, vol. 82, pp. 1–8, 2015, doi: [10.1016/J.CONBUILDMAT.2015.02.055](https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2015.02.055)
- [10] O. Gencel, "Characteristics of fired clay bricks with pumice additive", *Energy and Buildings*, vol. 102, pp. 217–224, 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.05.031>
- [11] A. Seco, J. Omer, S. Marcelino, S. Espuelas, and E. Prieto, "Sustainable unfired bricks manufacturing from construction and demolition wastes", *Cons-*

- truction and Building Materials, vol. 167, pp. 154–165, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.02.026>
- [12] S. Neves, C. Maurício, and F. Vieira, “On the production of fired clay bricks from waste materials: A critical update”, *Construction and Building Materials*, vol. 68, pp. 599–610, 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.07.006>
- [13] P. Guo, W. Meng, H. Nassif, H. Gou, and Y. Bao, “New perspectives on recycling waste glass in manufacturing concrete for sustainable civil infrastructure”, *Construction and Building Materials*, vol. 257, p. 119-579, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119579>
- [14] I. Almeshal, B. A. Tayeh, R. Alyousef, H. Alabduljabbar, and A. M. Mohamed, “Eco-friendly concrete containing recycled plastic as partial replacement for sand”, *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 9, no. 3, pp. 4631–4643, 2020, doi: [10.1016/j.jmrt.2020.02.090](https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.02.090)
- [15] J. O. Akinyele, U. T. Igba, and B. G. Adigun, “Effect of waste PET on the structural properties of burnt bricks”, *Scientific African*, vol. 7, p. e00301, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00301>
- [16] J. Roberts. “How to design masonry structures using Eurocode 6”. <https://www.brick.org.uk/admin/resources/d-eurocode-6-masonry-introduction.pdf> (accessed Aug. 20, 2020).
- [17] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, *NTC 4205. Unidades de mampostería de arcilla cocida. Ladrillos y bloques cerámicos*, Colombia: editor, 2000.
- [18] J. O. Akinyele, U. T. Igba, T. O. Ayorinde, and P. O. Jimoh, “Structural efficiency of burnt clay bricks containing waste crushed glass and polypropylene granules”, *Case Studies in Construction Materials*, vol. 13, p. e00404, December 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2020.e00404>
- [19] A. Kumi-Larbi, D. Yunana, P. Kamsouloum, M. Webster, D. C. Wilson, and C. Cheeseman, “Recycling waste plastics in developing countries: Use of low-density polyethylene water sachets to form plastic bonded sand blocks”, *Waste Management*, vol. 80, pp. 112–118, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.09.003>
- [20] G. Syngros, C. A. Balaras, and D. G. Koubogiannis, “Embodied CO2 Emissions in Building Construction Materials of Hellenic Dwellings”, *Procedia Environmental Sciences*, vol. 38, pp. 500–508, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2017.03.113>
- [21] M. Dabaieh, J. Heinonen, D. El-Mahdy, and D. M. Hassan, “A comparative study of life cycle carbon emissions and embodied energy between sun-dried bricks and fired clay bricks”, *Journal Cleaner Production*, vol. 275, pp. 1-14, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122998>
- [22] W. Song, J. Yi, H. Wu, X. He, Q. Song, and J. Yin, “Effect of carbon fiber on mechanical properties and dimensional stability of concrete incorporated with granulated-blast furnace slag”, *Journal Cleaner Production*, vol. 238, pp. 1-11, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117819>
- [23] E. Crossin, “The greenhouse gas implications of using ground granulated blast furnace slag as a cement substitute”, *Journal of Cleaner Production*, vol. 95, pp. 101–108, 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.02.082>
- [24] D. J. Flower and J. G. Sanjayan, “Green house gas emissions due to concrete manufacture”, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 12, pp. 282–288, 2007, doi: <https://doi.org/10.1065/lca2007.05.327>
- [25] P. Van den Heede, E. Gruyaert, N. Robeyst, and N. De Belie, “Life Cycle Assessment of a Column Supported Isostatic Beam in High-Volume Fly Ash Concrete (Hvfa Concrete),” presented at the 2nd

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.3725>

- Int. Symp. Serv. Life Des. Infrastruct., Delft, The Netherlands, Oct. 4-6, 2010, pp. 437–444, <https://biblio.ugent.be/publication/1266046>
- [26] U. Javed, R. A. Khushnood, S. A. Memon, F. E. Jalal, and M. S. Zafar, “Sustainable incorporation of lime-bentonite clay composite for production of ecofriendly bricks”, *Journal Cleaner Production*, vol. 263, p. 121469, August 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121469>
- [27] D. A. Ramos Huarachi, G. Gonçalves, A. C. de Francisco, M. H. G. Canteri, and C. M. Piekarski, “Life cycle assessment of traditional and alternative bricks: A review”, *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 80, 2019, p. 106335, April 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2019.106335>
- [28] N. G. Kulkarni and A. B. Rao, “Carbon footprint of solid clay bricks fired in clamps of India”, *Journal Cleaner Production*, vol. 135, pp. 1396–1406, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.152>
- [29] J. Hong, G. Q. Shen, Y. Feng, W. S. T. Lau, and C. Mao, “Greenhouse gas emissions during the construction phase of a building: A case study in China”, *Journal Cleaner Production*, vol. 103, pp. 249–259, 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.11.023>
- [30] A. Ukwatta, A. Mohajerani, S. Setunge, and N. Eshtiaghi, “A study of gas emissions during the firing process from bricks incorporating biosolids”, *Waste Management*, vol. 74, pp. 413–426, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.01.006>
- [31] UPME, “Factores de emisión del sistema interconectado nacional Colombia 2015”, upme 2015, [http://www1.upme.gov.co/siame/Documents/Calculo-FE-del-SIN/Documento\\_calculo\\_del\\_FE\\_SIN\\_2015\\_dic\\_2016.pdf](http://www1.upme.gov.co/siame/Documents/Calculo-FE-del-SIN/Documento_calculo_del_FE_SIN_2015_dic_2016.pdf) (consultado en Ago., 25, 2020).
- [32] J. P. Valencia Villegas, A. M. González Mesa, and O. F. Arbelaez Perez, “Evaluación de las propiedades mecánicas de concretos modificados con microesferas de vidrio y residuos de llantas”, *Lámpsakos*, no. 22, pp. 16–26, 2019, doi: <https://doi.org/10.21501/21454086.3283>
- [33] N. Tamanna, R. Tuladhar, and N. Sivakugan, “Performance of recycled waste glass sand as partial replacement of sand in concrete”, *Construction Building Materials*, vol. 239, p. 117804, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117804>
- [34] U. Rajarathnam, V. Athalye, S. Ragavan, S. Maitihel, D. Lalchandani, S. Kumar, E. Baum, C. Weyant, and T. Bond, “Assessment of air pollutant emissions from brick kilns”, *Atmospheric Environment*, vol. 98, pp. 549–553, 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.08.075>
- [35] S. Iftikhar, K. Rashid, E. Ul Haq, I. Zafar, F. K. Alqahtani, and M. Iqbal Khan, “Synthesis and characterization of sustainable geopolymer green clay bricks: An alternative to burnt clay brick”, *Construction and Building Materials*, vol. 259, p. 119659, October 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119659>
- [36] L. F. Cabeza, C. Barreneche, L. Miró, J. M. Morera, E. Bartolí, and A. Inés Fernández, “Low carbon and low embodied energy materials in buildings: A review”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 23, pp. 536–542, April 2013, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.03.017>

# Creación de pacientes internacionales automatizado con AutoIt: un caso de aplicación

## Creating automated international patients with Autolt: An application case

**Lina María Montoya Suárez\***  
**Jorge Restrepo Sierra\*\***  
**Esneyder Gómez Marín\*\*\***

(Recibido el 31-03-2020. Aprobado el 14-06-2020)

### Estilo de citación de artículo:

L. M. Montoya Suárez, J. Restrepo Sierra, and E. Gómez Marín, "Creación de pacientes internacionales automatizado con Autolt: un caso de aplicación", *Lámpsakos*, no. 24, pp 74-81, julio-diciembre, 2020. DOI: 10.21501/21454086.2809

### Resumen

El Hospital Pablo Tobón Uribe (HPTU), ubicado en la ciudad de Medellín, en busca de mejorar los procesos y la eficiencia en la atención de pacientes, incorporó la tecnología AutoIt, la cual emplea una combinación de teclas simuladas, movimiento de mouse y manipulación de ventana/control para automatizar las tareas.

El HPTU identificó la necesidad de automatizar el proceso de creación de pacientes que contiene el manejo de las historias clínicas electrónicas de pacientes extranjeros, por medio de una plataforma llamada *Web Cheking*. Esta información se registra en el sistema transversal del hospital *SERVINTE*, con el fin de minimizar tiempo, eliminar reprocesos, errores y contingencias. Se concluye que, gracias a esta implementación, el HPTU ha mejorado la eficiencia de sus procesos al automatizar tareas que se hacían manualmente.

**Palabras clave:** RPA; Web Cheking; Servinte; Automatización; HPTU; Ingeniería de la producción; Software de código abierto; Diseño de sistemas; Algoritmo; Proceso aleatorio.

\* Magister en Ingeniería de Software, docente Universidad Católica Luis Amigó, integrante del grupo de investigación SISCO, Medellín-Colombia. Contacto: [lina.montoyasu@amigo.edu.co](mailto:lina.montoyasu@amigo.edu.co)

\*\* Coordinador de Interoperabilidad y Software Específico. Hospital Pablo Tobón Uribe, Medellín-Colombia. Contacto: [jarestrepo@hptu.org.co](mailto:jarestrepo@hptu.org.co)

\*\*\* Estudiante del programa de Ingeniería de Sistemas en la Universidad Católica Luis Amigó, Medellín-Colombia; practicante Hospital Pablo Tobón Uribe. Contacto: [esneyder.gomezma@amigo.edu.co](mailto:esneyder.gomezma@amigo.edu.co)

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.2809>

### Abstract

The Pablo Tobón Uribe Hospital (HPTU) located in the city of Medellin in its search to improve the processes and efficiency of patient care, incorporated AutoIt technology, which uses a combination of simulated keys, mouse movement and window/control manipulation to automate tasks. The HPTU identified the need to automate the patient creation process containing the management of electronic medical records of foreign patients, through a platform called Web Checking. This information is recorded in the cross-cutting system of the hospital 'SERVINTE', in order to minimize time, eliminate reprocesses, errors and contingencies. It is concluded that, thanks to this implementation, HPTU has improved the efficiency of its processes by automating tasks that were done manually.

**Keywords:** RPA; Web Checking; Servinte; Automation; HPTU; Production engineering; Open source software; System design; Algorithm; Random process.

## 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la automatización de procesos está adquiriendo relevancia en las empresas a escala mundial para mejorar los servicios y garantizar a tiempo una respuesta a diferentes procesos dentro de la organización. La automatización es la realización de tareas repetitivas que generan valor agregado a los empleados que las ejecutan. Estas tareas pueden ser realizadas por una computadora en un tiempo menor en comparación a cuando se realiza manualmente, lo que garantiza una disminución de costos y tiempo.

Hoy día se dispone de una gran cantidad de programas de automatización como el Autolt, el cual combina algoritmos de Machine Learning que permiten realizar automatizaciones más complejas y realizar proceso para la toma de decisiones. Para el caso del HPTU, se propuso automatizar el proceso de creación de pacientes extranjeros para minimizar costos, tiempos y posibles errores humanos. Para la aplicación de la automatización se empleó el software Autolt Versión 3.

El presente trabajo está conformado por los siguientes apartados: primero se presenta una contextualización general sobre el HPTU y la automatización de procesos con Autolt. Posteriormente se presenta la metodología utilizada, el caso de aplicación; y, por último, se concluye que la automatización con Autolt permite generar, validar y consolidar datos además reducir los tiempos en los procesos en los sistemas de información.

## 2. CONTEXTUALIZACIÓN

### Hospital Pablo Tobón Uribe

El HPTU es una institución hospitalaria universitaria de carácter privado y sin ánimo de lucro ubicada en el barrio Robledo de la Ciudad de Medellín, Colombia. Es una de las más importantes del país. En ella se albergan

estudiantes nacionales e internacionales de medicina, enfermería, nutrición, psicología, microbiología y áreas administrativas [1].

El Hospital trabaja constantemente para mejorar la calidad de sus servicios y de su grupo humano. Su misión es brindar una atención en salud de alta complejidad, y contribuir a la generación y transmisión del conocimiento en el marco del humanismo cristiano. Su visión es ser una institución líder en centros de excelencia de alta complejidad, centrada en el ser humano y abierta al mundo.

El departamento de Tecnología e Información (TI) del HPTU es el encargado del correcto funcionamiento de todos los sistemas de información que pertenecen al hospital, y brinda soporte a los usuarios de los diferentes sistemas y soporte a las infraestructuras. Está dividido en 4 áreas: telecomunicación y seguridad, desarrollo informático, servicios e infraestructura informática. El área de interoperabilidad y software se enfoca en ofrecer soluciones a problemas desde el desarrollo de nuevos sistemas de información, evaluando la complejidad y prioridad de las soluciones informáticas [1].

Partiendo de estos parámetros se seleccionan los proyectos prioritarios y son desarrollados por el equipo de ingenieros del hospital. Cuando el sistema de información requerido es de alta prioridad y se requiere de un equipo de desarrollo más especializado, se evalúa la posibilidad de contratación de una empresa de desarrollo.

### Automatización de procesos con Autolt

Autolt es un lenguaje scripting gratuito para Microsoft que simula los comandos de Windows: movimientos y clics del mouse [2], [3], [4]. Envía pulsaciones de teclas a las aplicaciones y trabaja con el portapapeles para cortar y pegar texto, entre otras tareas [5], [6]. Este software permite interactuar con aplicativos de la misma forma que lo hacen los usuarios al usar realmente el

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.2809>

mouse y teclado. Una de las características más relevantes que tiene AutoIt es la confiabilidad, velocidad y eficiencia [4], [7], [8].

Las funcionalidades y características más importantes de AutoIt son [9], [10], [11], [12], [13]:

- Permite simular las acciones del usuario a través del teclado y el mouse.
- Posee una sintaxis similar a BASIC para programación estructural con soporte para regular expresiones.
- Permite interactuar con Windows, posee controles y proceso de GUI para su manipulación.
- Posee herramientas para programación GUI y gestión de formularios.
- Tiene acceso a objetos COM, DLL, funciones API y registro de Windows.

Solution Center ha creado varios programas automatizados usando AutoIt que realizan diferentes tareas y procesos repetitivos, contribuyendo a la reducción de tiempo y errores, permitiendo agregar informes estadísticos [6], [14], [15], [16].

La Universidad Estatal de Iowa ha explotado las funciones de AutoIt. Este les ha permitido mejorar procesos estudiantiles y administrativos, permitiendo reducir la cantidad de tiempo en la fase de inscripción, disminución de errores humanos y tareas repetitivas [14].

En la Biblioteca Provincial de Jilin, Changchun, China, implementaron la automatización de proceso para el mejoramiento de la eficiencia frente al trabajo técnico en la biblioteca implementando AutoIt. El proceso permitió completar operaciones repetitivas e instalación de manera automática por un software, generando una configuración del sistema por lotes, registro de correo, entre otros de forma programada [17].

La consola de pruebas de software de caja negra Black Box fue diseñado con AutoIt, este permitió mejorar tanto la eficiencia como la eficacia de las activida-

des de prueba, donde su automatización proporcionó una plataforma ideal para desarrollar herramientas en sistemas Windows [18].

### 3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El HPTU siempre está en la búsqueda de brindar los mejores servicios de salud a los ciudadanos; el departamento de TI identificó la necesidad del Hospital de automatizar las tareas repetitivas de los empleados en las que se realizan actividades periódicas y tareas cuya dificultad no es muy elevada, pero sí tardan un tiempo considerable en ser realizadas. En la búsqueda de las herramientas de automatización, el grupo de Sura de Chile, junto con el equipo de desarrollo, se planteó una investigación para la automatización de procesos.

El proceso escogido para empezar las automatizaciones fue la creación de historias de pacientes internacionales, que se registra en el software SERVINTE del Hospital.

Los pacientes antes de llegar al hospital diligencian un formulario que se encuentra en riesgo clínico (página web del hospital); este formulario es llamado *Web Cheking* y permite exportar la información almacenada en un archivo de Excel. Este registro es entregado al área de pacientes internacionales, donde delegan un colaborador para crear los pacientes, tarea que tarda aproximadamente entre 15 y 25 minutos por paciente y en la semana se registran aproximadamente entre 12 y 20 pacientes.

La investigación pretende mostrar que la automatización de este proceso significa la reducción de tiempo en la creación de pacientes internacionales; además, cumple con las validaciones mínimas requeridas que realiza el colaborador antes de crear el paciente con el fin de verificar si ya existe en el sistema de información SERVINTE del Hospital. Con la automatización también se pretende bajar el porcentaje de duplicidad de los pacientes y el robot debe de mantenerse en este margen de error.

## 4. METODOLOGÍA

Para la construcción de la automatización con Autolt para la creación de pacientes internacionales, se emplearon las siguientes fases.

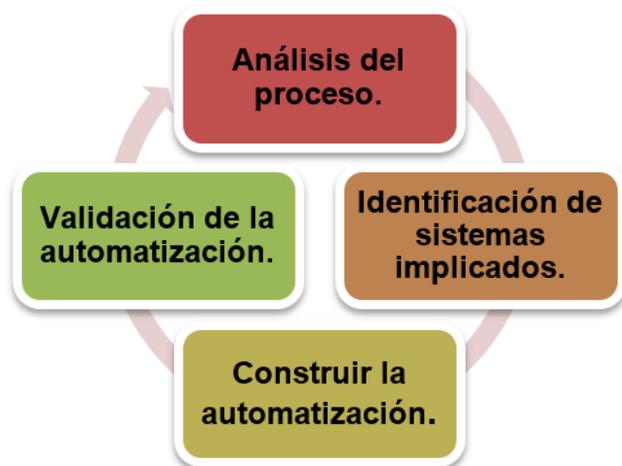


Figura 1. Metodología.

### Análisis del proceso

El equipo de desarrollo del área de interoperabilidad y software específico identificó que Autolt es un software que sirve como apoyo para automatizar el proceso y así cumplir con la tarea de creación de paciente internacional; al analizar el software se identificó la cantidad de maneras en que puede ser usado para que procesos y tareas funcionen de la mejor manera, más eficiente y en el menor tiempo posible.

### Identificación de sistemas implicados

Antes de iniciar la automatización, se tuvo en cuenta el conocimiento y los procesos de los sistemas de información que el Hospital tiene involucrados en el procedimiento: cómo funcionan, la adquisición de credenciales, cómo se realizan, qué validaciones se requieren para ingresar la información, cuáles son las personas que lo hacen, entre otros aspectos.

### Construir la automatización

Una vez se tuvo todo el conocimiento acerca de cómo se realiza el proceso, se creó *script*, que tomó la información del archivo plano creado por *Web Cheking*, la plataforma donde se realizó el registro del nuevo paciente.

### Validación de la automatización

Se realizaron todos los preparativos necesarios para la puesta en producción de la automatización denominada Creación de paciente internacionales. Los primeros 15 días se validaron a diario los pacientes registrados por este *script* para analizar los errores y así hacer las correcciones pertinentes.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el desarrollo de la automatización denominada Creación de pacientes internacionales, desde el comienzo se empezaron a definir las reglas y el proceso para cada uno de los componentes que estarían integrados y ejecutados en el sistema *SERVINTE* del Hospital (ver Figura 2).

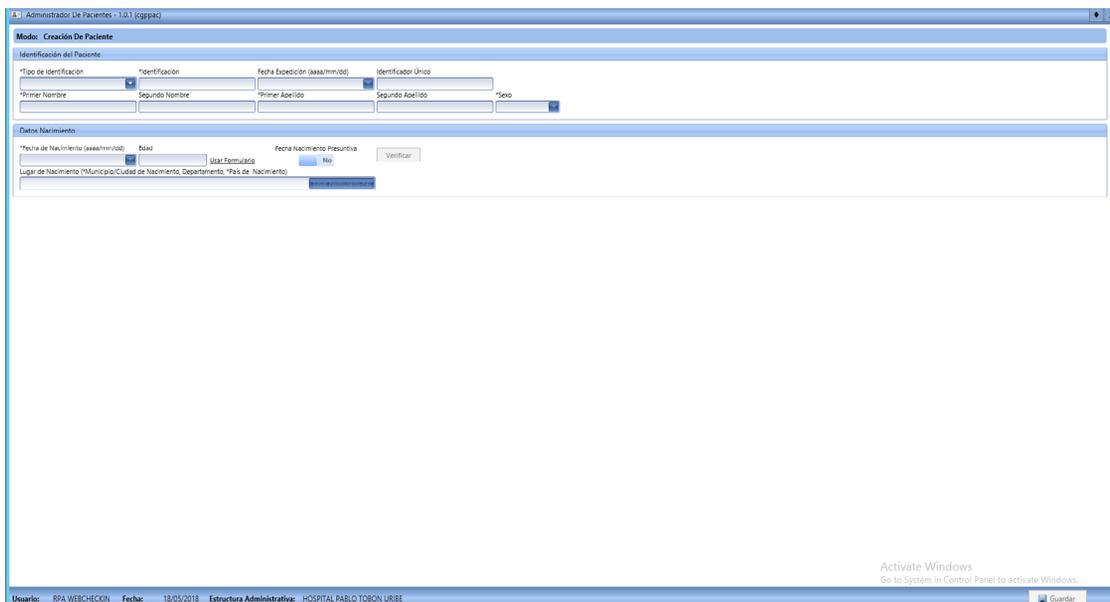


Figura 2. Sistema SERVINTE Hospital Pablo Tobón Uribe.

Se definió un flujo de trabajo para que la automatización ejecutara los mismos procesos que realiza el empleado (colaborador).

Para iniciar se ingresa al sistema denominado Riesgo clínico, donde se encuentra el formulario de *Web Cheking*, luego se descarga el archivo de los pacientes creados en el día, y se realiza el *login* en el sistema de información de SERVINTE; se ingresa al módulo de Gestión de pacientes, allí se despliega el formulario para la creación de pacientes nuevos (ver Figura 2). El *script* lee todos los datos alojados en el archivo plano y con ellos realiza las validaciones por medio de *queries* a la base de datos del sistema; si se determina que el paciente no se encuentra creado, el *script* procede a trasladar esta información al formulario de creación de paciente y, terminada la creación, envía un correo a los interesados con los datos básicos de paciente que se creó, toma una copia del número de historia clínica y la guarda en el archivo plano. Al finalizar este proceso con todos los pacientes registrados, se cierran todos los sistemas involucrados (ver Figura 3).

Lo más importante para la gestión de la información es que la automatización no realice pacientes duplicados en el sistema; para evitarlo, se realizan las siguientes validaciones.

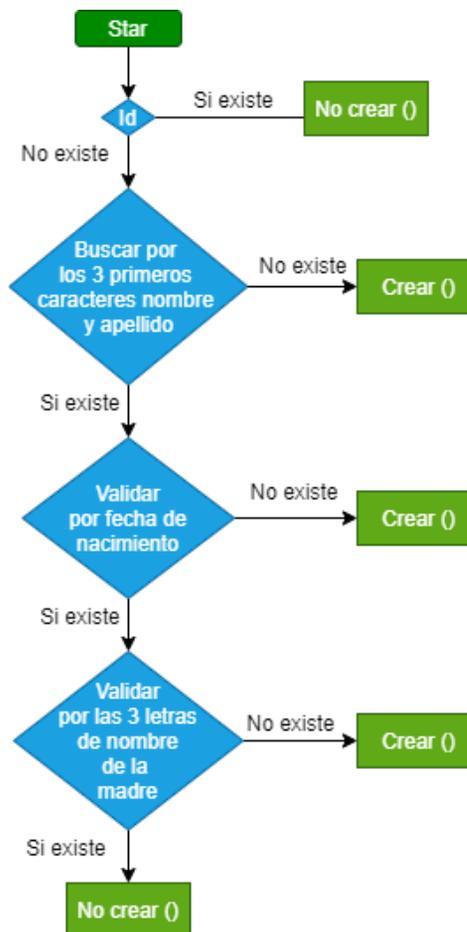


Figura 3. Validaciones para la creación de nuevo paciente internacional.

```

ate("Gestión De Pacientes", "")
eft", 157, 87, 3)

");primera busqueda para habilitar el boton de nuevo paciente

eft", 1085, 442, 1)

eft", 1563, 70, 1)

Users\1214741694\Desktop\registrados.ods"
gram Files (x86)\LibreOffice 3\program\scalc.exe " & $excel, @WindowsDir, @SW_MAXIMIZE );abre el archivo de

variable servira de contador para recorrer las filas

```

Figura 4. Código fuente para script llamado Creación de pacientes internacionales.

Para el proceso se diseñó el siguiente código fuente de *script* ser ejecutado en la automatización con Autolt (ver figura 4).

## 6. CONCLUSIONES

Al realizar la automatización denominada Creación de pacientes internacionales, se redujo el tiempo del proceso de 20 horas mensuales a 1 hora semanal, además se generó un ambiente de confianza al equipo de desarrollo que llevó a tomar la decisión de crear una lista de 19 procesos fundamentales para ser evaluados y automatizados a mediano y largo plazo.

La automatización con Autolt permitió generar, validar y consolidar la información en el sistema SERVINTE del Hospital, y así agilizar los procesos y tareas para garantizar que no exista duplicidad de datos en la creación. Esto permitió disminuir los errores de inserción, reducir las descargas de archivo a menos de 2 minutos y registrar los datos, entre otras mejoras.

## 7. CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran la inexistencia de conflicto de interés con institución o asociación comercial de cualquier índole.

## 8. REFERENCIAS

- [1] Hospital Pablo Tobón Uribe, "Hospital Pablo Tobón Uribe." HPTU. <https://www.hptu.org.co/quienes-somos/historia.html> (retrieved Date Accessed 2018).
- [2] K. Srivastava, A. Animesh, and M. H. Bindu, "Mobile Based Interaction System for the Paralyzed People", *GSTF J. Comput.*, vol. 1, no. 2, 2018, pp. 319-220.
- [3] K. Selvarajah, R. Zhao, and N. Speirs, "Building Smart Space Applications with Pervasive Computing in Embedded Systems (PECES)", presented at the 2nd Annual International Conference on Advances in Distributed and Parallel Computing (ADPC), Newcastle, United Kingdom, 2011. DOI: 10.5176\_2010-2283\_1.4.103

DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.2809>

- [4] J. Canora Sánchez, "Automatización de los elementos de confort de un vehículo antiguo", Tesis de pregrado, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2019. [http://oa.upm.es/56013/1/TFG\\_JUAN\\_CANORA\\_SANCHEZ.pdf](http://oa.upm.es/56013/1/TFG_JUAN_CANORA_SANCHEZ.pdf)
- [5] M. C. Carvalho, *Practical Laboratory Automation. Made Easy with AutoIt*. Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2017.
- [6] E. Y. Denisov, A. G. Voloboy, and I. A. Kalugina, "Automatic testing of interactive lighting simulation software package", *Prepr. Keldysh Inst. Appl. Math.*, no. 200, pp. 1–19, 2018, doi: <https://doi.org/10.20948/prepr-2018-200>
- [7] B. D. Blansit, "Using AutoIt to Simplify Scripting", *J. Electron. Resour. Med. Libr.*, vol. 5, no. 3, pp. 293–306, 200, doi: <https://doi.org/10.1080/15424060802222521>
- [8] W. Montalvo, E. S. Llamuca, F. G. Benalcazar, C. A. Garcia, and M. V Garcia, "Sistemas de automatización de bajo costo para la integración industrial de plantas basadas en AMQP", *Rev. Ibérica Sist. e Tecnol. Informação*, no. E27, pp. 121–134, 2020. <https://pure.ups.edu.ec/es/publications/low-cost-automation-production-systems-for-industrial-shop-floor->
- [9] S. J. Marengo, y R. Pereyra, "Automatización de planta de producción de biodiesel", Trabajo de pregrado, Departamento de Electrónica, Universidad Tecnológica Nacional, Buenos Aires, Argentina, 2019.
- [10] A. Flesner, *Autoit v3: your quick guide*. California, país: Estados Unidos, O'Reilly Media, Inc., 2007.
- [11] J. Bennett, "AutoIt", 2015 [Online]. Disponible: <http://www.autoitscript.com/autoit3/index.shtml>
- [12] L. S. M. Gómez, H. H. Herrera, and F. Uribe, "Automatización y computación distribuida para laboratorios de informática forense," presentado en *XVI Simposio Argentino de Informática y Derecho (SID 2016)-JAIIO 45*, Buenos Aires, Argentina, febrero 3, 2016.
- [13] L. J. Martínez López, "Programación de cámara de meteoros", Trabajo de pregrado, Departamento de Ingeniería Matemática e Informática, Universidad Pública de Navarra, Pamplona, Argentina, 2017. <https://hdl.handle.net/2454/24728>
- [14] J. Brand, and J. Balvanz, "Automation is a breeze with AutoIt," presented at the 33rd Annual ACM SIGUCCS Conference on User Services, New York, NY, United States, November 2005, pp. 12–15, doi: <https://doi.org/10.1145/1099435.1099439>
- [15] I. Shpigor, *Practical Video Game Bots: Automating Game Processes using C++, Python, and AutoIt*, 1st ed., York, NY, United States Apress, 2018.
- [16] C. H. Jung and P. P. Thanh, "System and method of controlling a web browser plug-in for testing analytics". York, NY, United States Google Patents, 2018.
- [17] C. Si-yi, "Improving the Technical Work Efficiency in Library by AutoIT [J]", *Shanxi Libr. J.*, vol. 3, p. 8, 2010.
- [18] R. A. Buchmann, R. Arba, and L. Mocean, "Black Box Software Testing Console Implemented with AutoIT", presented at the International Conference on Knowledge Engineering, Principles and Techniques, Romania, July 2–4, 2009, pp. 19–22.

# CÓDIGO DE CONDUCTA Y GUÍA PARA AUTORES

# Código de conducta

La revista Lámpsakos es una publicación digital semestral, adscrita a la Facultad de Ingenierías y Arquitectura de la Universidad Católica Luis Amigó, Medellín, Colombia. Tiene por objetivo divulgar artículos originales e inéditos como resultados de investigación científica y tecnológica de las áreas de ingenierías. Fundada en 2009, la revista tiene una periodicidad semestral (se publica en los meses de enero-junio y julio-diciembre) con alcance nacional e internacional, tiene circulación en línea de libre acceso, bajo estándares de rigor científico y de calidad editorial.

La revista Lámpsakos, es de acceso abierto financiada por la Universidad Católica Luis Amigó, quien se ocupa de todos los costos de edición, publicación y divulgación. Por lo tanto, no genera ningún cobro a sus colaboradores (autores, lectores, revisores, bibliotecarios, etc); ni genera ninguna retribución económica ni a los autores, ni a los miembros de los comités. Las decisiones y procedimientos se rigen por criterios de calidad académica, excelencia investigativa, integridad, honestidad y transparencia, por lo que se adhiere a los principios del Committee of Publication Ethics (COPE).

Lámpsakos, se rige a los criterios emitidos por la jurisprudencia colombiana, mientras se rige paralelamente con los derechos de autor y los derechos afines con la sociedad de la información. Enmarcados siempre ante las normas de calidad de diversos sistemas de indexación y resumen.

El código de conducta, tanto la guía para autores, deben ser adoptadas por cualquier actor que se vincule a la revista, en proporción al rol que ejerza.

## Equipo de colaboradores

Con el fin de certificar y garantizar que el actuar de cada uno de los actores implicados se de en el marco de la ética, transparencia, calidad y rigor científico, proporcionando siempre un equipo humano que contribuya a dirimir conflictos, esta revista se acompaña de los siguientes comités:

### Directora/ Editora

#### **Ingrid-Durley Torres**

PhD(c) en Ingeniería de Sistemas

Investigador Reconocido en Colciencias

## Comité Editorial

*Rubén Ángel Galindo-Aires*, Ph.D., Universidad Politécnica de Madrid (UPM), España

*Giner Alor-Hernández*, Ph.D., Instituto Tecnológico de Orizaba, Veracruz, México

*Óscar Sapena-Vercher*, Ph.D., Universidad Politécnica de Valencia (UPV), España

*Amit Chaudhry*, Ph.D., Institute of Engineering and Technology, Panjab University, Chandigarh, India

*Luis Fernando Garcés-Giraldo*, Ph.D., Corporación Universitaria Lasallista, Caldas (Ant), Colombia

*Nazly E. Sánchez-Peña*, Ph.D., Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, Popayán, Colombia

*Nourou Khalidou Dia*, Ph.D., Université des Sciences, Technologies et de Médecin, Nouakchott, Mauritania

*Henry Alonso Colorado-Lopera*, Ph.D., Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia

*Julián Alberto Patiño-Murillo*, Ph.D(C)., Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia

El comité editorial, se conforma de un equipo humano cuya formación y conocimientos, se relacionan completamente con la orientación temática de la revista y ejercen funciones orientadas a otorgar los niveles de calidad y rigurosidad que demanda. Para cumplir con lo citado, los integrantes de éste comité, revisan, supervisan, dirigen y velan que cada manuscrito presentado y publicado, cumpla con el enfoque, la orientación y los criterios de calidad. Tienen la cualidad de fungir como editores invitados en números especiales y contribuyen con la divulgación de la revista, a fin de incrementar el interés académico y científico de autores y lectores de Lámpsakos, en el mundo. Pueden en algunas contadas ocasiones, someter sus publicaciones al mismo proceso editorial de ésta revista, siempre respetando los parámetros para ello establecidos.

## Comité Científico

*Marcelo Becker*, Ph.D., Universidade de São Paulo (USP), São Carlos, Brasil

*José María Yusta-Loyo*, Ph.D., Universidad de Zaragoza (Unizar), España

*Gustavo Alejandro Schweickardt*, Ph.D., Universidad Tecnológica Nacional, Concepción del Uruguay, Argentina

*Bizuayehu Abebe-Worke*, Ph.D., Universidade da Beira, Covilhã, Portugal

*Aldo Pardo-García*, Ph.D., Universidad de Pamplona, Norte de Santander, Colombia

*Marta Silvia Tabares-Betancur*, Ph.D., Universidad EAFIT, Medellín, Colombia

*Yuri Ulianov-López*, Ph.D., Universidad Autónoma de Occidente, Cali, Colombia

*Andrés Felipe Agudelo-Santamaría*, Ph.D., Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia

El equipo humano del comité científico goza de reconocimiento en el medio académico, y actúan como asesores externos. No forman parte de su actividad, evaluar artículos y excepcionalmente someten artículos. Su tarea es acompañar con su objetividad la pertinencia y calidad científica de los artículos postulados a publicación.

## Consejo Editorial

*Isabel Cristina Puerta Lopera*, Ph.D. Vicerrectora de Investigaciones

*Carlos Alberto Muñoz*, jefe de la oficina de comunicaciones y RRPP

*Paula Andrea Montoya Zuluaga*, Representante de los docentes investigadores

*Carolina Orrego Moscoso*. Jefe Departamento de Fondo Editorial

*Alvaro Osorio Tuberquia*, Jefe de departamento de Biblioteca

*David Esteban Zuluaga Meza*, Representante de los directores-editores de Revistas Científicas

*Juan Diego Betancurt Arias*, Representante de los directores-editores de Revistas de Divulgación

## Enfoque

Los temas tratados en la Revista se dirigen a todas las personas de los espacios académicos, investigativos, científicos y profesionales de los diferentes sectores educativos, productivos y empresariales que desarrollan sus actividades en torno a la ingeniería. Los trabajos que publica corresponden a aspectos de desarrollo científico, profesional y tecnológico en áreas como ingeniería informática, ingeniería electrónica, ingeniería eléctrica, ingeniería ambiental, ingeniería civil, ingeniería mecánica, ingeniería industrial y demás tópicos centrados en el área de ingeniería.

## Público objetivo

Lámpsakos está dirigida al público nacional e internacional, con interés manifiesto en los temas actuales y científicos de la Ingeniería. Permitiendo aportar conocimientos contextualizados de soluciones reales sobre problemáticas contemporáneas del ámbito de la ingeniería.

Toda la reclamación se recibirá por escrito mediante correo electrónico a la revista [lampsakos@amigo.edu.co](mailto:lampsakos@amigo.edu.co). El plazo máximo será de 5 días hábiles a partir de la recepción de la disconformidad.

## Revisión editorial, antiplagio y evaluación de artículos

1. **Revisión temática de estructura y normas de citación.** Se evalúa la pertinencia del texto con los ejes temáticos de la revista y el cumplimiento de los criterios que se describen en las código de conducta y guía para autores. En caso que no responda a dichos parámetros, se regresa al autor; si la presentación formal o de fondo debe mejorarse, se le solicita realizar las correcciones y hacer un nuevo envío en un tiempo ajustado al cronograma de edición; si el artículo cumple con las condiciones mencionadas, se dará paso a la segunda etapa del proceso.
2. **Política antiplagio.** Con el propósito de identificar si los artículos son originales e inéditos y de evitar posibles copias y plagios, se utiliza tecnología profesional para comparar los manuscritos con otros ya divulgados por distintos medios digitales, incluso, con las publicaciones académicas participantes de Crossref. El sistema tecnológico genera un reporte e índice de similitud; si este último es superior al 25%, el artículo es descartado; si por

el contrario el índice es hasta del 25%, el artículo continúa en la tercera etapa del proceso. A partir del reporte se identifican, errores en el manejo de las citas y referencias, adecuado uso de las fuentes primarias y credibilidad de la información, con lo que se pretende prevenir el plagio.

3. **Evaluación por pares.** Los artículos se someten a evaluación por pares bajo la modalidad de doble ciego, es decir, que es confidencial la información de los autores para los dictaminadores, y viceversa; a esto se agrega que entre estos últimos no se dan a conocer datos personales ni los conceptos evaluativos. Una vez iniciada la evaluación del artículo, los autores se comprometen a no retirarlo hasta la finalización del proceso. El tiempo estimado entre la recepción del artículo y la evaluación es de tres (3) meses. Este lapso puede tener variaciones según la temática del artículo y otros procesos editoriales.

a. **Selección de evaluadores:** la revista cuenta con una base de datos de académicos investigadores, nacionales e internacionales, con experiencia en el ámbito de la ingeniería, respaldado con publicaciones científicas. Para cada artículo se asignan dos pares evaluadores que cumplan con las siguientes exigencias:

- i. Niveles de formación en maestría y prioritariamente, doctorado;
- ii. Sin conflicto de intereses respecto al tema o artículo que evalúen;
- iii. No pertenecer al comité editorial o al científico de la revista ni a la Universidad Católica Luis Amigó;
- iv. Si es colombiano, debe estar reconocido por Colciencias, en caso contrario, tener título de posgrado o un índice H5 mayor a 2.

b. **Revisión de los artículos:** la dirección de la revista entrega a los árbitros el artículo acompañado de un formato de evaluación en el que se abordan los siguientes elementos formales y temáticos:

- i. Pertinencia del artículo de acuerdo con los intereses de la revista
- ii. Correspondencia del título con el tema
- iii. Vigencia del tema
- iv. Utilización de términos y conceptos según la disciplina
- v. Pertinencia de gráficas, tablas y figuras
- vi. Utilización adecuada de las citas y referencias
- vii. Actualidad de las referencias
- viii. Novedad del trabajo
- ix. Rigor teórico-metodológico
- x. Coherencia del texto

4. **Decisión:** el formato se cierra con tres alternativas de dictamen:

- a. "Se publica sin modificaciones";
- b. "Se publica con correcciones";
- c. "No se publica".

Si ambos evaluadores consideran que el artículo “no se publica”, la dirección de la revista comunica la decisión al autor y envía, como soporte, el resultado de las evaluaciones entregado por los árbitros. Si ambos evaluadores coinciden en que el artículo “se publica sin modificaciones”, se informa al autor la decisión y se remite el artículo a la fase de edición. Si un evaluador considera que el artículo debe publicarse sin modificaciones y otro indica que “se publica con correcciones”, se informa al autor acerca de los cambios que debe implementar y la fecha en que debe hacer llegar el documento con las correcciones solicitadas. Si uno de los dos califica el texto como “no publicable”, mientras el otro lo favorece, la dirección de la revista nombrará un tercer árbitro (manteniendo la modalidad “doble ciego”) para dirimir la controversia. Una vez recibida la tercera evaluación, se comunicará al autor el dictamen.

#### ***Causales de rechazo:***

- Que la temática del manuscrito, no corresponda al área de ingeniería.
- El plagio y el autoplagio, la adulteración, invento o falsificación de datos del contenido y del autor.
- Que el artículo haya sido publicado total o parcialmente, perdiendo el carácter de inédito.
- Que el contenido no tenga un nivel de originalidad igual o superior al 75%. Se entiende por originalidad de una obra aquello que resulta de la capacidad del autor de crear, hallar, analizar, imaginar.
- La existencia de conflictos de interés. Es deber de los autores notificar a la revista cualquier situación que pueda influir en los resultados o interpretación de su escrito.
- El incumplimiento de las directrices de la revista: código de conducta y guía para autores.
- La escritura en términos obscenos, abusivos, difamatorios, injuriosos o que de cualquier modo vayan en contravía de la dignidad humana o del buen nombre de una persona natural o jurídica.
- La detección tanto de datos recogidos sin los permisos necesarios de las personas naturales o jurídicas en estos implicadas, como de hallazgos falsos o convenidos.
- Toda información o acto que vaya en contravía de las leyes nacionales e internacionales de Derechos de Autor y de Protección a menores.

#### **Comunicación con los autores**

- Las decisiones editoriales se informarán a los autores de manera oportuna, en términos respetuosos y procurando el mutuo aprendizaje.
- Cada etapa del proceso editorial, la publicación y divulgación será notificada a los autores, quienes en uso de sus derechos podrán hacer y solicitar cambios al texto hasta antes de ser informados de la disposición pública del material diseñado.

- Causales de suspensión de la publicación del artículo
- La detección durante cualquier etapa del proceso de alguno de los términos de rechazo descritos en este apartado.
- Duda o disputa de autoría y coautoría.
- Solicitud de los autores de cualquier tipo de privilegios.

### **Transparencia**

- Los comités velarán por la calidad académica de la revista; por ende, sus opiniones son consultadas periódicamente y estarán al tanto de la disposición en línea de la revista final.
- El editor-director, los comités y los evaluadores tendrán libertad para emitir su opinión sobre la viabilidad de publicación del artículo.
- La revista no revelará a los evaluadores los nombres de los autores, y viceversa, mientras se cumpla el proceso de edición y revisión de los textos. El grupo evaluador será publicado en las páginas preliminares de cada número.
- En ningún caso, la dirección de la revista exigirá al autor la citación de la misma o de alguno de los miembros de su equipo de colaboradores.
- Los evaluadores declaran la inexistencia de conflictos de interés; es decir, que su concepto no está sesgado por ningún tipo de conveniencia: financiera, laboral, profesional, personal o cualquier otra de la que pueda desprenderse un juicio no objetivo sobre el texto.

### **Modelo sin cobro**

- La revista no paga a los autores por sus contribuciones ni genera cobros
- por las actividades del proceso editorial o por la publicación.
- No se generan retribuciones económicas a los evaluadores o miembros de los comités.
- Todos los costos de producción editorial, publicación y divulgación son asumidos por la Universidad Católica Luis Amigó.

# Ética de la publicación y buenas prácticas

**Responsabilidades del editor:** el editor de la revista Lámpsakos es el encargado de seleccionar los artículos que harán parte de los volúmenes semestrales de la Revista. Para ello, él mismo se rige por el código de conducta que acoge esta publicación. La selección de los artículos estará guiada por su nivel académico y pertinencia temática, y en este sentido la discriminación por género, orientación sexual, nacionalidad, origen étnico o inclinaciones religiosas o políticas de quienes postulen sus manuscritos nunca será considerada como un criterio de selección. Ahora bien, el editor tiene la posibilidad de discutir las decisiones con respecto a la selección de artículos que tomen otros órganos de la publicación, siempre bajo los criterios de calidad de los textos en el ámbito de la investigación de la ingeniería. En relación con los autores, el editor está comprometido a mantener la confidencialidad de las decisiones que se tomen sobre sus artículos, y en este sentido, solo se comunicará con los autores, y nunca con personas externas al proceso, sobre los arbitrajes. Finalmente, el editor evitará expresamente gestionar artículos que deriven en conflictos de intereses como resultado de alguna conexión posible con estos, con el objetivo de mantener la transparencia en el proceso de edición y publicación.

**Responsabilidades de los evaluadores:** como parte fundamental del proceso de publicación, los revisores deben mantener la confidencialidad de los manuscritos que se les envían y, en este sentido, evitar compartir con terceros el material a arbitrar. Es fundamental que mantengan objetividad y neutralidad a la hora de formular sus críticas a los manuscritos, sobre todo, estas deben estar fundamentadas en argumentos razonables. Los evaluadores están en libertad de apoyar al editor y al autor para elevar, con sus sugerencias, la calidad académica de los textos que han evaluado. También es su responsabilidad abstenerse de usar para su beneficio el material a arbitrar, y en esta misma línea, evitar hacer parte de procesos de evaluación de los cuales pueda derivarse algún conflicto de intereses. Finalmente, se espera que los evaluadores cumplan los tiempos asignados para su arbitraje y comuniquen al editor sobre su posibilidad de revisar de manera oportuna e idónea el texto que se les invita a evaluar.

**Responsabilidades de los autores:** deben regirse por las normas de publicación y el código de ética que acoge nuestra Revista. Según lo anterior, se exige que sus manuscritos sean originales, inéditos y que no se encuentren en proceso de evaluación en otra revista. Como partes de una comunidad de investigadores, sus textos deben regirse por procedimientos que permitan el desarrollo de su disciplina en el orden científico, es decir, sus textos deben aportar datos veraces y confiables, referencias y fuentes completas y el desarrollo de las temáticas de tal orden que otros investigadores puedan corroborar, discutir o apoyar lo que en ellos se expone. Dado lo anterior, afirmaciones falsas o erróneas no serán toleradas por nuestra publicación. Los manuscritos presentados deben dar reconocimiento de su autoría a las personas que participaron en su construcción y redacción, y en este sentido, tanto autores principales como coautores deben estar incluidos en el texto y haber consentido y revisado la información que se presentará a la Revista. Los autores deben respetar la integridad de las comunidades que participan de sus investigaciones y

garantizar la presentación de los formatos que dan cuenta de la participación voluntaria y digna de estas. Asimismo, los datos sobre las fuentes de financiación de su investigación deben ser transparentes. Finalmente, el autor tiene el compromiso de poner en conocimiento, inmediatamente, al editor de algún tipo de error o inexactitud que se haya publicado en su propia investigación.

Procedimiento para dirimir conflictos derivados de comportamientos no éticos: Se solicita, a quien realiza alguna reclamación, que identifique, antes de afirmar que se incurre en un comportamiento que contraviene la ética de nuestra publicación, la naturaleza de la falta y las pruebas que la demuestran, y proceda entonces a elevar su reclamación al editor de nuestra Revista.

## Reclamaciones

- Si una vez publicado el artículo: 1) el editor descubre plagio, adulteración, invento o falsificación de datos del contenido y del autor o errores de fondo que atenten contra la calidad o científicidad, podrá solicitar su retiro o corrección. 2) Un tercero detecta el error, es obligación del autor retractarse de inmediato y se procederá al retiro o corrección pública.
- Durante el proceso de edición, los autores deben reportar al editor cualquier error o inexactitud que identifiquen en el material enviado; si el artículo es publicado con dichas faltas, deben solicitar a la revista la corrección o retractación inmediata.
- Procedimiento para dirimir conflictos derivados de comportamiento no éticos
- Identificar, antes de asegurar que se incurre en comportamientos no éticos, la naturaleza de la falta y las pruebas que la corrobora.
- No emitir ningún juicio u observación asociada con situaciones particulares que estén en estudio hasta que se hayan reunido todas las pruebas y se tenga plena certeza de la existencia de la falta.
- Presentar ante el comité editorial las pruebas correspondientes al caso para que este considere, de acuerdo a la naturaleza de la falta, las acciones que se tomarán frente a la mala conducta.

Entre las acciones que se podrían aplicar, según la naturaleza de la falta, se tienen:

- Informar al autor acerca de la falta, corregirla y llamar la atención para que no se incurra en ella en publicaciones futuras.
- Retracción formal con publicación de una nota editorial en la que se informe el motivo y se llame la atención acerca de la importancia de las buenas prácticas éticas.
- Retiro del artículo con publicación de una nota editorial en la que se informe el motivo y se llame la atención acerca de la importancia de las buenas prácticas éticas.

- Solicitud escrita de retiro del artículo de una publicación paralela, siempre y cuando se evidencie que la versión disponible en Lámpsakos fue precedente.
- Los autores tendrán derecho a que se les publique, junto con la nota editorial, una declaración pública de máximo 80 palabras, en la que se expongan las razones de la falla que originó la acción.
- Informar a las entidades financiadoras, académicas o comerciales, acerca de la falta y las implicaciones de la misma, con el fin de que promueva las buenas prácticas éticas entre sus investigadores.
- Las opiniones contenidas en los artículos son atribuibles de modo exclusivo a los autores; por lo tanto, la Universidad Católica Luis Amigó no es responsable de lo que estas pudieran generar.

Toda reclamación se recibirá por escrito mediante correo electrónico ([lampsakos@amigo.edu.co](mailto:lampsakos@amigo.edu.co)). El plazo máximo de respuesta será de cinco días hábiles a partir de la recepción de la disconformidad.

### ***Derechos de autor y acceso a la publicación***

Derechos morales. Se reconoce a los autores la paternidad de la obra y se protege la integridad de la misma. Los autores pueden tener derechos adicionales sobre sus artículos, según lo establecido en su acuerdo con la revista. Además, ellos son moral y legalmente responsables del contenido de sus textos, así como del respeto a los derechos de autor de las obras consultadas y de las citadas en estos; por lo tanto, no comprometen en ningún sentido el pensamiento de los comités, del equipo editorial, los evaluadores, ni de la Universidad Católica Luis Amigó.

### ***Licencia***

La revista y los textos individuales que en esta se divulgan están protegidos por las leyes de copyright y por los términos y condiciones de la Licencia *Creative Commons* Atribución-No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional. © 2018 Universidad Católica Luis Amigó. Permisos que vayan más allá de lo cubierto por esta licencia pueden encontrarse en <https://www.funlam.edu.co/modules/fondoeditorial/item.php?itemid=264>

### ***Publicación y divulgación***

La revista completa y los textos individuales se publican en formatos PDF y HTML en el *Open Journal Systems* (en el siguiente enlace: <http://www.funlam.edu.co/revistas/index.php/lampsakos>). La revista y cada artículo cuentan con *Digital object identifier* (DOI), lo que facilita su localización en internet, esta herramienta garantiza la preservación de acceso al contenido de la revista en caso que deje de publicarse. La revista usa la publicación anticipada, con el propósito de responder a las necesidades de vigencia del contenido y a los requerimientos de los autores y del medio. Este recurso se utiliza una vez se tengan los conceptos satisfactorios de los pares evaluadores; la publicación provisional contiene la última versión enviada por los autores, sin que aún se hayan realizado la corrección de estilo, la traducción y la diagramación.

Lámpsakos utiliza, entre otros medios, las redes sociales y académicas para la divulgación de su contenido. Y actualmente, está reconocida por diferentes servicios de indexación (ESCI, Dialnet, EBSCO, REDIB, InfoBaseIndex, SapiensResearch, Publindex, Latindex, MIAR, J4F).

### ***Periodicidad de la publicación***

Lámpsakos es de carácter semestral. Publica dos números por año, correspondientes a los periodos enero-junio y julio-diciembre.

### ***Recepción de contribuciones***

Medio y términos de recepción. Los textos propuestos se remiten mediante el Open Journal System (OJS), software de administración y publicación de revistas que permite el seguimiento a los documentos en sus distintas etapas. Los envíos en línea requieren de usuario y contraseña, que pueden solicitarse en <http://www.funlam.edu.co/revistas/index.php/lampsakos/about/submissions#onlineSubmissions>. No se recibirán artículos impresos ni versiones parciales del texto, es decir, aquellas que estructuralmente no se ajustan a alguno de los tipos de artículo descritos en la guía para autores de la revista Lámpsakos.

La dirección de la Revista dará respuesta en un máximo de cinco (5) días acerca de la recepción del documento, pero esto no supone ni obliga su publicación.

Las consultas para la remisión pueden enviarse al correo electrónico de la revista ([lampsakos@amigo.edu.co](mailto:lampsakos@amigo.edu.co)).

***Compromiso de los autores y cesión de derechos.*** Una vez el Editor verifique el cumplimiento de los requisitos mínimos, solicitará a los autores que: i) declaren que el trabajo es original, inédito, no está siendo evaluado simultáneamente en otra revista; ii) se comprometan a no retirar el artículo luego de la evaluación de pares, si esta determina la viabilidad de la publicación, bien sea en el estado actual o con modificaciones; iii) declaren la inexistencia de conflictos de intereses y manifiesten la cesión de derechos patrimoniales a favor de la Universidad Católica Luis Amigó. iv) autoricen el tratamiento de sus datos personales.

Publicación de datos de autor. Una vez enviado el artículo, se entiende que el autor autoriza la publicación de los datos personales relacionados en la nota de autor.

Autorización para tratamiento de datos. La Universidad Católica Luis Amigó como responsable del tratamiento de los datos y dando cumplimiento a la Ley 1581 de 2012 y al Decreto 1377 de 2013, manifiesta que los datos personales de los integrantes de los comités, evaluadores y autores, se encuentran incluidos en las bases de datos institucionales y son de uso exclusivo de la Universidad. Según la política de privacidad, la cual puede consultar en nuestro sitio web [www.ucatolicaluissamigo.edu.co](http://www.ucatolicaluissamigo.edu.co), los datos no son compartidos o suministrados a terceros sin la autorización previa del titular. Además, la Institución cuenta con los medios tecnológicos idóneos para asegurar que sean almacenados de manera segura y confiable.

De acuerdo con lo anterior, es obligación durante el proceso de edición de la Revista Lámpsakos, autorizar a la Universidad Católica Luis Amigó para el tratamiento de los datos personales, para las finalidades propias de la Institución.

**Declaración de privacidad.** Todos los datos de autores, comités, evaluadores y de más colaboradores de Lámpsakos les introducidos en la plataforma OJS y/o en los artículos se usarán exclusivamente para la inclusión de la Revista en Sistemas de Indexación y Resumen y los fines declarados por la misma y no estarán disponibles para ningún otro propósito u otra persona.

**Cierre de edición.** La recepción de los artículos de investigación es permanente, pero se establecen como fechas de cierre para la selección de los artículos: el tercer viernes de marzo para el número correspondiente al periodo de julio-diciembre; y el tercer viernes de septiembre para el número que se publica en enero-junio. A partir de esos vencimientos, se iniciarán las actividades de corrección de estilo, diagramación, revisión de muestras y demás, propias del proceso de disposición pública del material. Dado el alto número de artículos que recibe la Revista, las actividades de revisión y evaluación se efectúan según el orden de llegada; el tiempo fijado entre la recepción de los artículos de investigación y su publicación es de seis (6) meses.

**Aval del Comité de ética.** Con el fin de evidenciar que se cuenta con los permisos necesarios de las personas naturales y jurídicas implicadas en la investigación de la que es producto el documento, cada artículo que a dichos actores se refiera debe enviar a la revista una copia del aval del Comité de ética del consentimiento y asentimiento informado de la investigación.

# GUÍA PARA AUTORES

La revista Lámpsakos es una publicación adscrita a la Facultad de Ingenierías de la Universidad Católica Luis Amigó, Medellín Colombia. Tiene por objetivo divulgar artículos originales e inéditos como resultados de investigación científica y tecnológica de las áreas de ingenierías. Su periodicidad es semestral (se publica en junio y diciembre) con alcance nacional e internacional, tiene circulación online de libre acceso, publicada bajo estándares de rigor científico y de calidad editorial. Para tal efecto, considera artículos que respondan a los lineamientos de la presente guía; por tal razón, la continuidad de los textos postulados está supeditada tanto a la comprensión y aceptación de los autores de las políticas de la revista, como al cumplimiento de los criterios que se describen a continuación.

## Formación académica y filiación de los autores

Se reciben artículos de autores con nivel académico de especialización, maestría, doctorado y posdoctorado, y de estudiantes de posgrado que escriban en coautoría con docentes o investigadores titulados en alguno de los niveles mencionados.

Para velar por la exogamia institucional, prevalecerá la publicación de textos de autores externos a la Universidad Católica Luis Amigó, sin que esto prime sobre la calidad del contenido.

## Idioma y tipología de los artículos

Los artículos pueden ser originales e inéditos, escritos en español o inglés siempre y cuando su estructura responda a uno de los tipos descritos por el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación – Colciencias en el Documento guía para la indexación, emitido en febrero de 2010 (p. 7), que se citan en esta sección:

1. **Artículo de investigación científica y tecnológica.** Documento que presenta, de manera detallada, los resultados originales de proyectos terminados de investigación. La estructura contiene seis partes importantes que dan cuenta del desarrollo formal de la investigación: introducción, metodología, resultados, discusión, conclusiones y referencias.
2. **Artículo de reflexión derivada de investigación.** Documento que presenta resultados de investigación terminada desde una perspectiva analítica, interpretativa o crítica del autor, sobre un tema específico, recurriendo a fuentes originales.
3. **Artículo de revisión.** Documento resultado de una investigación terminada donde se analizan, sistematizan e integran los resultados de investigaciones publicadas o no publicadas, sobre un campo en ciencia o tecnología, con el fin de dar cuenta de los avances y las tendencias de desarrollo. Se caracteriza por presentar una cuidadosa revisión bibliográfica de por lo menos 50 referencias.

Aunque la revista privilegia los tres tipos de artículos antes descritos, considera excepcionalmente:

4. **Reporte de caso.** Documento que presenta los resultados de un estudio sobre una situación particular con el fin de dar a conocer las experiencias técnicas y metodológicas consideradas en un caso específico. Incluye una revisión sistemática comentada de la literatura sobre casos análogos. Se acepta para el proceso editorial, sí y solo sí, el estudio da cuenta de cada elemento citado: las experiencias, la revisión sistemática y la comparación con otros trabajos similares de la literatura.
5. **Cartas al editor.** Posiciones críticas, analíticas o interpretativas sobre los documentos publicados en la revista, que a juicio del Comité editorial constituyen un aporte importante a la discusión del tema por parte de la comunidad científica de referencia (Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación – Colciencias en el Documento guía para la indexación, emitido en febrero de 2010 (pp. 7-8).

Cada número estará encabezado por:

6. **Presentación.** Documento redactado por el editor; da cuenta de los propósitos de la revista y de los artículos que componen el número en particular.
7. **Editorial.** Texto que recoge orientaciones y reflexiones sobre el dominio temático de la revista escrita por un miembro de los comités o un investigador invitado.

Excepcionalmente se publicarán reseñas de libros, que deberán ser escritas por un autor-investigador reconocido y obedecer a textos que se consideren de importancia para las disciplinas que cubre la revista. Por decisión del Comité editorial, las reseñas podrán ocupar el lugar del editorial.

### *Características de forma de los documentos*

Los manuscritos que deseen participar en las convocatorias, deben cumplir:

- Formato en Word, en tamaño carta.
- Márgenes de 2 cm en cada lado
- Letra Arial tamaño 10 espacio sencillo en doble columna.
- Todas las figuras y tablas se ubican dentro del texto luego de haber sido mencionadas en el texto (no antes). Las tablas no tienen líneas separando las celdas.
- La extensión mínima es de 7.000 palabras y la máxima de 10.000, incluyendo tablas, figuras y notas, exceptuando referencias.

- Numeración bibliográfica según formato IEEE. Todas las citas en el manuscrito deben estar anotadas en las referencias bibliográficas. Tampoco deben existir referencias bibliográficas aisladas que no estén citadas dentro del cuerpo del manuscrito. Cada artículo deberá incluir al menos 15 referencias bibliográficas de calidad científica, con sus respectivos enlaces URL o DOI.
- El título del artículo se escribe en mayúsculas sostenidas, negrilla, cursiva y centrado (Arial 14). Los subtítulos se escriben en negrillas y alineados a la izquierda, con la primera palabra en mayúscula inicial –las demás en minúscula, exceptuando los nombres propios– (Arial 10). Los entretítulos tendrán negrilla, cursiva y mayúscula solo en la letra inicial (Arial 10).

### *Indicaciones para la redacción*

Además de cumplir los lineamientos generales de ortografía y gramática propios del idioma en el que se presenta el artículo, la **redacción** debe ser clara y precisa, sin utilizar eufemismos ni discriminaciones en el lenguaje, como lo estipula el Manual de publicaciones de la *American Psychological Association* (APA, 2010, pp. 61-84). En ese sentido, las diferencias en cuanto al género, orientación sexual, grupo étnico o racial, discapacidades o edad deben mencionarse solo cuando sean relevantes para la comunicación.

Se debe evitar el uso de **citas secundarias** o “citas de citas”; en su lugar es recomendable citar a los autores originales.

Se recomienda el uso de la **cita literal** para presentar ideas que requieran precisión o discusión de términos.

El uso del **ampersand** (&) es exclusivo para citas y referencias en inglés.

El **título** debe tener una extensión máxima de 10 palabras; si incluye subtítulo, la extensión máxima total es de 15 palabras. En este se identifican las variables y asuntos teóricos que se investigan.

La **nota de autor** debe aparecer como pie de página para cada uno de los autores y debe contener lo siguiente: declarar su máximo nivel de formación académica y el programa del que egresó, su filiación institucional, correo electrónico, número de registro en ORCID y su perfil en Google Académico. Para la creación de este último se recomienda el siguiente tutorial: <https://www.youtube.com/watch?v=Xc3lUyjjYX8>. Se entiende que quienes firman como autores han contribuido de manera sustancial a la investigación.

Los autores deben incluir el nombre y apellidos bibliográficos, es decir, como comúnmente firman las publicaciones científicas. La normalización de este dato permite la trazabilidad de la producción del autor.

El **resumen**, debe ser analítico, estructurado de la siguiente manera: introducción, método, resultados y conclusión, y con un máximo de 150 palabras. En el caso de los artículos de reflexión derivada de investigación, el resumen debe ser del mismo modo, expresar clara y sucintamente el objetivo del artículo, los principales supuestos de los que parte, los argumentos que utiliza como soporte y la tesis que lo estructura. Jamás deben aparecer citas ni referencias en un resumen.

Las **palabras clave**, sin excepción, deben ser mínimo diez (10), separadas por ; escritas con mayúscula inicial y deben ser extraídas de un tesoro reconocido científicamente, tal es el caso del Tesoro de la Unesco, disponible en: [http://vocabularies.unesco.org/browser/thesaurus/es/..](http://vocabularies.unesco.org/browser/thesaurus/es/)

Los autores deben traducir al inglés el título, el resumen y las palabras clave. No se recomienda hacerlo a través de softwares o páginas web.

Las **notas al pie de página** únicamente se utilizan para aclaraciones o digresiones, jamás para referencias ni para información importante. Cuando sean necesarias las notas al pie, deben ir en letra Arial tamaño 8 puntos.

**Estructura del artículo:** en la **Introducción** se plantea el problema de investigación, los antecedentes y el marco teórico, las hipótesis y los objetivos específicos. En **metodología**, se describe la forma, el procedimiento y la técnica en qué se desarrolló la investigación. En **desarrollo** se da cuenta de los hallazgos de la investigación; si es necesario, se hace uso de tablas y figuras. En **conclusiones**, se escucha la voz propia de los autores, con las implicaciones que tiene la investigación realizada y la contribución evidenciando el aporte al área de ingeniería. En **trabajos futuros**, los autores describen las acciones futuras que tomará su investigación. En el **financiamiento** el autor(es) relaciona las instituciones que financiaron la investigación de la que se deriva el artículo. Con el **conflicto de intereses** el autor(es) declara la inexistencia de conflicto de interés con institución o asociación comercial de cualquier índole. En la sección de **agradecimientos**, se debe reconocer cualquier ayuda técnica, funciones de apoyo como recolección o ingreso de datos, reclutar participantes, dar sugerencias para el análisis estadístico o lectura, análisis del artículo y apoyo financiero indicando el nombre del proyecto de investigación del que se deriva el artículo, las entidades financiadoras, el código del proyecto, fase de desarrollo y fechas de inicio y finalización. También se incluye en esta sección el reconocimiento a tipo contrato o beca. Por último, en las **referencias** deben ir listadas todas las obras a que se hizo mención en el artículo. Es importante cotejar todas las partes de cada referencia con la publicación original, de manera que no se omita información para su fácil ubicación, incluyendo los DOI o las URL si están disponibles.

### *Estructuras de las citas y referencias*

Las referencias se realizan en formato IEEE <http://www.ieee.org>. Solo se listan en las referencias las obras efectivamente citadas, bien haya sido de forma directa o indirecta. Es importante verificar que siempre se respete la manera como se firman los autores, esto es, que sí lo hacen con dos apellidos, así aparezcan tanto en el momento de la cita como en el listado de referencias. Igualmente es necesario conservar el orden de aparición de los autores en las fuentes consultadas, pues obedece al grado de contribución en la investigación. El orden de organización de las citas en la sección de referencias del artículo, se hace por orden alfabético del apellido del autor (No por orden de citación dentro del artículo).

**Cita textual** (o literal) corta: es cuando se reproduce con exactitud una idea de un autor compuesto por hasta 39 palabras. No se debe alterar ningún término del texto y en caso de precisar o introducir algo, se debe poner entre corchetes. La cita corta va entre comillas y luego de ellas se abren paréntesis para incluir el o los apellidos de los autores, el año y el número de la(s) página(s) de donde se tomó la idea textual. Este tipo de citas nunca van en cursiva y todo énfasis debe indicarse a quién pertenece (si se encuentra en el original o es un énfasis que se quiere hacer). Ejemplo: "Es infinitamente más cómodo, para cada uno de nosotros, pensar que el mal es exterior a nosotros [cursivas añadidas], que no tenemos nada en común con los monstruos que lo han cometido" [1].

### La referencia correspondiente sería así:

- [1] R. Yousefian y S. Kamalasadán, "A Lyapunov function based optimal hybrid power system controller for improved transient stability", *Electric Power System Research*, vol. 137, pp. 6-15, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2016.03.042>

**Citas literales** o textuales de más de 40 palabras: las citas literales que tienen más de cuarenta palabras se escriben en párrafo aparte y sin comillas ni cursiva. Para efectos de su clara identificación para la diagramación, en la revista Lámpsakos se escriben en un tamaño de 10 puntos, con sangría a 1.0 cm. y sin comillas. Concluida la cita, se escribe punto antes de la referencia del paréntesis y posterior a este. Ejemplo:

La detección de las personas se realiza al inicio de la aplicación de guía, cuando el robot está en la recepción y en espera de un usuario. El algoritmo de detección comprueba si existe algún rostro en el área de visión, si detecta uno, el robot comenzará la interacción invitando al posible usuario a utilizar sus servicios. El usuario que desee utilizar el servicio deberá colocarse frente al robot y utilizar las opciones de una pantalla táctil, esto permitirá que el algoritmo de visión detecte y almacene el color predominante del usuario que será la persona más cercana al robot. El algoritmo de detección de rostros presenta un funcionamiento a una frecuencia promedio de 10Hz. [3].

### La referencia correspondiente sería así:

- [3] K. L. Luna, E. R. Palacios and A. Marín, "A Fuzzy Speed Controller for a Guide Robot Using an HRI Approach", *IEEE Latin America Transactions*, vol. 16, no. 8, 2018. DOI: 10.1109/TLA.2018.8528222

**Paráfrasis o cita no literal:** este tipo de cita toma las ideas de una fuente original y las reproduce, pero no con los términos originales, sino con las propias palabras del autor. Se utiliza para exponer ideas generales. Ejemplo: El trabajo de [4] intenta potenciar una mirada objetiva del avance de la tecnología VoIP, con comparaciones actualizadas de diferentes servicios ofertados a la fecha.

### La referencia correspondiente sería así:

- [4] M. D. Núñez Cuadrado, C. A. Jativa Huilcapi y R. A. Lara Cueva, "Evaluación del desempeño de la tecnología VoIP en un set de servicio extendido, en concordancia con IEEE 802.11g," *Sistemas y Telemática*, vol. 5, no. 42, pp. 85-100, no. 46, pp. 28-35, 2017.

**Libros:** para citar este tipo de referencia, se usa Iniciales y Apellido del autor, Título del libro en cursiva. Edición. Lugar de publicación: Editorial, Año de publicación.

### Ejemplos:

- [1] R. G. Gallager. *Principles of Digital Communication*. New York: Cambridge University Press, 2008.

**Artículo de revista:** usar para referenciar, Iniciales y Apellido del autor, “Título del artículo entre comillas”, Título de la revista en cursiva, volumen (abreviado vol.), número abreviado (no.) páginas (abreviado pp.), Año.

### Ejemplos

[1] G. Liu, K. Y. Lee, and H. F. Jordan, “TDM and TWDM de Brujin networks and suffflenets for optical communications,” *IEEE Transactions on Computers*, vol. 46, pp. 695-701, June 1997.

Para referenciar **artículos que aún no han sido aceptados** para publicación, se empleará la frase “admitido para publicación” en lugar de la fecha. Si han sido aceptados, pero aún no aparecen publicados, usar “a ser publicado” en lugar de la fecha.

**Artículos publicados en conferencias.** Usar el siguiente formato: Iniciales y Apellidos del autor, “Título del artículo de conferencia”, el Nombre completo de la conferencia en cursiva, Abreviación del nombre de la conferencia (si existe), Ciudad y País de la conferencia, año, páginas donde se relaciona el artículo (abreviado pp.)

### Ejemplos

[1] N. Osifchin and G. Vau, “Power considerations for the modernization of telecommunications in Central and Eastern European and former Soviet Union” CEE/FSU), in *Second International Telecommunications Energy Special Conference*, 1997, pp. 9-16.

[2] G. Caire, D. Burshtein, and S. Shamai (Shitz), “LDPC coding for interference mitigation at the transmitter,” in *Proceedings of the 40th Annual Allerton Conference in Communications, Control, and Computing*, Monticello, Italia, october 2002, pp. 217-226.

NOTA: La palabra “in” antes del título de la conferencia no se pone en cursiva.

**Artículo presentado en conferencia, sin publicar:** Usar el siguiente formato: iniciales y apellidos del autor, “Título del artículo de conferencia”, incluir la palabra presentado en (en inglés presented at) el Nombre completo de la conferencia en cursiva, Abreviación del nombre de la conferencia (si existe), Ciudad y País de la conferencia, año.

### Ejemplo:

[3] H. A. Nimr, “Defuzzification of the outputs of fuzzy controllers”, presented at 5th *International Conference on Fuzzy Systems*, Cairo, Egypt, 1996.

**Informes técnicos** (informes, documentos internos, memoranda): Para referenciar de esta manera se usa, iniciales y apellido del autor, “título del informe”, nombre de la empresa, sede de la empresa, tipo de informe abreviado, número de informe, fecha de publicación.

**Ejemplo:**

[4] K. E. Elliot and C. M. Greene, "A local adaptive protocol", Argonne National Laboratory, Argonne, France, Tech. Rep. 916-1010-BB, 1997.

**Tesis de máster o tesis doctoral:** para referenciar este tipo de trabajo, se acude a la siguiente información, Iniciales y Apellido del Autor, "Título de la tesis o proyecto", clase de documento (tesis doctoral, trabajo fin de máster, etc.), Departamento, Institución Académica, Ciudad, País, año.

**Ejemplo:**

[5] H. Zhang, "Delay-insensitive networks", master thesis, University of Waterloo, Waterloo, ON, Canadá, 1997.

[6] J.-C. Wu. "Rate-distortion analysis and digital transmission of nonstationary images", doctoral dissertation, Rutgers, the State University of New Jersey, Piscataway, USA, 1998.

De internet: para referenciar trabajos que son tomados del internet, usar Iniciales y Apellido del Autor (año, mes y día). Título (edición).

**Ejemplo:**

[7] J. Jones. (1991, May 10). Networks (2nd ed.) <http://www.atm.com>

**NOTA:** los recursos en internet pueden presentar una tipología muy variada (revistas, monografías, sitios web de entidades, bases de datos, etc.) En general, se citan como el documento impreso del tipo al que pertenecen añadiendo la indicación del DOI (Digital Object Identifier) o URL.

**Catálogos:** para citar los catálogos, se debe usar Catálogo No. (o Catalog No. si es en inglés), Código del catálogo, Nombre del producto, Empresa, Ciudad, Estado

**Ejemplo:**

[8] Catalog no. NWM-1, Microwave Components, M. W. Microwave Corp., Brooklyn, New York.

**Estándares o patentes:** para citar este tipo de trabajo se usa, Iniciales y Apellido del autor, "Título de la patente", Número, Mes, Día, Año.

**Ejemplo:**

[9] K. Kimura and A. Lipeles, "Fuzzy Controller Component,"; U. S. Patent 14,860,040, December 14, 1996.

**Envío Del Artículo**

- Los artículos deberán enviarse a través del Open Journal de la revista: <http://www.funlam.edu.co/revistas/index.php/lampsakos/user/register>, hacer el registro de los metadatos allí requeridos.
- Los campos solicitados nunca deben diligenciarse con mayúscula sostenida.
- Con mayúscula inicial se escriben los nombres propios y también los comunes.
- Cerciorarse de ingresar las referencias correctamente en concordancia con las normas IEEE.
- Es preciso verificar que se cumplen los criterios de la guía para autores.
- Lea las políticas desarrolladas en el código de conducta; con estas deberá estar de acuerdo para participar efectivamente del proceso de edición y publicación –que incluye tanto el suministro de documentación, la autorización de tratamiento de sus datos personales, como ajustes a la propuesta de publicación–.
- Si el artículo ha sido postulado previamente a otra revista, proporcione esta información en Comentarios al editor.
- Si se presenta cualquier dificultad con el envío, puede reportarla al siguiente correo electrónico: [lampsakos@amigo.edu.co](mailto:lampsakos@amigo.edu.co)

**Revisión de pruebas**

Si un artículo es aceptado para su publicación, luego de la evaluación por pares, se procede a la normalización y corrección de estilo. A los autores se les remite el documento corregido para que realicen la revisión correspondiente y envíen su aprobación u observaciones, de manera que prosiga con la diagramación. Una vez el artículo se diagrama, se le remite el pdf a los autores con el objetivo que examinen si existe algún error tipográfico. En ningún caso se podrán hacer modificaciones de contenido ni adicionar material.

**La contribución debe enviarse únicamente mediante el OJS:**  
<http://www.funlam.edu.co/revistas/index.php/lampsakos/>  
[lampsakos@amigo.edu.co](mailto:lampsakos@amigo.edu.co)

Universidad Católica Luis Amigó

Facultad de Ingenierías y Arquitectura

Transversal 51A N° 67B - 90. Medellín, Antioquia - Colombia

Tel: (574) 448 76 66

[www.ucatolicaluisamigo.edu.co](http://www.ucatolicaluisamigo.edu.co)