



Enero – Abril 2020, Vol. 27, N° 1, ISSN 1316–6832  
Online ISSN: 2610-8240



# Revista INGENIERÍA UC

Órgano de Divulgación  
Científica y Tecnológica de la Facultad de Ingeniería  
de la Universidad de Carabobo

Disponible en:  
**Revista Ingeniería UC**

<http://servicio.bc.uc.edu.ve/ingenieria/revista>  
[www.redalyc.org/revista.oa?id=707](http://www.redalyc.org/revista.oa?id=707)

**VALENCIA – VENEZUELA**

ISSN 1316–6832  
Depósito legal pp 92.0200  
Online ISSN: 2610-8240

**Revista  
Ingeniería UC**

Revista indizada en:  
REVENCYT (Venezuela); Actualidad Iberoamericana (CIT–Chile);  
IET/INSPEC (United Kingdom UK); DRJI (The Directory of Research Journal Indexing);  
LATINDEX–Catálogo (México); REDALYC (México); Periódica (México)  
Emerging Sources Citation Index, Thomson Reuters.  
MIAR–Matriz de información para el análisis de revista

**Órgano de Divulgación Científica y Tecnológica  
Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo  
Valencia–Venezuela**

---

#### **Editor - Jefe**

Prof. Ángel D. Almarza M., Dr. Dirección de Investigación y Producción Intelectual, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Venezuela. ✉

---

#### **Editores Honorarios**

Prof. Edilberto Guevara, PhD. Vocal of the National Tribunal of Water. National Water Authority, Perú. Instituto Hidrología Aplicada y Medio Ambiente (IHAMA), Lima, Perú. Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Venezuela. Período (1992-2003). ✉

Prof. Francisco Arteaga, PhD. Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Venezuela. Período (2003-2009). ✉

Profª. Lisbeth Manganiello, PhD. Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Venezuela. Período (2009-2018). ✉

---

#### **Editores**

Prof. Cristóbal Vega, PhD Instituto de Matemática y Cálculo Aplicado - IMYCA, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Venezuela ✉

Prof. Jesús J. Jiménez Grimán, MSc. Instituto de Matemática y Cálculo Aplicado - IMYCA, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Venezuela. ✉

---

#### **Editores Asociados**

Profª. Evelyn Yamal. Dra. Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Venezuela. ✉

Profª. Lissette Jiménez. Dra. Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Venezuela. ✉

Profª. Beatriz Herrera. Dra. Universidad Católica de Leuven, Bélgica. ✉

---

#### **Corrector de redacción y estilo**

Profª. Vanessa Hurtado. MSc. Escuela de Ingeniería Mecánica. Facultad de Ingeniería. Universidad de Carabobo. Venezuela. ✉

---

#### **Junta Editorial**

Dr. Adelmo Ortiz Conde  
Universidad Simón Bolívar, Venezuela. ✉

Dra. Maura Vázquez de Ramírez  
Universidad Central de Venezuela, Venezuela. ✉

Dr. Guillermo Ramírez  
Universidad Central de Venezuela, Venezuela. ✉

Dr. Antonino Caralli  
Universidad de Carabobo, Venezuela. ✉

Dr. Pablo Baricelli  
Universidad de Carabobo, Venezuela. ✉

Dr. Johnny Bullon  
Universidad de los Andes, Venezuela. ✉

Dr. Sergio Mora  
Universidad de Santiago de Chile, Chile. ✉

Dr. Herbert J. Sira R.  
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, México. ✉

Dr. Enrique Barbieri  
University of Houston, Estados Unidos. ✉

Dr. Ángel Ríos Castro  
Universidad de Castilla La Mancha, España. ✉

Dr. Merlín Rosales  
Universidad del Zulia, Venezuela. ✉

Dr. José A. Díaz  
Universidad de Carabobo, Venezuela. ✉

Dr. Carlos Martínez  
Universidad de Carabobo, Venezuela. ✉

Dr. Roberto Callarotti  
Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, Venezuela. ✉

Dr. Teodoro García  
Universidad de Carabobo, Venezuela. ✉

ISSN 1316–6832  
Depósito legal pp 92.0200  
Online ISSN: 2610-8240

**Revista  
Ingeniería UC**

Revista indizada en:  
REVENCYT (Venezuela); Actualidad Iberoamericana (CIT–Chile);  
IET/INSPEC (United Kingdom UK); DRJI (The Directory of Research Journal Indexing)  
LATIDEX–Catálogo (México); REDALYC (México); Periódica (México)  
Emerging Sources Citation Index, Thomson Reuters.  
MIAR–Matriz de información para el análisis de revista

**Órgano de Divulgación Científica y Tecnológica  
Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo  
Valencia–Venezuela**

### Comité Técnico\*

Dr. Luis G. Zárate López, Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, México	Dra. Susana Salinas de Romero, Universidad del Zulia, Venezuela
Dr. Enrique Cázares Rivera, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, México	Lic. Hernando Herrera Mata, M.Sc., Universidad de Oriente, Venezuela
Dra. Laura Sáenz, Universidad de las Fuerzas Armadas, Sede Latacunga, Ecuador	Ing. Carlos Lameda, M.Sc., Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre, Venezuela
Ing. Johel Rodríguez, M.Sc., Universitat Politècnica de València, España	Ing. Alfonso Alfonsi, Universidad de Oriente, Venezuela
Ing. Pedro Vargas Ferrer, M.Sc., Universidad de Talca, Chile	Dr. William C. Henriquez Guzmán, Universidad de Oriente, Venezuela
Dr. Eliecer Colina, Universidad de Los Andes, Venezuela	Dr. Sergio Pérez Pacheco, Universidad Estatal de Bolívar, Ecuador
Dr. Francisco García Sánchez, Universidad Simón Bolívar, Venezuela	Dr. César O. Seijas Fossi, Universidad de Carabobo, Venezuela
Dr. Fernando Mora, Universidad Simón Bolívar, Venezuela	Dr. Demetrio Rey Lago, Universidad de Carabobo, Venezuela
Dr. Carlos Hurtado, Universidad de Oriente, Venezuela	Dr. Alfonso Zozaya, Universidad de Carabobo, Venezuela
Dr. Giovanni De Mercato, Universidad Simón Bolívar, Venezuela	Dra. Damelys Zabala, Universidad de Carabobo, Venezuela
Dr. Gian Franco Passariello, Universidad Simón Bolívar, Venezuela	Dra. Lilly Marcano, Universidad de Carabobo, Venezuela
Dr. William Castro, Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, Venezuela	Dr. Antonio Bonsjak, Universidad de Carabobo, Venezuela
Dr. Oscar Crescente, Universidad de Oriente, Venezuela	Dr. Guillermo Montilla, Universidad de Carabobo, Venezuela
Dr. Luis Mata Guevara, Universidad de Oriente, Venezuela	Dr. Luis Vallés, Universidad de Carabobo, Venezuela
Dra. Maj Britt Mostue, Universidad de Oriente, Venezuela	Dr. José A. Díaz, Universidad de Carabobo, Venezuela

\*Lista parcial

### Frecuencia de publicación

Revista INGENIERÍA UC se publica un volumen anual en tres números: abril, agosto y diciembre

### Información de Contacto

<http://servicio.bc.uc.edu.ve/ingenieria/revista/>  
<https://www.redalyc.org/revista.oa?id=707>  
Correo–e: revistaing@uc.edu.ve  
Correo–e: revistaing@gmail.com  
Correo–e: adalmarza@uc.edu.ve (A. Almarza)  
Correo–e: jjjimenezgriman@gmail.com (J. Jiménez)

### Redes sociales

 Twitter: @RevistaIngUC

 Instagram: revistainguc

Diseño y Diagramación: **Revista Ingeniería UC**, Dirección de Investigación – IMYCA (C. Vega) – CATS (J. Jiménez) en L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X,  
Facultad de Ingeniería, Valencia, Venezuela  
Web master: Ing. Francisco Ponte, Biblioteca Central,  
Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela

ISSN 1316-6832  
Online ISSN: 2610-8240



# Revista Ingeniería UC

ÓRGANO DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

FACULTAD DE INGENIERÍA

UNIVERSIDAD DE CARABOBO

Valencia – Venezuela

## Contenido General, (*General content*)

<b>Volumen 27 Número 1</b>	<b>1</b>
<b>Editorial volumen 27 número 1</b>	<b>2</b>
<i>José Luis Nazar<sup>†</sup>, Ángel Almarza-Morales, Lisbeth Manganiello</i>	
<b>1 Posthumous tribute to the Professor José Luis Nazar Álvarez</b>	
Homenaje póstumo al Prof. José Luis Nazar Álvarez	
<i>Ángel Almarza-Morales</i>	<b>4</b>
<b>2 An efficient hybrid recommender system framework using semantic technology for social networks</b>	
<i>Framework de un sistema de recomendación híbrido eficiente utilizando tecnología semántica para redes sociales</i>	
<i>Ali Pazahr, J. Javier Samper Zapater, Francisco García Sánchez</i>	<b>6</b>
<b>3 Organo-clay material as coalescer oil filter in the treatment of oil production waters</b>	
Material organo-arcilloso como filtro coalescedor de crudo en el tratamiento de aguas de producción petrolera	
<i>Johnny Bullón, Jesús David Prato, Victoria Mousalli, Franklin Salazar, Leonardo Rennola</i>	<b>20</b>
<b>4 Determination of factors that affect the design of cryptographic algorithms by a cybernetic meta-model, validated with Q-analysis</b>	
Determinación de los factores que afectan el diseño de algoritmos criptográficos por medio de un meta-modelo cibernético, validado con análisis-Q	
<i>Ali Norouzzadeh-GilMolk, Reza Ramazani-Khorshiddoust, Mohammad Aref</i>	<b>29</b>
<b>5 Vibration assessment of transmission bearings of a mini Baja SAE prototype</b>	
Evaluación mediante vibraciones de los rodamientos de la transmisión de un prototipo mini Baja SAE	
<i>Enrique Flores, Andrés Albornoz, Erwin López, Jorge Romero</i>	<b>41</b>

<b>6</b>	<b>Use of synthetic series of average monthly flows for planning the operation of the Peruvian interconnected electrical system</b>	
	Uso de series sintéticas de caudales medios mensuales en la planificación de la operación del sistema eléctrico interconectado nacional del Perú	
	<i>Douglas Sarango-Julca, Abel Mejía-Marcacuzco, Edilberto Guevara-Pérez</i>	<b>54</b>
<b>7</b>	<b>Improvement of Shared Awareness in Sensor Grid in Three Levels of CommonKADS Framework</b>	
	Mejora del conocimiento compartido en malla de sensores en tres niveles del framework CommonKADS	
	<i>Sedighe Bakhtiari, Mehdi N. Fesharaki, Ahmad Khadem-zadeh</i>	<b>69</b>
<b>8</b>	<b>LaTeX in academic activities in the Mathematic Department of the Engineering Faculty</b>	
	LaTeX en actividades académicas del Departamento de Matemática de la Facultad de Ingeniería	
	<i>Yanitza Román, Joan Ordoñez, Jesús J. Jiménez G.</i>	<b>78</b>
<b>9</b>	<b>Creating a structure to calculate the organizational and technological process control effectiveness during redeployment</b>	
	Creación de una estructura de cálculo para el proceso de control de efectividad tecnológica y organizacional durante reubicaciones	
	<i>Azariy Abramovich Lapidus</i>	<b>84</b>
<b>10</b>	<b>Planning and design of urban bikelanes. Metropolitan Area of Valencia (AMV), Venezuela</b>	
	Planificación y Diseño de ciclovías urbanas. Experiencia Área Metropolitana de Valencia (AMV), Venezuela	
	<i>Isandra Villegas, Betty Farías</i>	<b>91</b>
<b>11</b>	<b>Evaluation of the influence of annealing time on the mechanical, electrical and microstructural properties of aluminum alloy AA-8176</b>	
	Evaluación de la influencia del tiempo de recocido sobre las propiedades mecánicas, eléctricas y microestructurales de la aleación de aluminio AA-8176	
	<i>Leonel Salazar, Kelvyn Matute, Luís Sidorovas</i>	<b>102</b>
	<b>Índice de materias</b>	<b>115</b>

<b>Subjects index</b>	<b>116</b>
<b>Índice de autores (<i>Author index</i>)</b>	<b>117</b>
<b>Apéndices</b>	<b>1</b>
<b>A. Línea editorial</b>	<b>2</b>
<b>B. Editorial line</b>	<b>3</b>
<b>C. Políticas de ética y publicación</b>	<b>4</b>
<b>D. Ethics and Publication Policies</b>	<b>8</b>
<b>E. Normas para la presentación de artículos</b>	<b>11</b>
<b>F. Authors Information</b>	<b>14</b>
<b>G. Carta de compromiso</b>	<b>16</b>
<b>H. Compromise letter</b>	<b>17</b>
<b>I. Índices de Revista Ingeniería UC</b>	<b>18</b>



# **Volumen 27 Número 1**

## Editorial

Presentamos el volumen 27, N° 1 de Revista Ingeniería UC en medio de una situación particularmente diferente frente a la realidad que ha representado la pandemia por la covid-19, enfermedad generada por el virus SARS-CoV-2. En este sentido, queremos resaltar y agradecer tanto los esfuerzos del equipo editorial y revisores, como el de todos los autores que han trabajado junto a nosotros, ajustándose a las diversas medidas adoptadas en todas las latitudes para contener y superar los brotes del virus, y que vale mencionar, han implicado cambios contundentes en nuestros modos de trabajar y relacionarnos, alcanzando, más allá de ello, la presentación de los artículos que hoy día conforman este número, que dedicamos con todo el afecto y respeto al Prof. *José Luis Nazar Álvarez*, quien nos acompañó como Decano de la Facultad de Ingeniería desde el año 2009 hasta el día de su sensible fallecimiento el 13 de abril de 2020, y a quien ofrecemos un sentido homenaje.

Sabemos que en esta vida nos encontramos de paso, pero debemos honrar a aquellos que han hecho el bien, han construido y dejado un legado. Tal es el caso del *Profesor Nazar*, quien apenas recibió el decanato de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo, se puso manos a la obra para hacer de la Revista Ingeniería UC lo que hoy en día es, nuestro principal medio de divulgación científica, no solo de la Facultad, de la Universidad de Carabobo, sino también de nuestro país, en lo que refiere a su línea Editorial, llenando de orgullo a cada investigador y convirtiéndose en patrimonio de todos los profesores de nuestra Ilustre Facultad.

El *Profesor Nazar* será recordado por siempre como el “Decano de la Apertura”, nuestra principal tarea no era solamente la puntualidad en la entrega de cada ejemplar, sino apoyar a todos los profesores noveles y a nuestros estudiantes con trabajos especiales de grado de calidad excepcional, enseñarlos a escribir un artículo científico se convirtió en prioridad. Aunado a esta labor, optamos por portadas más sencillas muy propias de los Journal Internacionales, adoptamos el editor profesional L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X y no podía faltar una cuidadosa revisión de la citas bibliográficas de cada manuscrito, todo este trabajo pronto dio sus frutos, la indexación en WoS entre otros índices de alta visibilidad mundial y la demanda de investigadores internacionales para publicar en la Revista Ingeniería UC. Finalmente, ideamos un sistema de autogestión que permite a la revista mantener los procesos de edición y montaje.

Iniciamos el número con el trabajo presentado por Pazahar, Samper-Zapater y García-Sánchez, donde se propone un framework de un sistema de recomendación basado en los intereses de los usuarios y centrado en lógica semántica, el cual obtuvo una precisión de 0,7498 mediante la implementación en una aplicación web.

Seguidamente, Bullón y colaboradores, muestran los hallazgos relativos a la construcción de un filtro coalescedor de crudo para agua de producción petrolera, empleando material órgano-arcilloso originario de los Andes venezolanos, demostrando que el mismo es adecuado para la coalescencia de gotas de petróleo.

Por su parte, Nourouzzadeh-GilMolk y su equipo de investigadores presentan un metamodelo para la determinación de los factores que afectan el diseño de algoritmos criptográficos validado con análisis-Q., indicando que el grupo de componentes más significativo para desarrollar un sistema de cifrado consta de: recursos humanos, I-D, normas y reglamentos, TI y estándares.

Luego, Flores y su grupo, analizaron los posibles defectos existentes asociados a las vibraciones en los rodamientos del sistema de transmisión del prototipo Baja SAE UC 2004, mediante una evaluación no invasiva, encontrando que todos los rodamientos del sistema de transmisión presentaron posibilidad de

falla para las dos velocidades de giro del eje de transmisión definidas en el estudio, siendo la posibilidad de falla más recurrente asociada a los defectos en la pista externa.

Así mismo, Sarango, Mejía y Guevara proponen el uso de series sintéticas de caudales medios mensuales en la planificación de la operación del sistema eléctrico interconectado nacional del Perú, alcanzando el estudio el análisis histórico de 23 cuencas hidrográficas generando 300 series sintéticas que comprenden el período entre 1965 y 2016.

Por otro lado, Bakhtiari, Fesharaki y Khadem-zadeh nos presentan una mejora del conocimiento compartido en malla de sensores en tres niveles del framework CommonKADS, permitiendo la gestión de información y datos en tiempo real, así como también de computación distribuida, una red de sensores a gran escala para la toma de decisiones precisas.

Román, Ordoñez y Jiménez, hacen la propuesta estratégica del uso del procesador de palabras L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X en actividades académicas tanto de estudiantes como de profesores en el Departamento de Matemática de la Facultad de Ingeniería para brindar una competencia que coadyuve a mejorar el rendimiento académico. Así mismo, Lapidus evalúa en su artículo la relevancia y oportunidad de considerar los problemas de organización de la producción durante la reurbanización de los territorios industriales del entorno urbano, analizando los requisitos previos básicos presentes en el fenómeno de reurbanización, y también se identifican los parámetros que tienen un impacto importante en la toma de decisiones sobre los métodos para cambiar el propósito funcional de las áreas urbanas.

Villegas y Farías, abordan la problemática de movilidad urbana en las ciudades venezolanas y de manera más específica en el área metropolitana de Valencia, por medio de la planificación y diseño de ciclovías que incluye la delimitación del área de estudio, el levantamiento de campo, el estudio de demanda, la selección de las rutas con mayor grado de factibilidad y el diseño geométrico de la red troncal de ciclovías seleccionadas.

Finalmente, Sidorovas y sus colaboradores evalúan la influencia del tiempo de recocido sobre las propiedades mecánicas, eléctricas y microestructurales de la aleación de aluminio AA-8176, concluyendo que a mayor tiempo del recocido, el material se hizo hasta un 30 por ciento más dúctil y se presentó un crecimiento del tamaño de grano de 30  $\mu\text{m}$  hasta 200  $\mu\text{m}$  para el recocido de 12 horas.

Cerramos este editorial, invitando a publicar en nuestra Revista INGENIERÍA UC a todos aquellos investigadores nacionales e internacionales interesados en confiarnos sus productos científicos en las diferentes áreas de la ingeniería y ciencias afines.

Profesor *José Luis Nazar*<sup>†</sup>  
Decano de la Facultad de Ingeniería  
Marzo 2009–Abril 2020

Profesor *Ángel Daniel Almarza*, Dr.  
Editor – Jefe

Querido *Profesor Nazar*, que vuele muy alto y la gracia infinita de Dios lo acompañe por siempre.

Profesora Lisbeth Manganiello, PhD.  
Editora Honoraria  
Marzo 2009–Septiembre 2018

## Posthumous tribute to the Professor *José Luis Nazar Álvarez*

Ángel Almarza-Morales \* 

*Dirección de Investigación y Producción Intelectual, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo. Valencia, Venezuela.*

### Homenaje póstumo al Prof. *José Luis Nazar Álvarez*

Con profunda gratitud hacemos entrega de este tributo a la memoria del Prof. *José Luis Nazar Álvarez* (Figura 1) quien, por más de cuarenta años al servicio de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo, fue ejemplo y referencia por su experiencia, templanza, gran sentido de pertenencia y responsabilidad en el quehacer universitario visto desde sus diversas aristas.



Figura 1: Prof. *José Luis Nazar Álvarez*

En 1971, inicia sus estudios en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo, de donde egresa en 1976 titulándose como Ingeniero Industrial. En ese mismo año, comienzan sus labores como profesor adscrito al Departamento de Ingeniería Estructural de la Escuela de Ingeniería Civil, desarrollando su perfeccionamiento profesional en los tópicos de Control de Calidad e Inspección de Obras Civiles, Gerencia y Desarrollo de Proyectos, Sistemas Constructivos en fibrocemento, Análisis de estructuras sismo-resistentes, entre otros. Recibiéndose luego como Magister en ingeniería Industrial en el año 2002.

\* Autor para correspondencia:

Correo-e: adalmarza@uc.edu.ve (A. Almarza)

En el plano profesional desarrolló diversas obras como el diseño y desarrollo del sifón de acero tubería 64" acueducto Regional del Centro INOS, y la coordinación general de proyectos como la construcción del Edificio de infraestructura y el Edificio Administrativo del Complejo PEQUIVEN, así como la construcción de talleres de las minas de Riecito.

Desde el contexto universitario, el Profesor *José Luis Nazar* se desempeñó como Director de la escuela de Ingeniería Civil (1988–1989), Director asistente al Decano (1989–1991), Director General de Obras (1998), Director de Planta Física (1999–2000), Consejero Universitario (1997–1999), Director de la Estación de Promoción de Desarrollo Tecnológico (2005–2006), Consejero de Facultad (2007–2009) y Decano de la Facultad de Ingeniería a partir del año 2009 hasta su partida física aun en cumplimiento de sus funciones, manteniéndose como docente activo por más de cuarenta años, en los que fue patente su honestidad, transparencia, lealtad y compromiso.

La situación de deterioro generalizado en el sector universitario, incluyendo partidas presupuestarias estrechas en una Facultad de Ingeniería con necesidades diversas en términos de servicios e infraestructura, no le impidieron enfrentar los problemas y avanzar en sus soluciones, siendo siempre partícipe y líder en todas aquellas acciones que estuvieron enfocadas en asegurar la calidad de las actividades académicas. En la Figura 2 se ejemplifica su gestión y participación en una de las múltiples contingencias acontecidas, en esa oportunidad se concentraba en la búsqueda de alternativas para solventar la afectación del 50 % de las instalaciones de la Facultad a consecuencia del

hurto de los cables principales del sistema eléctrico en septiembre de 2017.



Figura 2: Supervisión de las labores relativas a la emergencia eléctrica de la facultad [1]

Es para nosotros fundamental, destacar el invaluable apoyo que en todo momento ofreció al fomento de las actividades de Investigación y Divulgación de la ciencia, poniendo siempre como prioridad el desarrollo y evolución de la Revista Ingeniería UC como principal plataforma para resaltar los valiosos productos de investigación generados en el seno de nuestra facultad, incentivando con esto también la prosecución de las carreras académicas de los docentes, actividades conjuntas que se mantenían de manera simultánea con el progreso de la Dirección de Postgrado alcanzando la constitución y establecimiento de nuestro programa de Doctorado en Ingeniería, permitiendo así el desarrollo académico de nuestros docentes.

No menos importante fue su interés y empeño por impulsar una reforma curricular por competencias en la Facultad de Ingeniería, proceso que inició como piloto en la escuela de industrial concretado en marzo del año 2017 y que se vino materializando luego en las demás escuelas, todo lo cual estaba enmarcado en el anhelo de mantener a nuestra facultad a la vanguardia junto a sus pares de iberoamérica.

Más relevante aún es resaltar la valentía con que sobrellevó sus padecimientos de salud, manteniendo un espíritu de lucha y determinación incomparables durante varios años, acompasando magistralmente las indicaciones y procedimientos médicos a las cuales fue sometido con sus

compromisos y responsabilidades institucionales, que nunca dejó a un lado (Figura 3).



Figura 3: Revisión de informes para cumplir con responsabilidades institucionales

Su partida física ha resultado dolorosa, sin embargo, deja un legado para nosotros y las generaciones futuras, basado en los firmes principios del respeto, la vocación de servicio, el entendimiento e incluso la autocrítica para dar alcance a metas y objetivos comunes, destacando siempre su capacidad de ser directo y firme en sus convicciones, sin cerrar jamás el espacio para la amistad genuina y sincera.

Sirva este como un pequeño homenaje al Prof. *José Luis Nazar Álvarez*, quien en vida fue un académico y universitario íntegro, ingeniero de gran valía profesional, buen padre de familia, ejemplo de valentía, luchador incansable, gran ser humano y mejor amigo.

## 1. Referencias

- [1] Diario El Carabobeño, Foto de Kevin Arteaga. (2017, Sep.) UC reinició las actividades con la Facultad de Ingeniería a media máquina. Valencia.

# An efficient hybrid recommender system framework using semantic technology for social networks

Ali Pazahr <sup>\*,a</sup> , José Javier Samper-Zapater <sup>b</sup> , Francisco García-Sánchez <sup>c</sup> 

<sup>a</sup> Department of Computer Engineering, Islamic Azad University, Ahvaz branch. Ahvaz, Iran.

<sup>b</sup> University research institute on Robotics and Information and Communications Technologies (IRTIC), University of Valencia. Valencia, Spain.

<sup>c</sup> Department of Informatics and Systems, University of Murcia. Murcia, Spain.

**Abstract.-** The first group of companies that have a business on online social networks try to design an efficient plan for making more money on this platform. Advertising can be a solution for introducing and promoting the services or products for the clients and it can be led to more sells. There are a second group of companies intended to use advertisements on social networks, many of these annoy the users since they are not fascinating or matched for the clients. The primary target of the current study is to design and present a model of advertising recommender systems on social networks using innovative techniques. Although there are numerous applications and research works about recommender frameworks, in the proposed model, it is valuable to plan a recommender system which focus more precisely on the user's interests. The framework uses a semantic logic to increase the accuracy of the recommendations along with using a combination of four recommender methods, the particular estimations for each method and the integration of recommendations generated by each method using a rank-based approach which totally can differentiate the proposed recommender framework from the previous similar methods. The accuracy of suggested framework is 0,7498 that was revealed by implementing a web application. The comparison of some similar models with the current work based on various features and aspects shows a significant excellence of this study.

**Keywords:** recommender systems; social networks; user preferences; semantic technology.

## Framework de un sistema de recomendación híbrido eficiente utilizando tecnología semántica para redes sociales

**Resumen.-** El primer grupo de empresas que tienen un negocio en línea en redes sociales intenta diseñar un plan eficiente para incrementar sus ganancias en esta plataforma. La publicidad puede ser una solución para introducir y promocionar servicios o productos para los clientes, lo cual puede conducir a más ventas. Existe un segundo grupo de empresas destinadas a utilizar anuncios en las redes sociales, muchos de los cuales molestan a los usuarios ya que no son fascinantes o coinciden con los clientes. El objetivo principal del actual estudio es diseñar y presentar un modelo de sistemas de recomendación publicitaria en las redes sociales utilizando técnicas innovadoras. Aunque existen numerosas aplicaciones y trabajos de investigación sobre frameworks de recomendación, en el modelo propuesto, es valioso planificar un sistema de recomendación que se centre en los intereses del usuario. El *framework* utiliza una lógica semántica para aumentar la precisión de las recomendaciones junto con el uso de una combinación de cuatro métodos, las estimaciones particulares para cada método y la integración de las recomendaciones generadas mediante un enfoque basado en posiciones que puede diferenciar totalmente el *framework* de recomendación propuesto con respecto a métodos similares anteriores. La precisión del *framework* sugerido tiene un valor de 0,7498 que se obtuvo mediante la implementación de una aplicación web. La comparación de algunos modelos similares con el trabajo actual basado en diversas características y aspectos, muestra una excelencia significativa en este estudio.

**Palabras clave:** sistemas de recomendación; redes sociales; preferencias de usuario; tecnología semántica.

Received: January 02, 2020.

Accepted: February 18, 2020.

### 1. Introduction

The platform of social network as a place of communicating users, is a great opportunity to get billions of dollars in venture and procurement using advertisements [1]. The information on social

\* Correspondence author:  
e-mail:pazahr@iauahvaz.ac.ir (A. Pazahr)

websites is generated by users and to determine their interests, there are several limits and obstacles for acquiring user's information and preferences [2]. The semantic technology can operate as a suitable facility to determine the relationship among products and clients on social networks. This technology has been considered as a utility for developing the web, whereas it expresses the meaning of the contents on the web using different frameworks that resolve the ambiguity of unclear concepts and as a result it upgrades the level of our life [3][4]. One of the most popular elements of semantic web that can be also utilized for recommender systems is ontology [5][6]. The ontologies have simple structures and they can easily present the concept of various information [7]. Besides, the other technologies that can be affiliated are OWL [8] and RDF [9], totally they can semantically describe many kinds of concepts and entities. Using these assets it is possible to define smart web applications such as semantic search engines [10] that represent considerably more acceptable and usable outcomes rather than traditional search engines which is led to more client's satisfaction. As the present research contribution, the current study brings the advantages of four standard techniques altogether, along with using the semantic technology for improving the recommendations, the generation of recommendations using specific estimations, aggregating the same recommendations by different standard methods into one recommendation by the sum of their rates, utilization of both social network user rates and recommender framework user rates, preparing a new dataset required for evaluation of the framework by collecting data from a social network, and comparing some similar related works with several features and factors demonstrating the superiorities of the proposed model.

## 2. Related works

In spite of the numerous promising provided aspects, the semantic web has not been broadly utilized in software platforms [11]. The reason is that the process of ontology establishment,

annotation and its maintenance is relatively difficult. In addition, it is troublesome to not only learn the required skills [12] but also use of necessary libraries for which it is needed to get expertise [13]. The combination of social web and semantic technology [14][15] presents social semantic web or web 3.0 [16]. Proportionate to this definition, a web application can display the benefits of semantic utilities and social web altogether [17][18]. Moreover, the clustering approaches can increase the accuracy of decision making systems [19] such as recommender systems. The methodology explained in [20] utilizes the collaborative tagging aggregated by numerous number of users to enhance the quality of social network recommendation. The solution comprised two phases, in the first step, the tag-item weight pattern was estimated and in the second phase, the user-tag preference pattern was computed. Then the two patterns were considered to seek the appropriate items fit to the users' interests and recommend the items including the maximum rate. Furthermore, the tag rate can be estimated and suggest the tags with the maximum weight to the user considering their interests. By applying the social web properties, it is possible to see the capabilities of recommender systems that are implemented on social networks and observe the wonderful results in attracting the audiences and clients [21]. As mentioned in [22] a new combined method is demonstrated that increases sparse tag shows without presenting content in direct. The provided method coordinates pseudo-tags gained from information into the tag presentation of a track, and a unique weighting plan constrains the quantity of pseudo-tags that are permitted to contribute. Examinations represent that this technique enables tags to stay predominant when they give a solid presentation, and pseudo-tags to assume control over when labels are sparse. The context-aware recommender model in [23] improves the recommendation procedure with context to suit the recommendation outcomes to end users. By utilizing the social tagging, the model estimated the latent interests of users on contexts from other similar contexts, also latent parts of contexts for items from other similar

items. By discovering the similarities between the user's contexts, the contexts and items, it is possible to specify the marvelous items using a particular context. Consequently, the method maps the context on the items regarding on that specific user, for recommending the closest item suitable to the users' preferences. The research [24] combines clustering and ranking aggregation methods to find a solution for sparsity, scalability, and cold-start problems. The suggested clustering method utilizes K-means algorithm. The framework is performed based on the dataset of MovieLens, which includes the genre and demographic information. Furthermore, the ranking aggregation method facilitates Borda and Copeland approaches to be evaluated. In [25] it is argued that items are endured from the sparsity problem more seriously than users, because items are normally seen with fewer attributes to help a feature-based or content-based method. To overcome this difficulty, the complicated relation of each item $\times$ user $\times$ query triple from item's point of view is sufficiently prospected. Using integration of item-based collaborative information for this task, another factorized method was presented that could primarily measure the ranks of the items with sparse data for the provided query-user pair. Moreover, a bayesian personalized ranking (BPR) method was suggested to be utilized to enhance latent collaborative retrieval difficulty from pairwise learning point of view. The accuracy of recommendations can be enriched using a semantic approach and a hybrid recommender technique [26][27]. The solution proves that such composed system can provide more relatively accurate recommendations in comparison with three other models as SPAC, Friendbook and another system. The current research is an extended version of [27], but in this work, the proposed framework is compared with the other similar investigations as Pseudo-tag algorithm [22], CAMRST [23], RABCRS [24], and TIIREC [25] models along with more discussion. An appropriate search through Google Scholar database for the most recent related works based on some excellence of a recommender system [28] were established including item's features, users'

feedback, similarity metrics, utilized recommender techniques, considered evaluation metrics, and cold-start overcome and the mentioned works in Table 3 were found. The current proposed method was evaluated using Precision & Recall, MAE, RMSE and discussed to find the improvements and excellences of the proposed model in comparison to the mentioned similar works. Semantic recommender methods are organized through the usage of semantic learning in the procedures of recommendation production along with a particular purpose to increase recommendation's precision [29]. The concepts earned from improving the representation of user profiles is utilized by majority of these methods [30]. Although in the current work there is an attention to use of a particular aspect of semantic technology, the other similar works have usually misused it for enriching the recommendations [31]. The prominent part of similar works has used semantic similarity to increase the accuracy of content-based models [32], however the other recommender systems exist which use semantic technology and try to concentrate on user profile in standard recommender techniques [33].

### 3. Literature review

The recommender systems are the software applications that check a user profile and try to generate some suggestions for the user based on user's interests and activities. It is possible to update the profiles of users by controlling their activities or direct rating of products. Although these systems anticipate the recommendations with the most possibility of accuracy, but in some cases may not be successful in providing the desirable results. Recently the usage of recommender systems has been rising as an advantageous part of the websites [34]. Furthermore, many of e-commerce websites have been equipped with the recommender systems [35]. The calculations in the proposed model of recommender system are as follows [36]: Considering the set of users  $u$  as  $U$  where  $u \in U$  and the set of items  $i$  as  $I$  where  $i \in I$ , a matrix including the given rates by users to the items is named as  $s(u, i)$  as a  $U \times I$

space. In this matrix, some cells are initiated that means a user has rated the item and the rest of cells are remained blank for which the recommender system will anticipate appropriate values. If a considerable number of the cells are initially blank, the matrix is sparse and the recommender system will suffer from this issue as cold start problem [37]. As indicated in [38], the  $U_P$  is an array including all user profiles. The functionality of a recommender system is distinguished using a map of users of  $U$  to  $P(I)$  as the recommended items which can be considered  $P(U_P)$  as a set of user profiles. Accordingly,  $REC$  as the recommendation set can be defined as  $REC: P(U_P) \times U \rightarrow P(I)$ . More clearly the rating matrix is utilized as matrix  $[s(u_k, i_j)]_{m \times n}$  that can be illustrated in Figure 1. The values in this matrix are in the range of 0 to 5. Moreover, the rating matrix can be normalized to another matrix that is shown in Figure 2.

$$\begin{matrix}
 & i_1 & i_2 & \dots & \dots & i_{n-1} & i_n \\
 u_1 & \left( \begin{matrix} 1 & & & & & 4 & \\ & & & & & & \\ u_2 & & & 2 & 3 & & \\ \vdots & & 3 & & & & 2 \\ \vdots & & & & & & \\ u_{m-1} & 0 & & & 5 & & \\ & 0 & & & 5 & & 1 \\ u_m & & & & 2 & 0 & \end{matrix} \right)
 \end{matrix}$$

Figure 1: The main rating matrix

$$\begin{matrix}
 & i_1 & i_2 & \dots & \dots & i_{n-1} & i_n \\
 u_1 & \left( \begin{matrix} 1 & & & & & 1 & \\ & & & & & & \\ u_2 & & & 1 & 1 & & \\ \vdots & & 1 & & & & 1 \\ \vdots & & & & & & \\ u_{m-1} & 1 & & & 1 & & 1 \\ & 1 & & & 1 & & 1 \\ u_m & & & & 1 & 1 & \end{matrix} \right)
 \end{matrix}$$

Figure 2: The rating matrix after normalization

In other words,  $REC$  as the recommendations can be stated for the user  $u_k$  considering up as the user profile in equation (1).

$$REC(u_p, u_k) = \{i \mid s(u_k, i) = \arg \max i \in I\} \quad (1)$$

The most valuable item is assigned as  $\arg \max$ . Therefore, the main part of a recommender system is to detect the unspecified cells of the rating matrix that relate to the items without any opinion from the corresponding user and then, calculate appropriate values for the cells according to the recommender system strategy. Finally, the highest values in form of ranks are recommended to the user.

#### 4. Methodology

In this section an overview of the proposed framework is depicted containing different elements. Consequently, each of the elements are demonstrated including their main characteristics and their task. In this study the effort has been that a complete and accurate system is designed and implemented as much as possible. To reach this aim we used artificial intelligence techniques in the recommender system algorithm. The proposed method uses the advantages and highlights of four standard techniques while the majority of similar research works only utilize one or two techniques. During the user activities, it is possible to use the generated recommendations as the feedbacks for the next rounds of recommendation generation process. Figure 3 displays the proposed model of recommender system along with its elements.

For calculating of the matrix of rates, five degrees for user’s interests are considered which can be assigned to the products. These values are determined during their activities on the specific web pages when the users express their opinions about the products. As a variable,  $i_{rank}$  (rank of interest) is pointed to the user interest rate. In this research the values of 1 to 5 are assigned to the different levels of tendency related to each product. If the user looks for a product, the value of  $i_{rank}$  is set to value 5. In the more interesting condition,  $i_{rank}$  is set to 4, if the specific product is browsed or shown along with its details for the user. It can be determined that the user attention to that product in case of browsing or showing has more rank rather than searching. Totally, the

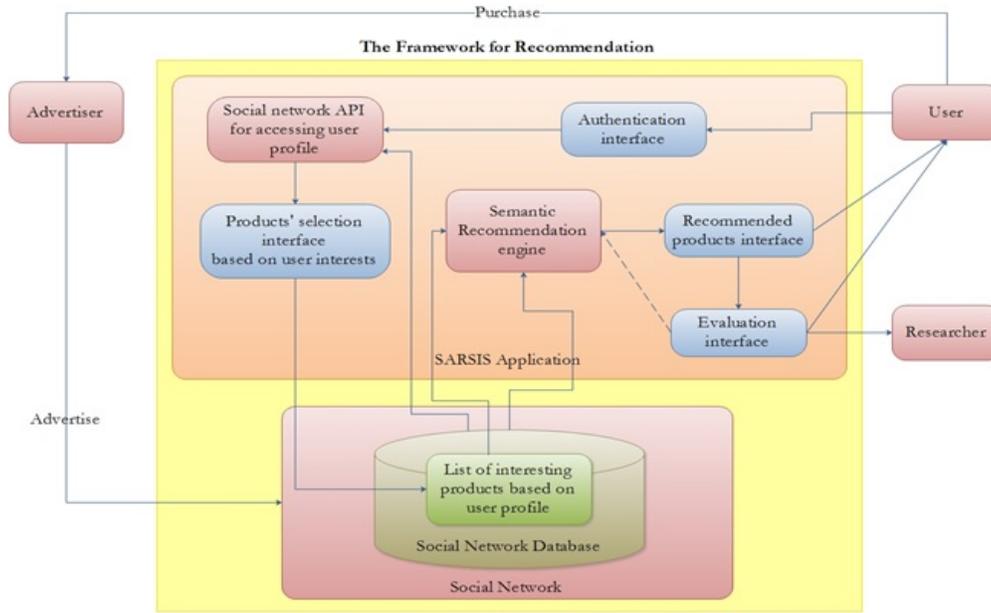


Figure 3: The suggested framework of recommender system

more rank of  $i_{rank}$  is, the higher user has interest to the product. Subsequently, if the user has a direct intention to the product by starring it between 1 to 3, the logic of the recommender system sets  $i_{rank}$  respectively from 3 to 1. There is another important variable in the current framework as  $t_{rank}$  (rank of product) which points to the rank of an advertisement on social network, created by a producer. The  $t_{rank}$  value is gathered from the activity of other users on social networks generally and earned previously. It indicates the popularity value of the product among social networks' users. In this study, two equations, one for demographic recommender technique (equation (2)) and another for the context-aware recommender technique (equation (3)) are used to calculate a final rate of  $it_{rate}$  separately based on the user's available data on social network for detecting the potential recommendations in the next step [27].

$$it_{rate} = \frac{arrSimilarUsersDemo[i, 1]}{(5 \cdot i_{rank} \cdot t_{rank})} \quad (2)$$

$$it_{rate} = \frac{arrSimilarUsersCtx[i, 1]}{(6 \cdot i_{rank} \cdot t_{rank})} \quad (3)$$

The value of the variable  $it_{rate}$  shows the amount of user's interest about a product. This variable is

based on some parameters including  $i_{rank}$ ,  $t_{rank}$ , user's similarity, and a fixed ratio which in this study is set to 5 for demographic and 6 for context-aware recommender parts. For the content-based filtering part of the suggested framework, the details of the products along with the label  $cb$  which indicates the type of recommender element, current user's username and  $it_{rate}$  estimated by equation (4) were added to the table  $Recs$ :

$$it_{rate} = \frac{1}{(6 \cdot t_{rank})} \quad (4)$$

The final part of the recommender system, collaborative filtering, uses the kNN algorithm to discover the users with the most similarity to the current user. The matrix  $w_{a,u}$  was calculated based on the equation (5) [39] including all weights or the values of user's closeness together.

$$w_{a,u} = \frac{\sum_{i \in I} (r_{a,i} - \bar{r}_a) (r_{u,i} - \bar{r}_u)}{\sqrt{\sum_{i \in I} (r_{a,i} - \bar{r}_a)^2 \sum_{i \in I} (r_{u,i} - \bar{r}_u)^2}} \quad (5)$$

In equation (5)  $I$  refers to the set of items (products) which can be rated by the users, the assigned rate to the product  $i$  by the user  $u$  is  $r_{u,i}$ ,

and the mean rate which is given by user  $u$  is  $\bar{r}_u$ . Using equation (6) [39] the unrated cells of the matrix  $w$  were estimated:

$$p_{a,i} = \bar{r}_a + \frac{\sum_{u \in K} (r_{u,i} - \bar{r}_u) \cdot w_{a,u}}{\sum_{u \in K} w_{a,u}} \quad (6)$$

In equation (6), the prediction value of the current user for the product  $i$  is considered as  $p_{a,i}$ , the similarity value between the user  $a$  and the user  $u$  is assigned as  $w_{a,u}$ , and the set of most similar users as a kind of neighborhood is considered as  $K$ . If the generated recommendations by the collaborative filtering part have been formerly saved to the table *Recs*, their relevant values are replaced by the new recommended items to avoid redundancy. The highest values estimated by the recent equation were appended to the table *Recs* for each user, along with the other necessary details including product *id*, the mark *cf* showing the recommendation method, username, and  $it_{rate}$  value which was calculated using the equation (7):

$$It_{rate} = \frac{rates[userindex, productidindex]}{10} \quad (7)$$

Consequently, among all out arranged recommendations through four strategies from the table *Recs*, top ten items with most elevated  $it_{rate}$  values, is appeared to the current user. One fascinating curiosity with regards to this recommender system is that a gathering of determined prescribed items for the current user which even could be found more than once yet assessed by various methods with various  $it_{rate}$  values, are collected dependent on  $it_{rate}$  values. For this reason, a SQL task of “Group by” *productid* and *userid* is accomplished alongside considering an all out  $it_{rate}$  of suggestions utilizing four methods as  $Total\_it_{rate}$ . Therefore, the records obtained of the ongoing dataset conceivably demonstrate the expected interest rate of the user about the items. At last, these records ought to be arranged by  $Total\_it_{rate}$  so as to locate the best suggestions. Furthermore, the technique of generating the

recommendations is based on the ranks. Therefore, for each item, its  $it_{rate}$  is estimated by equation (8):

$$Total\_it_{rate} = \sum_{i=1}^n (it_{rate}(i)) \quad (8)$$

In equation (8), the maximum value as  $n$  is 4 referring to the four standard techniques and  $i$  points to the number of each recommendation method. The implementation steps of the proposed model have been depicted in Figure 4 where it shows how the model works.

The proposed model mentioned has been depicted generally and it is possible to use the framework for any social network containing even other types of media. However, to run the model on a real platform and present the operation of the model, the social network of *last.fm* as a suitable case study was chosen to perceive the functionality of the recommender system in practice. The social network *last.fm* was established in the UK in 2002 working on music category [40]. In this case study, several methods are utilized to collect data from the social network such as *tag.gettopartists*, *artist.getinfo*, *artist.gettoptracks*, *tag.getsimilar* and *track.gettoptags*. For running the model, a web application named SARSIS was developed in Microsoft Visual Studio .NET using ASP.NET technology. The frontend of this application was designed based on two languages consist of Persian and English. Figure 5 shows the navigation of web pages in the application.

For testing the framework and monitoring how it really works, it was necessary to use a dataset as the backend of the web application. The software application Microsoft SQL Server was used to maintain and manage the database. The tables in the database include user interests, artists, users, user rates, recommendations, and tracks. To start the web application and initialize the tables tracks and artists, a separate code was developed to crawl music data from *last.fm* as the case study of social network. The collected data was prepared including 13.7685 music tracks and 2.125 artist profiles during three weeks. In this code a number of RESTful queries have been executed on the

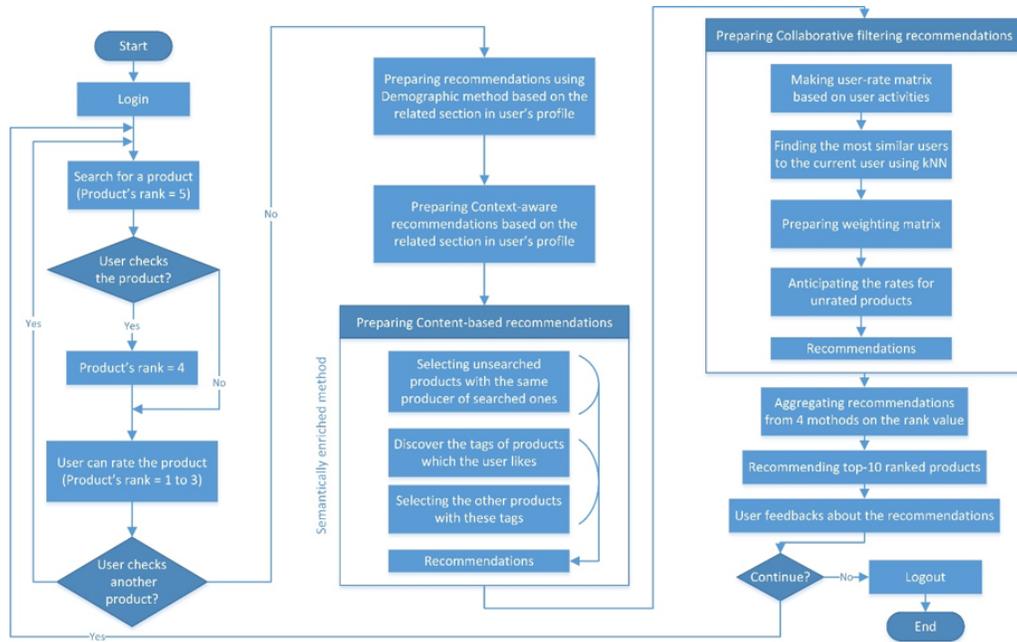


Figure 4: Implementation and work model

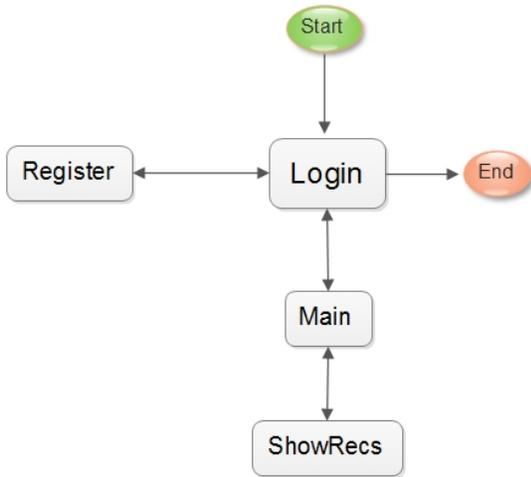


Figure 5: The navigation of web pages in SARSIS

last.fm, the streams of responses as the results were obtained in XML format, parsed to enumerate the artist and track data and finally saved into the database as the tables artists and tracks so that they can be utilized for the recommender system.

### 5. Evaluation

The generated recommendations using SARSIS were assessed using some evaluation metrics and it proved that SARSIS has had an enhanced

combination in comparison with the previous similar works. The metric of MAE as the error of the framework could be used to discover the total amount of distance between the recommendations and what the users really preferred. Equation (9) shows how MAE is calculated:

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N |p_i - q_i|}{N} \tag{9}$$

A high value of accuracy is recognized through the lower values of MAE. The precision, recall and F1 metrics can be estimated using equation (10), equation (11) and equation (12) respectively.

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \tag{10}$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \tag{11}$$

$$F1 = \frac{2 \cdot Precision \cdot Recall}{Precision + Recall} \tag{12}$$

The variable *TP* refers to the previewed tracks that were liked by users (the number of likes in Table 1), the variable *FP* refers to the recommended tracks that were not liked by users (the number of

Unlikes for each user in Table 1), and the variable *FN* refers to the tracks that were not shown to the user via searching, listening or rating and they are not recommended, while they can be potentially interesting for the users as the recommendations.

### 6. Results and discussions

The ideal results in recommender systems comprise the recommendations with the lowest error and highest accuracy as much as possible. Furthermore, it is important to remember that the design of such frameworks encounters particular limitations and problems. In the proposed model not only the benefits of four standard techniques but also a semantic technology has been totally used. The number of 73 users tested SARSIS and based on the gathered information from running the case study, remarkable results were seen related to the framework. The range of user ages in running the case study is classified to 6 groups as shown in Figure 6.

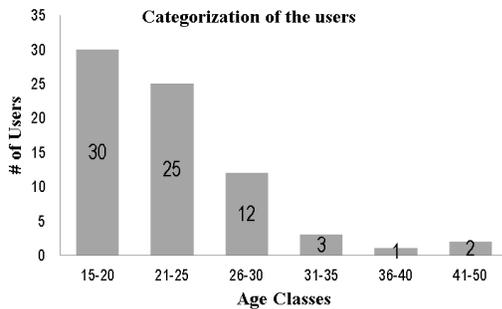


Figure 6: User’s age classes

Based on the Figure 6, most of the users have ages in the range of 15 to 25. By assessing the table *UserRates* (which is a table related to the application, including user rates about the suggestions in the validation page by the users), the quantity of liked music tracks which every user has determined, and also according to the equation (9), the outcome using a SQL query that was executed in Microsoft SQL Server. Figure 7 shows how the results can be obtained utilizing a SQL query.

The results from the Figure 7 are used for estimation of recall and precision which can be presented in Table 1.

```
SELECT userid AS Userid,
COUNT(userid) AS Recommendations,
SUM (userrate) AS Likes,
COUNT(userrate) - SUM(userrate) AS Unlikes
FROM UserRates
GROUP BY userid
```

Figure 7: The SQL query used for preparing the result

As shown in Table 1, the information is based on the users. Accordingly Figure 8 illustrates a graph of MAE values for each user.

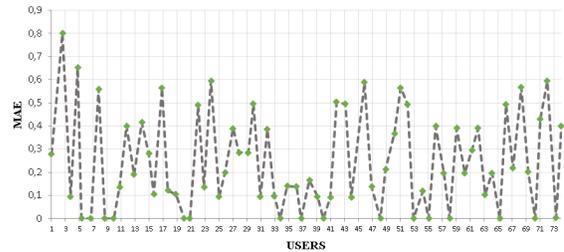


Figure 8: MAE for all users

The Figure 9 shows the number of unliked recommended tracks along with the number of recommended tracks presented to each user.

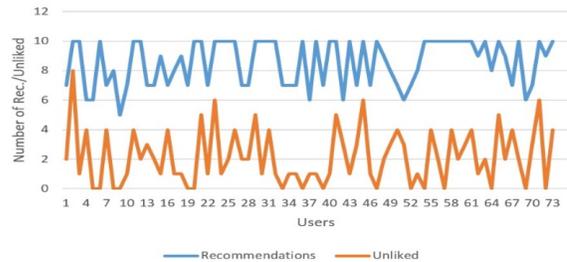


Figure 9: The number of recommended music tracks for each user versus the numbers of unliked recommended music tracks

The total MAE for the all users working with SARSIS can be estimated as equation (13).

$$MAE = \frac{157}{625} = 0,2512 \quad (13)$$

The other metrics for evaluation of the model are recall and precision. Table 2 explains how these two metrics are defined.

Table 1: The information of results.

User ID	Recommendations	Likes	Unlikes	Interesting	Precision per user	Recall per user
1000000000	7	5	2	12	0,714286	0,294118
1100110011	10	2	8	0	0,200000	1,000000
1111111111	10	9	1	7	0,900000	0,562500
1147567876	6	2	4	1	0,333333	0,666667
1221344356	6	6	0	14	1,000000	0,300000
1234567891	10	10	0	37	1,000000	0,212766
1652964028	7	3	4	14	0,428571	0,176471
1740294068	8	8	0	21	1,000000	0,275862
1740331941	5	5	0	18	1,000000	0,217391
1740364295	7	6	1	6	0,857143	0,500000
1740476999	10	6	4	18	0,600000	0,250000
1740494970	10	8	2	42	0,800000	0,160000
1740601920	7	4	3	1	0,571429	0,800000
1740751698	7	5	2	11	0,714286	0,3125
1740763777	9	8	1	24	0,888889	0,250000
1740841891	7	3	4	16	0,428571	0,157895
1740925823	8	7	1	14	0,875000	0,333333
1741361461	10	10	0	14	1,000000	0,416667
1741375827	10	5	5	21	0,500000	0,192308
1741422701	7	6	1	5	0,857143	0,545455
1741453690	10	4	6	9	0,400000	0,307692
1741726591	10	9	1	9	0,900000	0,500000
1741805090	10	8	2	7	0,800000	0,533333
1741912891	7	5	2	7	0,714286	0,416667
1741922089	10	5	5	16	0,500000	0,238095
1741975565	10	9	1	11	0,900000	0,450000
1742013937	10	6	4	5	0,600000	0,545455
1742018246	10	9	1	4	0,900000	0,692308
1742046509	7	7	0	10	1,000000	0,411765
1742059457	7	6	1	6	0,857143	0,500000
1742113419	7	6	1	8	0,857143	0,428571
1742227341	10	10	0	21	1,000000	0,322581
1742328407	10	9	1	14	0,900000	0,391304
1742335942	10	5	5	30	0,500000	0,142857
1742351387	6	3	3	7	0,500000	0,300000
1742380727	10	9	1	18	0,900000	0,333333
1742386431	7	4	3	2	0,571429	0,666667
1742388991	10	4	6	14	0,400000	0,222222
1742413080	7	6	1	10	0,857143	0,375000
1742428819	10	10	0	25	1,000000	0,285714
1742449948	9	7	2	12	0,777778	0,368421
1742454216	8	5	3	23	0,625000	0,178571
1742531407	7	3	4	18	0,428571	0,142857
1750467534	6	3	3	3	0,500000	0,500000
1750598353	7	7	0	12	1,000000	0,368421
1752428819	8	7	1	17	0,875000	0,291667
1754624498	10	10	0	7	1,000000	0,588235
1754624499	10	6	4	45	0,600000	0,117647
1756797366	10	8	2	13	0,800000	0,380952
1756998124	10	10	0	15	1,000000	0,400000
1757037179	10	6	4	2	0,600000	0,750000
1757052811	10	8	2	18	0,800000	0,307692
1757144315	10	7	3	35	0,700000	0,166667
1757594752	10	6	4	3	0,600000	0,666667
1757755888	9	8	1	17	0,888889	0,320000
1810374146	10	8	2	10	0,800000	0,444444
1920332022	10	8	2	41	0,800000	0,163265
1940524695	6	6	0	23	1,000000	0,206897
1940548276	7	4	3	3	0,571429	0,571429
1943149638	10	4	6	16	0,400000	0,200000
1960167413	9	9	0	36	1,000000	0,200000
1987835301	10	6	4	25	0,600000	0,193548

Table 2: The relations between concepts

	Recommended	Not Recommended (Interests)
Liked	True positive (Liked recommended music tracks)	False Negative (Interesting music tracks for users in Main page)
Unliked	False Positive (Unliked recommended music tracks)	True Negative (-)

To generate a list of false negative items it is necessary to consider the music tracks in which users interest. This list can be prepared using a SQL query which is depicted in Figure 10.

Based on the provided definitions in Table 2 and the data from Table 1 the graphs of recall and precision based on the users are estimated and show in Figure 11 separately, while another graph presents the recall values based on the precision values in Figure 12.

In brief the value of 0,7498 is estimated as a total precision of the accomplished case study using the suggested model.

```
SELECT userid, COUNT(userid) AS fn
FROM Interests
GROUP BY userid
ORDER BY userid
```

Figure 10: The SQL query used for preparing the False Negative (fn) values

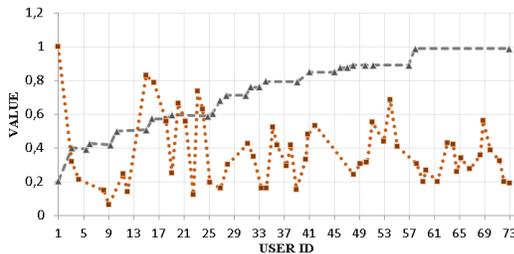


Figure 11: Precision (▲) and Recall (■) curves

### 7. Discussion

The current research has described a novel framework including special specifications and

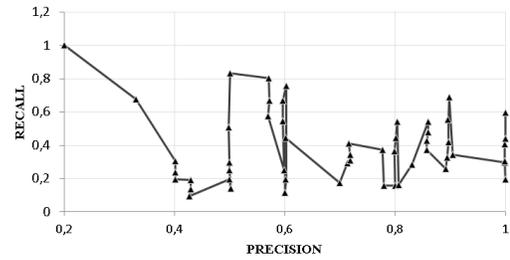


Figure 12: Graph of recall based on precision

advantages. The businesses on social network are able to employ the benefits of the proposed model as a part of their e-commerce solutions. Although the proposed methodology was suggested in general, it was necessary to validate the mentioned solution on at least one social network as a case study and observe the efficiency of the model. For this purpose, a web application was developed and a dataset was crawled and saved to implement the idea of the methodology so that the users can browse the web application and have their own activities on the application to express their indirect or direct preferences. A semantic engine was responsible to act as a part of recommendation generation and when the users finished their activity, they could rate the recommended items. One of the challenges in developing the case study was the selection of a proper social network that eventually the social network last.fm was chosen. As indicated in [27] the recommender system employed in last.fm only uses a collaborative filtering as a standard recommender technique, whereas the method of suggested framework provides the advertisements using a hybrid recommender system. Hence the more accurate recommendations can be observed with SARSIS rather that with last.fm since in SARSIS the features of other recommender techniques as context-aware, demographic and content-based filtering are also used that can make recommendations closer to the users' interests. Simply, it is clear to see the recommendations by SARSIS have more accuracy in comparison with last.fm.

As a further study, more similar recommender systems were compared with SARSIS and interesting findings were discovered as the positive

Table 3: Comparison of similar Recommender Systems with SARSIS

RS model	Features					feedback	Similarity Metrics	RS techniques	Evaluation Metrics	Dataset	Cold-start overcome
	genre	tag	social rank	time	location						
SARSIS (Proposed)	✓	✓	✓	✓	✓	User rating	Pearson correlation, kNN	CB, CF, CA, Demo	Precision & Recall, MAE, RMSE	Last.fm (137685 tracks, 2125 artists)	Tag based, content based, ranking aggregation.
Pseudo-tag [22]	✓	✓	✓	✗	✓	✗	kNN	Pseudo-tag&tag	Precision & Recall	(3174 track, 764 artist)	Pseudo-tag&tag.
CAMRST [23]	✗	✓	✓	✗	✗	User rating	cosine similarity	CF, CA	Precision & Recall, F1	Last.fm (2747 users, 7805 items)	✗
RABCRS [24]	✓	✗	✗	✓	✗	User rating	Clustering	CF, Demo	Accuracy, Complexity	MovieLens (943 users, 1682 movies)	Clustering, ranking Aggregation
TIIREC [25]	✓	✓	✗	✗	✗	User rating	Bayesian personalized ranking	CF	Recall	Last.fm (1529 users, 8669 items), Yelp (16826 users, 14902 items)	Bayesian personalized ranking

achievements of the current proposed framework.

The quality of recommendations is increased when a recommender algorithm uses both content-based filtering and tag-based system along with acceptable number of tags [22]. According to the summarized information in Table 3, the excellence of proposed model is that SARSIS uses a tag-based system along with a content-based recommender system which totally can equally or more efficiently overcome the cold-start problem than the existing similar models. The more evaluation metrics including precision and recall, MAE and RMSE which were accomplished for SARSIS in comparison with the other models, proves that SARSIS has a better efficiency in terms of recommendation’s quality. The mechanism of proposed model benefits the advantages of four standard techniques (content-based, collaborative filtering, context-aware and demographic filtering) and as a result, more accurate recommendations are presented to the users.

Both Pearson correlation and kNN have been

used in the proposed model which helps find similarities faster than the other metrics [41]. Furthermore, SARSIS uses user rating which improves the quality of recommendations [17]. In the SARSIS framework, all of studied features, including genre, tag, social rank, time and location, have been utilized, while they have not been considered completely in the other similar models.

The results demonstrated that the effectiveness of the planned case study, as an example for the model, was satisfactory. For achieving this point, an assessment routine as the Mean Absolute Error was utilized and determined to express the exactness of the system. Despite the fact that the estimation of MAE for entire of the web application was not exceptionally low but rather it was promising and tolerable. One reason about the estimation of MAE which was somewhat moderately high after interacting with a portion of the users, was that there is no probability of finding and listening a review for a part of the music tracks.

It means that the there was no music preview

for the selected songs and it was a noise for the framework. Thus, they could not probably like those music tracks and as a result, the quantity of liked music tracks was diminished that affected straightforwardly in evaluating of MAE. Thus, if it was conceivable to choose a web service with more complete resources of music tracks, totally the estimation of MAE could be diminished appropriately. However, the issue was that after doing a research and looking at numerous sites as the sources of music tracks which could be utilized for playing the previews, the best decision among recognized sites was Spotify.

Additionally, in view of the Figure 11 and Figure 12, it was conceivable to see positive qualities for precision and recall for the users. Altogether, the outcomes and the accumulated information from user rates which mirrored their opinion about the proposed model, demonstrated that they were significantly satisfied about the quality of the recommendations. Along these lines, and based on the provided information, we can infer that if the model can be actualized on a social network and utilize semantic strategies to give ads, the outcomes will have enough performance for the business which uses the suggested framework.

## 8. Conclusion

In this study a hybrid recommender system framework was described including novel approaches to reduce the error of calculations. The popular problems in recommender systems comprise cold-start, scalability and sparsity that using tag-based, content-based and ranking aggregation techniques in the suggested recommender model, it was possible to overcome these problems. The main concentration in this study was the increment of accuracy for the recommendations that was possible to be accomplished using a semantic method along with the combination of four standard recommender technique. For increasing the probability of discovering recommendations which could be very similar to the user's exact expectations and interests, a semantically enriched solution was utilized while the classical recommender methods could not cope with such

important purpose properly. In this work, the actual relationships between concepts such as clients and products on social network were considered as the pure concept of semantic technology that can declare the user interests. By evaluating the experimental outcomes, a considerable value of user satisfaction was met. As the other strength point of the framework, the recommender system could feed the user opinions about the recommendations using a rating system and these feedbacks update the dataset so that the user's opinions are used in the next rounds of recommendation process for generating more accurate recommendations.

As a limitation of the study, there was not any dataset which can be matched to the framework's specification. Therefore, by developing an application, a new dataset from the social network last.fm as a case study was prepared and used for the evaluation of the research.

The last.fm is a popular social network with a high number of users and its data can be a suitable choice to be used for the proposed recommender framework. For implementing the recommender solution, a web application was developed and alongside, an extensive dataset including social network artists, music tracks and their metadata were gathered from last.fm. The social network profits a simple and easy to use RESTful API which could help in developing the web application. The superiority of gaining such robust dataset with huge number of records is that the users of web application can observe stable and logical results. For the future works, it is possible to: Firstly, specify a more complete security solution with different levels of access control for the recommender system, more than the existing single sign on system such as two factor authentication. Secondly, it is better to run the web application more times to obtain a higher volume of information by the user activities and consequently perform a more complete evaluation on the gathered data to get more satisfaction for the users. Thirdly, to represent more complete details of products to be shown for the users that can help users decide about rating the products more conveniently. Fourthly, in case of emerging

or finding any new social network in the future which can be suited to the proposed model, it is better to implement the model on more social network. The requirements for considering such social network would be usable API with simple syntax for development. Finally, it is interesting to run the model using other datasets.

## 9. References

- [1] T. Feltwell, C. Elsdén, J. Vines, and S. Lawson, “Monzo + IFTTT: Everyday Automation through Programmable Money,” in *Conference: CHI 2019 workshop on Everyday Automation Experience (AutomationXP’19)*, Glasgow, UK., 03 2019.
- [2] Y. Acikgoz, “Employee recruitment and job search: Towards a multi-level integration,” *Human Resource Management Review*, vol. 29, no. 1, March 2019.
- [3] A. Meroño-Peñuela, A. Ashkpour, M. van Erp, K. Mandemakers, L. Breure, A. Scharnhorst, S. Schlobach, and F. van Harmelen, “Semantic Technologies for Historical Research: A Survey,” *Semantic Web – Interoperability, Usability, Applicability an IOS Press JournalSearch*, vol. 6, no. 6, pp. 539–564 2012.
- [4] E. Karan and J. Irizarry, “Extending BIM interoperability to preconstruction operations using geospatial analyses and semantic web services,” *Automation in Construction*, vol. 53, pp. 1–12, 2015.
- [5] C. Martínez-Cruz, C. Porcel, J. Bernabe-Moreno, and E. Herrera-Viedma, “A model to represent users trust in recommender systems using ontologies and fuzzy linguistic modeling,” *Information Sciences*, p. 102–118, 2015.
- [6] O. Nilashi, M. and Ibrahi and K. Bagherifard, “A Recommender System Based on Collaborative Filtering Using Ontology and Dimensionality Reduction Techniques,” *Expert Systems with Applications*, vol. 92, pp. 507–520, 2017.
- [7] T. Thanapalasingam, F. Osborne, A. Birukou, and E. Motta, “The Semantic Web – ISWC 2018,” in *17th International Semantic Web Conference, Monterey, CA, USA, October 8–12, 2018, Proceedings, Part II*, D. Vrandečić, K. Bontcheva, M. C. Suárez-Figueroa, V. Presutti Irene, I. Celino, M. Sabou, L.-A. Kaffee, and E. Simperl, Eds. Springer, 2018, vol. 11137 LNCS, ch. Ontology-based recommendation of editorial products, pp. 341–358.
- [8] V. Espín, M. Hurtado, and M. Noguera, “Nutrition for Elder Care: A nutritional semantic recommender system for the elderly,” *Expert Systems*, vol. 33, no. 2, p. 201–210, 2015.
- [9] R. Principe, B. Spahiu, M. Palmonari, A. Rula, F. De Paoli, and A. Maurino, “The semantic web : ESWC 2018 satellite events, Heraklion, Crete, Greece, June 3-7, 2018 : revised selected papers,” in *Lecture notes in computer science*, A. Gangemi, Ed. Springer, 2018, vol. 11155, ch. ABSTAT 1.0: Compute, Manage and Share Semantic Profiles of RDF Knowledge Graphs, pp. 170–175.
- [10] D. Hanauer, D. Wu, L. Yang, Q. Mei, K. Murkowski-Steffy, V.G. Vydiswaran, and K. Zheng, “Development and Empirical User-Centered Evaluation of Semantically-based Query Recommendation for an Electronic Health Record Search Engine,” *Journal of Biomedical Informatics*, vol. 67, pp. 1–10, 017.
- [11] M. Niknam and S. Karshenas, “Integrating distributed sources of information for construction cost estimating using Semantic Web and Semantic Web Service technologies,” *Automation in Construction*, vol. 57, pp. 222–238, 2015.
- [12] S. Chuprina, V. Alexandrov, and N. Alexandrov, “Using Ontology Engineering Methods to Improve Computer Science and Data Science Skills,” *Procedia Computer Science*, vol. 80, pp. 1780–1790, 2016.
- [13] M. A. Chauhan, M. A. Babar, and Q. Z. Sheng, “A Reference Architecture for provisioning of Tools as a Service: Meta-model, Ontologies and Design Elements,” *Future Generation Computer Systems*, vol. 69, pp. 41–65, 2017.
- [14] F. Gandon, M. Sabou, H. Sack, C. D’Amato, P. Cudré-Mauroux, and A. Zimmermann, *The Semantic Web. Latest Advances and New Domains 12th European Semantic Web Conference, ESWC 2015, Portoroz, Slovenia, May 31 – June 4, 2015. Proceedings*. Springer, 2015, vol. LNCS 9088.
- [15] K. Ohei and R. Brink, “Web 3.0 and Web 2.0 Technologies in Higher Educational Institute: Methodological Concept towards a Framework Development for Adoption,” *International Journal for Infonomics*, vol. 12, no. 1, pp. 1841–1853, 2019.
- [16] M. Schatten, J. Ševa, and B. Okreša-Đurić, “. An Introduction to Social Semantic Web Mining & Big Data Analytics for Political Attitudes and Mentalities Research,” *European Quarterly of Political Attitudes and Mentalities*, vol. 4, no. 1, pp. 40–62, 2015.
- [17] X. Amatriain, J. Pujol, N. Tintarev, and N. Oliver, “Rate it again: Increasing recommendation accuracy by user re-rating,” in *Conference: Proceedings of the 2009 ACM Conference on Recommender Systems, RecSys 2009, New York, NY, USA, October 23-25, 2009*.
- [18] J. Hodges, K. Garcia, and S. Ray, “Semantic Development and Integration of Standards for Adoption and Interoperability,” *Computer*, vol. 50, no. 11, pp. 26–36, 2017.
- [19] A. Jamshidnezhad and M. D. Jan-Nordin, “Challenging of Facial Expressions Classification Systems: Survey, Critical Considerations and Direction of Future Work,” *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, vol. 4, no. 9, p. 1155–1165, 2011.
- [20] M. Rawashdeh, M. Shorfuzzaman, A. Artoli, M. S. Hossain, and A. Ghoneim, “Mining tag-clouds to

- improve social media recommendation,” *Multimedia Tools and Applications*, vol. 76, no. 20, p. 21157–21170, 2016.
- [21] R. Colomo-Palacios, F. García-Peñalvo, V. Stantchev, and S. Misra, “Towards a social and context-aware mobile recommendation system for tourism,” *Pervasive and Mobile Computing*, vol. 38, no. 2, p. 505–515, 2017.
- [22] B. Horsburgh, S. Craw, and S. Massie, “Learning pseudo-tags to augment sparse tagging in hybrid music recommender systems,” *Artificial Intelligence*, vol. 219, p. 25–39, 2015.
- [23] M. Alhamid, M. Rawashdeh, M. Hossain, A. Alelaiwi, and A. El Saddik, “Towards context-aware media recommendation based on social tagging,” *Journal of Intelligent Information Systems*, vol. 46, p. pages499–516, 2016.
- [24] S. Lestari, T. B. Adji, and A. E. Permanasari, “Performance Comparison of Rank Aggregation Using Borda and Copeland in Recommender System,” in *2018 International Workshop on Big Data and Information Security (IWBIS)*, Jakarta, 2018, pp. 69–74.
- [25] L. Yu, J. Huang, G. Zhou, C. Liu, and Z.-K. Zhang, “TIIREC: A Tensor Approach for Tag-Driven Item Recommendation with Sparse User Generated Content,” *Information Sciences*, vol. 411, p. 122–135, 2017.
- [26] A. Jamshidnezhad, A. Azizi, S. Shirali, S. Rekabeslamizadeh, M. Haddadzadeh, and Y. Sabaghan, “Evaluation of Suspected Pediatric Appendicitis with Alvarado Method Using a Computerized Intelligent Model,” *International Journal of Pediatrics*, vol. 4, no. 3, 2016.
- [27] A. Pazahr, J. J. Samper-Zapater, F. García-Sánchez, C. Botella, and R. Martínez, “Semantically-enhanced advertisement recommender systems in social networks,” in *iiWAS '16: Proceedings of the 18th International Conference on Information Integration and Web-based Applications and Services November 2016 Pages 179–189*, 2016, p. 179–189.
- [28] F. O. Isinkaye, Y. O. Folajimi, and B. A. Ojokoh, “Recommendation systems: Principles, methods and evaluation,” *Egyptian Informatics Journal*, vol. 16, no. 3, pp. 261–273, 2015.
- [29] F. Isinkaye, Y. O. Folajimi, and B. Ojokoh, “Recommendation systems: Principles, methods and evaluation,” *Egyptian Informatics Journal*, vol. 16, no. 3, pp. 261–273, 2015.
- [30] R. Logesh, V. Subramaniaswamy, M. Devarajan, N. Senthilselvan, A. Sasikumar, S. Palani, and G. Manikandan, “Dynamic particle swarm optimization for personalized recommender system based on electroencephalography feedback,” *Biomedical Research (India)*, vol. 28, pp. 5646–5650, 2017.
- [31] R. Katarya and O. Verma, “A collaborative recommender system enhanced with particle swarm optimization technique,” *Multimed Tools Appl*, vol. 75, p. 9225–9239, 2016.
- [32] L. Piras and G. Giacinto, “Information fusion in content based image retrieval: A comprehensive overview,” *Information Fusion*, vol. 37, pp. 50–60, 2017.
- [33] A. Ghabayen and S. A. Mohd Noah, “Using Tags for Measuring the Semantic Similarity of Users to Enhance Collaborative Filtering Recommender Systems,” *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology (IJASEIT)*, vol. 7, pp. 2063–2070, 2017.
- [34] Y. Lei, L. Chen, and Z. Guan, “Cloth Recommender System Based on Item Matching,” *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 533, no. 1, p. 012044, 2019.
- [35] M. Scholz, V. Dorner, G. Schryen, and A. Benlian, “A configuration-based recommender system for supporting e-commerce decisions,” *European Journal of Operational Research*, vol. 259, no. 1, pp. 205–215, 2017.
- [36] H.-J. Xue, X. Dai, J. Zhang, S. Huang, and J. Chen, “Deep Matrix Factorization Models for Recommender Systems,” in *Proceedings of the Twenty-Sixth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-17)*, 2017, p. 3203–3209.
- [37] H. Lim and H.-J. Kim, “Item recommendation using tag emotion in social cataloging services,” *Expert Systems with Applications*, vol. 89, pp. 179–187, 2017.
- [38] N. Hariri, B. Mobasher, and R. Burke, “Using social tags to infer context in hybrid music recommendation,” in *WIDM '12: Proceedings of the twelfth international workshop on Web information and data management*, November 2012, p. 5.
- [39] U. Boryczka and M. Bałchanowski, “Differential Evolution in a Recommendation System Based on Collaborative Filtering,” in *Computational Collective Intelligence. ICCCI 2016. Lecture Notes in Computer Science*, N. Nguyen, L. Iliadis, Y. Manolopoulos, and B. Trawiński, Eds. Springer, Cham, 2016, vol. 9876.
- [40] P. S. da Conceição-Moreira and D. Fukumi-Tsunoda, “LAST.FM Songs Database: A Database for Musical Genre Classification,” *Inst. Syst. Technol. Information, Control Commun.*, 2018.
- [41] D. Wei, M. Chun, and W. Qing, “Autonomous Learning Recommendation Algorithm Based on K-Means and K-Nearest Neighbor,” in *International Conference on Applications and Techniques in Cyber Intelligence ATCI 2019*, 2019, pp. 1235–1244.

# Organo-clay material as coalescer oil filter in the treatment of oil production waters

Johnny Bullón <sup>\*,a</sup> , Jesús David Prato <sup>a</sup> , Victoria Mousalli <sup>a,b</sup> ,  
Franklin Salazar <sup>a</sup> , Leonardo Rennola <sup>c</sup> 

<sup>a</sup>Laboratorio de Formulación, Interfases, Reología y Procesos (FIRP), Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela.

<sup>b</sup>Departamento de Geología General, Escuela de Ingeniería Geológica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela.

<sup>c</sup>Laboratorio de Mezclado, Separación y Síntesis Industrial (LMSSI), Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela.

**Abstract.-** A crude oil coalescent filter was constructed for treating oil production waters using clay material from the Venezuelan Andes region. The clay minerals were burned and their surfaces treated with a mixture of cationic and nonionic surfactant. After the treated clays were used as a filling material in the vertical adsorption column, in which synthetic waters of oil production were circulated. The results indicate that when the production waters goes through the clays filters, the oil droplets size increases showing that these clays are able to induce the coalescence of oil drops.

**Keywords:** clay; filters; oils production water; coalescence.

## Material organo-arcilloso como filtro coalescedor de crudo en el tratamiento de aguas de producción petrolera

**Resumen.-** Se construyó un filtro coalescedor de crudo para aguas de producción petrolera, utilizando material arcilloso de la región de los Andes venezolanos. Las arcillas fueron calcinadas y se les realizó un tratamiento superficial de hidrofobación, con una mezcla de surfactantes catiónico y no iónico. El material arcilloso obtenido se utilizó como relleno de una columna de adsorción vertical, a través de la cual se hizo circular aguas sintéticas de producción petrolera. Los resultados indican que al pasar las aguas de producción por el filtro, las gotas de crudo aumentan sus tamaños de partículas, demostrando así que las arcillas empleadas son materiales adecuados para la coalescencia de las gotas de petróleo.

**Palabras clave:** arcilla; filtros; aguas de producción petrolera; coalescencia.

Recibido: 10 de febrero, 2020.

Aceptado: 27 de abril, 2020.

### 1. Introducción

Las aguas aceitosas provenientes de procesos de la industria petrolera, petroquímica, alimentos, metalúrgica y minera, son unos de los principales problemas ambientales a nivel mundial debido a que corresponden a residuos de producción regular que requieren de tratamientos especiales para su disposición venial en cuerpos de agua. La

industria petrolera particularmente genera aguas aceitosas en todas sus etapas, desde la producción hasta procesos de distribución y expendio [1, 2]. Especialmente durante el proceso de producción petrolera, se generan grandes volúmenes de aguas asociadas al crudo, denominadas *aguas de producción petrolera*. Estas aguas, luego de separadas del crudo en los tanques sedimentadores, en los separadores API y algunos procesos de flotación, entre otros procesos [3], contienen cantidades inferiores a 200 ppm de crudo y tamaños de gotas cercanos a un micrómetro. Estas diminutas gotas de crudo proporcionan al agua una gran turbidez. Su tratamiento con agentes floculantes

\* Autor para correspondencia:

Correo-e: jbullon@ula.ve (J. Bullón)

se hace difícil, pues debido a la baja concentración de partículas son poco probables las interacciones entre las gotas para propiciar la coalescencia de las mismas. Es por ello que los tratamientos recomendados sean físicos, como la flotación por microburbujas de aire, filtración con membranas, filtros de arenas y filtros coalescedores [4]. Los filtros coalescedores son dispositivos creados para facilitar la coalescencia de las gotas dispersas en una fase en la que no es miscible, puede ser una fase polar o apolar. En la literatura especializada se encuentran numerosos trabajos sobre filtros coalescedores con rellenos oleofobos e hidrófobos, dependiendo de la aplicación requerida. En una gran parte de estos trabajos la aplicación se refiere a la eliminación de pequeñas gotas de agua en hidrocarburos [5, 6, 7, 8, 9]. En nuestro caso, se corresponde a emulsiones diluidas de gotas de aceite en agua que simulan aguas de producción petrolera (Figura 1). La tecnología de filtros coalescedores representa bajos costos de inversión en materiales renovables, bajo consumo de energía y son utilizados en las primeras etapas de separación para el tratamiento de hidrocarburos y sus derivados. Generalmente cumplen dos funciones: primero, coalescen (combinan) las pequeñas gotas de hidrocarburos emulsificadas en agua, muy dispersas, en gotas de mayor tamaño, y segundo, en algunos casos, retienen los contaminantes en forma de partículas. El funcionamiento y la eficiencia de los filtros coalescedores depende de: los materiales de relleno, la mojabilidad, el diámetro de poro del material filtrante, las características de los fluidos a separar, y de las condiciones de operación del proceso [10].

A partir de esto, muchas investigaciones siguen haciendo el esfuerzo por mejorar la eficiencia en la separación a través de nuevos materiales amigables con el ambiente como sólidos micronizados, granulados o aglomerados (arcillas y arcillas organofílicas, polímeros y resinas, fibra de vidrio), fibras de origen vegetal y sintéticas (fibras de celulosa, bagazo de caña, conchas de granos y aserrín) [11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19], nuevas formas y estructuras de coalescedores (relación de altura, ancho o diámetro, mojabilidad, etc)

### Tratamiento de aguas residuales (emulsiones O/W)

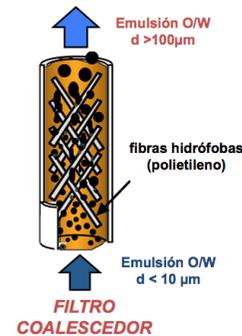


Figura 1: Principio del funcionamiento de un filtro coalescedor de emulsiones [5].

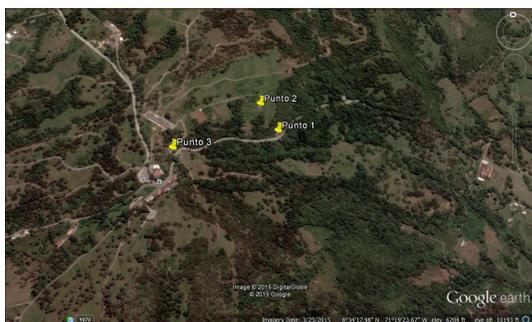
[17, 20, 21], variando las condiciones de operación (velocidad superficial) [22] y considerando las características de la emulsión (concentración de la emulsión, tamaño de gota, características del surfactante) [23]. Debido a que aun no están muy claros los mecanismos de coalescencia, la optimización de estos sistemas están determinados por el ensayo o las pruebas experimentales. En el presente estudio se propone el uso de arcillas tratadas con una mezcla de surfactantes (catiónico-no iónico), como relleno para filtros coalescedores. El objetivo, es generar un material que promueva la coalescencia de las diminutas gotas de crudo en su superficie y salgan del filtro con un mayor tamaño, que permita luego su separación.

## 2. Metodología

### 2.1. Selección y acondicionamiento del material de relleno

Se tomaron muestras de rocas de 3 afloramientos diferentes de la Formación Colón, en la vía a la población de Jají, estado Mérida. Las coordenadas de las zonas de muestreo se encuentran indicadas en la Figura 2. El primer punto (afloramiento 1), posee latitud  $8^{\circ}34'21.29''N$  y longitud  $71^{\circ}19'22.73''E$ ; para el punto 2 (afloramiento 2) se tiene latitud  $8^{\circ}34'24.30''N$  y longitud  $71^{\circ}19'24.40''E$ ; finalmente, para el punto 3 (afloramiento 3) se tiene altitud  $8^{\circ}34'19.18''N$  y longitud  $71^{\circ}19'33.57''E$ .

Las muestras de rocas fueron trituradas durante 15 minutos en un molino de bola marca Retsch



(Fuente: Google Earth)

Figura 2: Ubicación de las coordenadas geográficas de los puntos de muestreo.

(Alemania), modelo MM2, en cargas de 5 gramos. Una vez molidas las muestras, se clasificaron en un tamizador marca Tyler, modelo RX-29, con un tamiz de 200 mesh. Con cada una de las muestras molidas y tamizadas se preparan masas moldeables, generadas por medio de la mezcla de 100 gramos de cada material arcilloso con 40 mL de agua destilada. Estas suspensiones acuosas se moldean por medio de una jeringa de 60 mL sin aguja, para darle una forma alargada y cilíndrica, la cual se cortan con dimensión aproximada de 1 centímetro de largo, (Figura 3), y se deja secar alrededor de 20 horas a temperatura ambiente. Luego que las estructuras están secas, se procede a calcinarlas en una mufla a 800 °C durante 3 horas. Esto se realiza con el fin de generar en las muestras una estructura estable y compacta, que le permita no disolverse en contacto con el agua. Una porción de cada muestra fue triturada y tamizada de nuevo, y fueron caracterizadas por espectrofotometría infrarrojo en espectrofotómetro FTIR Bruker, modelo Tensor 27, con adaptador ATR (attenuated total reflectance) modelo MIRacle de Pike Technologies. Igualmente, fueron caracterizadas por difracción de rayos X con un difractómetro Siemens D5005, equipado con un tubo de rayos-X con radiación de Cobre (CuKalfa).

### 2.1.1. Tratamiento superficial

Una vez calcinadas y moldeadas las muestras, se le realiza un tratamiento superficial por adsorción de una mezcla de surfactantes. Este procedimiento se realiza con el fin de modificar parcialmente la



Figura 3: Cilindros de arcillas de 3 mm de largo

mojabilidad de la superficie de las arcillas. Para ello las muestras se colocan en contacto durante 10 horas con una disolución acuosa que contiene una mezcla de surfactantes catiónicos (Prepagen de Clariant) y no iónicos (alcoholes etoxilados de Oxiteno Andina). Al pasar las 10 horas, se filtran las muestras y se dejan secar a temperatura ambiente por 48 horas. Estas muestras conforman el relleno del filtro coalescedor.

## 3. Preparación de la dispersión de crudo en agua

Se preparó un volumen de un litro de una dispersión de crudo en agua destilada. Para ello, se procede a realizar una solución madre; es decir, una muestra de concentración de crudo elevada alrededor de 600 ppm con la finalidad de poder diluir la muestra madre, para obtener concentraciones inferiores que pudiesen variar desde 20 hasta 100 ppm. Como agente dispersante, se utiliza el pirofosfato de sodio ( $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ) en una concentración del 1 % p/p. En este sentido, la preparación de la dispersión se realiza utilizando los siguientes instrumentos: Agitador Ultraturrax IKA. Pirofosfato de sodio, crudo venezolano (Rosa mediano) con agua destilada. La dispersión se obtiene mezclando el agua, el pirofosfato de sodio y el crudo, agitando en el ultraturrax durante

5 min a 2000 rpm. En la Tabla 1, se muestran las características del crudo utilizado.

Tabla 1: Propiedades del los crudo utilizado

Características	Rosa Mediano
Viscosidad a 100 °F (cSt)	49,34
Gravedad API	24,6
Contenido de asfaltenos (%)	4,3

### 3.1. Pruebas de filtración de aguas de producción petroleras (sintéticas)

Se instaló un piloto experimental para realizar las pruebas de filtración de las aguas de producción petroleras sintéticas, con la utilización del filtro coalescedor. Para ello se dispone de un vaso de precipitado de 1 L, en el cual se vierte el agua sintética de producción petrolera. Este recipiente se mantiene agitado mediante un agitador magnético. Se dispone de una bomba peristáltica, marca Amicon (Grace Company), modelo LP-1. El filtro coalescedor se construye con una columna de vidrio de 2 cm de diámetro y 20 cm de altura, las cuales se rellenan con cada una de las arcillas tratadas superficialmente. Como se muestra en la Figura 4.

El vaso, la bomba peristáltica y la columna de relleno se conectan entre ellos con tuberías de tygón. El esquema del circuito se muestra en la Figura 5.

Para las pruebas de filtración, se hace circular el agua de producción petrolera sintética mediante la bomba peristáltica, manteniendo un flujo de 0,5 L/min, a través de la columna. El líquido se recircula al tanque de alimentación (circuito cerrado). El proceso de filtración se realiza durante 60 minutos. Se toman muestras del agua alimentada y luego de transcurrida una hora de iniciado el proceso de filtración. A las muestras de agua de producción petrolera se les determina la distribución de tamaño de gotas de crudo con el medidor de tamaño MasterSizer, modelo Hydro 2000MU de la empresa Malvern. Se reportan diámetros en volumen  $Dv(0,1)$ ,  $Dv(0,5)$ ,  $Dv(0,9)$  y la amplitud de la distribución (span).



Figura 4: Columna empacada con arcillas (filtro coalescedor)

#### 3.1.1. Medidas de ángulo de contacto de las arcillas

El ángulo de contacto entre el agua y la superficie de las arcillas se determinó, antes y después de tratada con la mezcla de surfactantes (catiónico y no iónico). Para ello se utilizaron muestras de arcillas calcinadas, trituradas y tamizadas, con y sin

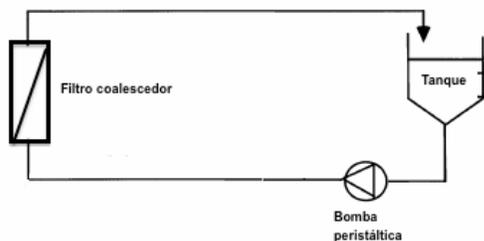


Figura 5: Esquema del circuito de filtración.

tratamiento con la mezcla de surfactantes catiónico, antes y después del proceso de filtración del agua de producción petrolera. La determinación se realiza aplicando el método de ascenso capilar Washburn [24, 25], utilizando el tensiómetro Kruss, modelo K100. Se considera el n-hexano como líquido de referencia para caracterizar el medio poroso por el que se produce el ascenso capilar. Es importante resaltar, que al considerar el n-hexano como referencia se establece como fluido de mojabilidad completa, por ende considera que el ángulo de contacto es cero.

## 4. Resultados

### 4.1. Caracterización de las de muestras

Las muestras de roca o sustrato utilizadas en esta investigación corresponden a tres afloramientos de la Formación Colón, cuya ubicación geográfica se describió anteriormente. De manera general, esta formación geológica de edad Cretácica y distribuida en el Flanco Surandino (Figura 6) es descrita en el Léxico Estratigráfico de Venezuela (L.E.V. II, 1970), como unas lutitas microfósilíferas gris oscuro a negras, macizas, piríticas y ocasionalmente micáceas o glauconíticas, con margas y capas de caliza subordinada. En el área de estudio, en los afloramientos 1, 2 y 3 corresponden a una secuencia sedimentaria lutítica, altamente friables, de color gris oscuro a marrón oscuro, con bajo grado de meteorización, realizándose pruebas de efervescencia con solución de ácido clorhídrico (1M) para determinar in situ la presencia de carbonato de calcio, para lo cual sólo las muestra del Afloramiento 3 fueron positivas al contacto con el ácido.

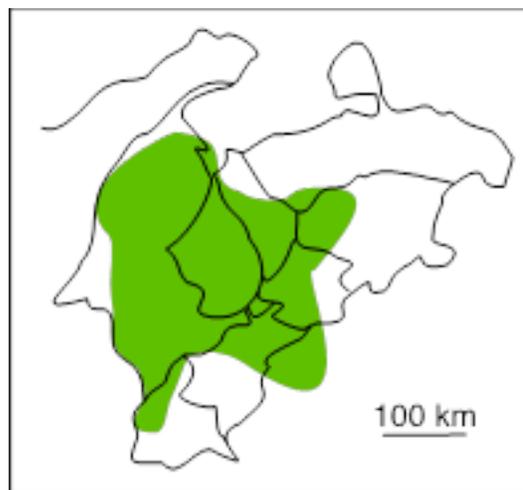


Figura 6: Ubicación y distribución geográfica de la Formación Colón (formación geológica de edad Cretácica en el Flanco Surandino, en Venezuela).

Para complementar la caracterización de las muestras se realizaron análisis por espectrofotometría de infrarrojo (FTIR-ATR) y difracción de rayos X. La Figura 7 presenta los espectros de FTIR de los Afloramientos. En estos espectros se pueden observar las bandas características para minerales siliciclásticos de arcilla que corresponden principalmente al enlace Si-O, con banda de absorción  $1050\text{ cm}^{-1}$  correspondiente a tensión asimétrica, banda entre  $800$  y  $780\text{ cm}^{-1}$  correspondiente a tensión simétrica. También se presenta la banda de absorción en  $694,05\text{ cm}^{-1}$  que evidencia la presencia de silicato en forma cristalina (Cuarzo) [26].

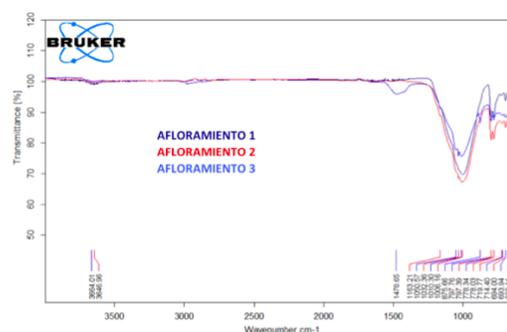


Figura 7: Espectro de infrarrojo de muestras de afloramiento de la Formación Colón.

La presencia de aluminosilicatos se evidencia por la banda de absorción en  $3646,63\text{ cm}^{-1}$

asociada a la tensión en enlace OH–Al y la banda ancha en aproximadamente  $1000\text{ cm}^{-1}$  correspondiente a la tensión de enlaces Si–O–Al.

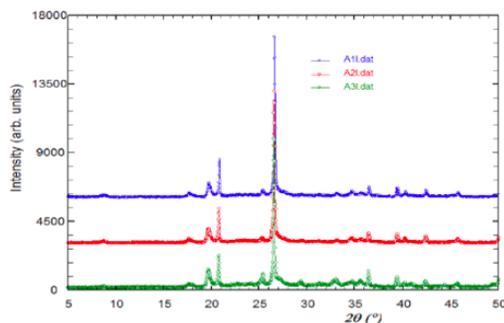


Figura 8: Espectro de difracción de rayos X de muestras de afloramiento de la Formación Colón.

Particularmente, en el Afloramiento 3 se observan dos bandas de absorción que evidencian la presencia de carbonato de calcio, una banda ancha de baja intensidad un valor máximo en  $1478\text{ cm}^{-1}$ , que podría estar asociada a la tensión asimétrica y una banda intensa en  $875\text{ cm}^{-1}$  asociada a flexión fuera del plano. Existe una banda débil en  $714\text{ cm}^{-1}$  que podría asociarse a flexión dentro del plano, característica de formas cristalinas de carbonato de calcio [27, 28].

Correspondiendo con este análisis, el espectro de difracción de rayos X que se muestra en la Figura 8, evidencia señales características de especies cristalinas de los afloramientos, entre estas, la de mayor intensidad en  $20,9$  y  $26,65\ 2(\theta)$  correspondiente a cuarzo,  $8,9$  y  $19,8\ 2(\theta)$  que podrían sugerir la presencia de formas cristalinas de material arcilloso como la illita, y específicamente en el Afloramiento 3, una señal en  $29,5\ 2(\theta)$  que evidencia la presencia de carbonato de calcio en su forma cristalina como calcita [29].

#### 4.2. Ángulos de contacto

En la Tabla 2 se muestran los valores de los ángulos de contacto obtenidos para las muestras minerales de los 3 afloramientos, calcinadas a  $800\text{ °C}$ , tratadas con la solución de surfactantes y posterior a la filtración de las aguas de producción petrolera.

En la Tabla 2 se puede observar que los ángulos de contacto varían según el tipo Afloramiento

Tabla 2: Ángulo de contacto para los afloramientos tratados

Afloramiento	Calcinación a $800\text{ °C}$	Tratado con surfactantes. (antes filtración)	Con crudo adsorbido (luego de filtración)
1	$88,99^\circ$	$81,67^\circ$	$85,09^\circ$
2	$75,33^\circ$	$90,00^\circ$	$87,03^\circ$
3	$59,90^\circ$	$77,35^\circ$	$89,91^\circ$

y depende del tratamiento y procesamiento que haya recibido éste. Considerando la calcinación, se observa que el sustrato más hidrofílico es el afloramiento 3 con  $59,90^\circ$  y el menos hidrofílico es el afloramiento 1 con  $88,99^\circ$ . El afloramiento 2 tendría una mojabilidad intermedia. En términos generales, el tratamiento superficial con los surfactantes produce un aumento del ángulo de contacto que se reconoce como una hidrofobación de la superficie. Aunque para el afloramiento 1 se observe una leve disminución del ángulo, se puede considerar que se mantiene en el intervalo de la mojabilidad intermedia.

El cambio de mojabilidad es promovido por la adsorción de los surfactantes sobre la superficie del mineral. Si consideramos que los sustratos en estudio son superficialmente heterogéneos, la presencia de diferentes especies cristalinas y probablemente no cristalinas determinan niveles de interacción con la fase acuosa, la mojabilidad del sustrato se califica como mixta. En este caso, la presencia de silicatos, aluminosilicatos e incluso carbonatos determinan una alta afinidad por la fase acuosa. Por otro lado, inicialmente el mecanismo de adsorción del surfactante iónico sobre el sustrato mineral es del tipo interacción electrostática, debido a la atracción entre las cargas positivas asociadas al surfactante catiónico y las cargas negativas asociadas al sustrato mineral, específicamente sobre silicatos y aluminosilicatos que desarrollan carga negativa a las condiciones fisicoquímicas de las aguas de producción [30, 31, 32]. Posteriormente, a medida que aumenta la adsorción de surfactante, el mecanismo cambia y se corresponde a la adsorción por asociación, controlado principalmente por la formación de

agregados micelares y adsorción de micelas sobre la superficie. Es en esta etapa donde se favorece la adsorción del surfactante no iónico y se genera la condición donde probablemente se alcance el mayor grado de hidrofobación [33, 34].

Los valores de ángulo de contacto alcanzados con crudo adsorbido se corresponden con sustratos más hidrofobados, debido obviamente a la adherencia de crudo sobre la arcilla tratada. Es importante señalar que el Afloramiento 3 presenta el mayor aumento del ángulo de contacto debido probablemente a la mayor afinidad que tiene el crudo el sustrato relacionado con la presencia de calcita en la muestra. Algunas referencias determinan que la mayor afinidad del mineral de calcita por hidrocarburos se debe fundamentalmente a la interacción de la carga positiva que desarrolla la superficie del carbonato de calcio y el carácter aniónico de fracciones del crudo que poseen grupos carboxílicos [35, 36, 37].

En la Tabla 3, se muestran las distribuciones de los tamaños de gotas (en  $\mu\text{m}$ ) de las diferentes dispersiones de crudo, antes y después de las pruebas de filtración.

Tabla 3: Distribuciones de los tamaños de gotas de las aguas de producción sintéticas a la entrada y salida de las pruebas de filtración sobre los filtros coalescedores. (Diámetros en volumen)

Muestra de agua	Dv(0,1) ( $\mu\text{m}$ )	Dv(0,5) ( $\mu\text{m}$ )	Dv(0,9) ( $\mu\text{m}$ )	Span ( $\mu\text{m}$ )
Afloramiento 1 Entrada	0,662	6,808	32,906	4,736
Afloramiento 1 Salida	0,094	0,870	28,483	32,640
Afloramiento 2 Entrada	0,140	1,607	35,268	21,861
Afloramiento 2 Salida	0,109	7,579	82,333	10,849
Afloramiento 3 Entrada	0,117	1,268	28,438	22,336
Afloramiento 3 Salida	0,099	1,172	100,433	85,628

En la Tabla 3 se puede observar, que las dispersiones de crudo en agua a la entrada y a la salida del filtro coalescedor presentan cambios a nivel de la distribución de tamaño de partícula evidenciado por los cambios en los

parámetros estadísticos Dv(0,1), Dv(0,5), Dv(0,9) y Span. Para el Afloramiento 1, todos los valores de Dv(0,1), Dv(0,5), Dv(0,9) disminuyeron respecto de los valores presentados antes de la filtración lo que infiere que la coalescencia es ineficiente. El aumento del valor del Span se debe fundamentalmente al aumento en la diferencia entre el Dv(0,1) y Dv(0,9), sin que esto esté realmente asociado a un proceso de aglomeración de gotas. En el Afloramiento 2 los valores Dv(0,5) y Dv(0,9) aumentan, evidenciando coalescencia. El cambio mas importante lo tiene el Dv(0,9) desde 35,26 micrómetros hasta 82,33 micrómetros de diámetro de gota. El Span disminuye debido fundamentalmente al aumento en el Dv(0,5), sugiriendo un proceso de coalescencia incompleto. Si bien los mecanismos de coalescencia en filtros son muy complejos, ya que depende de las interacciones interfaciales entre las gotas y el sustrato, un aumento insuficiente del tamaño puede asociarse a la baja disponibilidad hacia sitios hidrofobados que promuevan la aglomeración de gotas de aceite [23, 38, 39]. El Afloramiento 3 presenta cambios despreciables en Dv(0,1) y Dv(0,5) y muy apreciable en el Dv(0,9) de 28,43 micrómetros hasta 100,43 lo que evidencia la coalescencia. El Span aumenta de 22,33 hasta 85,62 debido fundamentalmente al aumento del número de partículas de gran tamaño que se diferencia apreciablemente de las mas pequeñas que están por debajo de Dv(0,5). La mejora apreciable en la coalescencia de las gotas de crudo se produce en el afloramiento 3 que corresponde a un sustrato que favorece la mojabilidad por la fase oleosa debido a la presencia del carbonato de calcio [40, 41, 42]. Es probable que si existe mayor afinidad del sustrato por la fase oleica, se aumente la disponibilidad de sitios hidrofobados que permitan la adherencia de las gotas de crudo y el sucesivo aumento de la coalescencia por la cohesión entre las gotas [4].

## 5. Conclusiones

Las arcillas calcinadas y tratadas con la mezcla de surfactantes (catiónico y no iónico) pueden servir de relleno en filtros coalescedores.

Considerando que se mantuvieron en cada filtro las mismas condiciones hidrodinámicas de flujos, la coalescencia está determinada por las características superficiales del material de relleno. En este sentido, se concluye que el tratamiento superficial aplicado a las arcillas de un lecho empacado pueden contribuir en el proceso filtración, incrementando el tamaño de las gotas de crudo disperso en agua. La aglomeración y aumento del tamaño de las gotas de crudo disperso en el agua, puede ayudar en un posterior procedimiento de separación por flotación, por lo que actúa como un filtro coalescedor.

## 6. Agradecimientos

Los autores agradecen a la Prof<sup>a</sup>. Asiloé Mora, del Laboratorio de Cristalografía de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Los Andes, por su contribución en los análisis de los espectros de difracción de rayos X de las muestras de arcillas.

## 7. Referencias

- [1] A. Srinivasan and T. Viraraghavan, "Removal of oil by walnut shell media," *Bioresource Technology*, vol. 99, no. 17, p. 8217–8220, 2008.
- [2] R. K. Gupta, G. J. Dunderdale, M. W. England, and A. Hozumi, "Oil/water separation techniques: a review of recent progresses and future directions," *Journal of Material Chemistry*, vol. 5, pp. 16 025–16 058, 2017.
- [3] L. Rennola, F. Salazar, A. Cárdenas, J. Bullón, y L. González, "Filtración de emulsiones crudo/agua con membranas poliméricas: influencia de las interacciones interfaciales," *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, vol. 30, pp. 410–418, 2007.
- [4] L. Hui-qing and B. Zhi-shan, "Investigation of O/W emulsion separation and redispersion using fibrous PTFE bed coalescer," *Separation Science and Technology*, vol. 54, no. 7, pp. 1221–1232, 2019.
- [5] J. Salager, *El mundo de los surfactantes. Módulo de enseñanza de fenómenos interfaciales*. Mérida, Venezuela: Laboratorio FIRP Universidad de los Andes, 1992.
- [6] A. Gadhav, S. Mehdizadeh, and G. Chase, "Effect of pore size and wettability of multilayered coalescing filters on water-in-ULSD coalescence," *Separation and Purification Technology*, vol. 221, no. 15, pp. 236–248, 08 2019.
- [7] Z. Lu, Z. Bai, H. Luo, Z. Hu, and F. Pang, "Effect and optimization of bed properties on water-in-oil emulsion separation," *Journal of Dispersion Science and Technology*, vol. 40, no. 3, pp. 415–424, 2018.
- [8] F. Chen, Z. Ji, and Q. Qi, "Effect of pore size and layers on filtration performance of coalescing filters with different wettabilities," *Separation and Purification Technology*, vol. 201, no. 7, pp. 71–78, 2018.
- [9] C. Chang, Z. Ji, and J. Liu, "The effect of a drainage layer on saturation and liquid distribution of oleophobic coalescence filters," *Separation and Purification Technology*, vol. 194, pp. 355–361, 2018.
- [10] L. Zhaojin, B. Zhishan, L. Huiqing, H. Ziqiang, and P. Fulong, "Effect and optimization of bed properties on water-in-oil emulsion separation," *Journal of Dispersion Science and Technology*, vol. 40, no. 3, pp. 415–424, 2019.
- [11] R. Wahi, A. Luqman Chuah, T. Choong, Z. Ngaini, and M. Nourouzi, "Oil removal from aqueous state by natural fibrous sorbent: An overview.," *Separation and Purification Technology*, vol. 13, pp. 51–63, 2013.
- [12] A. Pachathu, K. Ponnusamy, and S. K. V. Ramanan Srinivasan, "Packed bed column studies on the removal of emulsified oil from water using raw and modified bagasse and corn husk." *Journal of Molecular Liquids*, vol. 223, pp. 1256–1263, 2016.
- [13] H. Moazed and T. Viraraghavan, "Coalescence/Filtration of an oil-in-water emulsion in a granular organo-clay/anthracite mixture bed," *Water, Air, and Soil Pollution*, vol. 138, pp. 253–270, 2002.
- [14] J. Li and Y. Gu, "Coalescence of oil-in-water emulsions in fibrous and granular beds," *Separation and Purification Technology*, vol. 42, pp. 1–13, 2005.
- [15] A. Cambiella, E. Ortea, and J. M. Benit, "Treatment of oil-in-water emulsions: performance of a sawdust bed filter." *Journal of Hazardous Materials*, vol. 131, no. (1-3), pp. 195–199, 2005.
- [16] Y. Zhou, L. Chen, X. Hu, and J. Lu, "Modified Resin Coalescer for Oil-in-Water Emulsion Treatment: Effect of Operating Conditions on Oil Removal Performance," *Industrial Engineering Chemistry Research*, vol. 48, no. 3, pp. 1660–1664, 2009.
- [17] L. Hao, Q. Yang, X. Xu, and H.-L. Wang, "Effect of the Mixed Oleophilic Fibrous Coalescer Geometry and the Operating Conditions on Oily Wastewater Separation," *Chemical Engineering Technology*, vol. 39, no. 2, pp. 255–262, 2016.
- [18] D. Hu, L. Li, Y. Li, and C. Yang, "Fibrous Coalescer for the Treatment of Hydrometallurgical Oil Dispersions," *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 55, no. 44, pp. 11 809–11 817, 2016.
- [19] C. Chang, Z. Ji, and J. Liu, "The effect of a drainage layer on the saturation of coalescing filters in the filtration process.," *Chemical Engineering Science*, vol. 160, pp. 354–361, 2017.
- [20] R. Sokolović, T. Vulic, and S. Sokolovic, "Effect of bed length on steady-state coalescence of oil-in-water emulsion," *Separation and Purification Technology*,

- vol. 56, pp. 79–84, 2007.
- [21] N. Chawaloesphonsiya and P. Painmanakul, “Study of cutting-oil emulsion separation by coalescer process in terms of medium characteristics and bed packing,” *Separation Science and Technology*, vol. 49, pp. 2960–2967, 2014.
- [22] W. Gu, S. Yan, and Z. Bai, “A Study on a droplet impact on a fiber during coalescence separation: phenomena and models,” *Chemical Engineering Science*, vol. 212, 2019.
- [23] S. Maiti, I. Mishra, S. Bhattacharya, and J. Joshi, “Removal of oil from oil-in-water emulsion using a packed bed of commercial resin,” *Colloids and Surfaces A: Physicochem and Engineering aspects*, vol. 389, pp. 291–298, 2011.
- [24] A. Sielborld, A. Walliser, M. . Nardim, M. Oppliger, and J. Schultz, “Capillary rise for thermodynamic characterization of solid particle surface,” *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 186, no. 1, pp. 60–70, 1997.
- [25] A. Alghunaim, S. Kirdponpattara, and B. Z. Newby, “Techniques for determining contact angle and wettability of powders,” *Powder Technology*, vol. 287, pp. . 201–215, 2016.
- [26] C. Muller, B. Pejicic, L. Esteban, C. Paniel, M. Raven, and M. Mizaikoff, “Infrared Attenuated Total Reflectance Spectroscopy: An Innovative Strategy for Analyzing Mineral Components in Energy Relevant Systems,” *Scientific Reports*, vol. 4, pp. 1–11, 2014.
- [27] F. Bosch, J. Gimeno, and M. Moya, “FTIR Quantitative Analysis of Calcium Carbonate (Calcite) and Silica (Quartz) Mixtures Using the Constant Ratio Method. Application to Geological Samples,” *Talanta*, vol. 58, no. 4, pp. 811–821, 2002.
- [28] B. Saikia, G. Parthasarathy, and S. N.C., “Fourier transform infrared spectroscopic estimation of crystallinity in SiO<sub>2</sub> based rocks,” *Bulletin of Materials Science*, vol. 31, no. 5, pp. 775–779, 2008.
- [29] S. Al-Jaroudi, A. Ul-Hamid, A. Mohammed, and S. Saner, “Use of X-ray powder diffraction for quantitative analysis of carbonate rock reservoir samples,” *Powder Technology*, vol. 175, no. 3, pp. 115–121, 2007.
- [30] P. Somasundaran and L. Huang, “Adsorption/aggregation of surfactants and their mixtures at solid-liquid interfaces,” *Advances in Colloid and Interface Science*, vol. 88, no. (1-2), pp. 179–208, 2000.
- [31] R. Atkin, V. Craig, E. Wanless, and S. Biggs, “Mechanism of Cationic Surfactant Adsorption at the Solid–Aqueous Interface,” *Advances in Colloid and Interface Science*, vol. 103, no. 3, p. 219–304, 2003.
- [32] S. Paria and K. Khilar, “A review on experimental studies of surfactant adsorption at the hydrophilic solid-water interface,” *Advances in Colloid and Interface Science*, vol. 110, no. 3, p. 75–95, 2004.
- [33] M. Thomas, J. Clouse, and J. Longo, “Adsorption of organic compounds on carbonate minerals: 1. Model compounds and their influence on mineral wettability,” *Chemical Geology*, vol. 109, no. (1-4), pp. 201–213, 1993.
- [34] B.-F. Hou, Y.-F. Wang, and Y. Huang, “Mechanistic study of wettability alteration of oil-wet sandstone surface using different surfactants,” *Applied Surface Science*, vol. 330, pp. 56–64, 2015.
- [35] D. Thompson and P. Pownall, “Surface electrical properties of calcite,” *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 131, no. 1, pp. 74–82, 1989.
- [36] P. Sumasundaran and G. Agar, “The zero point of charge of calcite,” *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 24, no. 4, pp. 433–440, 1967.
- [37] P. Moulin and H. Roques, “Zeta potential measurement of calcium carbonate,” *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 261, no. 1, pp. 115–126, 2003.
- [38] G. Alther, “How to remove emulsified oil from wastewater with organoclays,” *Water Engineering and Management*, vol. 148, pp. 27–29, 2001.
- [39] R. Sećerov, S. Sokolović, and S. S., “Oily water treatment using a new steady-state fiber-bed coalescer,” *Journal of Hazardous Materials*, vol. 162, no. 1, pp. 410–415, 2009.
- [40] J. Buckley and Y. Liu, “Some mechanisms of crude oil/brine/solid interactions,” *Journal of Petroleum Science and Engineering*, vol. 20, no. (3-4), pp. 155–160, 1998.
- [41] D. Zhang, S. Liu, M. Puerto, C. Miller, and G. Hirasaki, “Wettability alteration and spontaneous imbibition in oil-wet carbonate formations,” *Journal of Petroleum Science and Engineering*, vol. 52, no. 1, pp. 213–226, 2006.
- [42] M. Morrow, “Wettability and Its Effect on Oil Recovery,” *Journal of Petroleum Technology*, vol. 42, no. 12, pp. 1476–1484, 1990.

# Determination of factors that affect the design of cryptographic algorithms by a cybernetic meta-model, validated with Q-analysis

Ali Norouzzadeh-GilMolk<sup>a</sup> , Reza Ramazani-Khorshiddoust<sup>\*,b</sup> ,  
Mohammad Aref<sup>c</sup> 

<sup>a</sup> Islamic Azad University, North Tehran Branch. Tehran, Iran.

<sup>b</sup> Amirkabir University of Technology. Tehran, Iran.

<sup>c</sup> Sharif University of Technology. Tehran, Iran.

**Abstract.-** Encryption is the most important mechanism to protect information. A variety of factors affect the design and implementation of cryptographic algorithms, such as symmetric, asymmetric, and hash functions. In other words, all the necessary components of information security must be considered from the technical, organizational, procedural and human aspects in a model of excellence. To meet these requirements in this study, a methodology was used that enables the development of a metamodel that allows evaluating the different factors that affect cryptographic design, taking into account various attributes. The encryption metamodel has four main components: *policy and strategy, main processes, support processes, process control*, highlighting that the interactions between the main and support processes configure the structure of the encryption system. The evaluation of these interactions was carried out using a score allocation system, which resulted in a complex matrix, which was transformed into incidence matrices, which are addressed by means of a Q-analysis. The results of the Q-analysis indicate that The most significant group of components to develop an encryption system consists of the following: *human resources, R&D, standards and regulations, IT and standards*.

**Keywords:** cryptography algorithms; cybernetic meta-model; Q-analysis.

## Determinación de los factores que afectan el diseño de algoritmos criptográficos por medio de un meta-modelo cibernético, validado con análisis-Q

**Resumen.-** El cifrado es el mecanismo más importante para proteger la información. Una variedad de factores afecta el diseño e implementación de algoritmos criptográficos, como funciones simétricas, asimétricas y hash. Es decir, todos los componentes necesarios de la seguridad de la información deben considerarse desde los aspectos técnicos, organizativos, de procedimiento y humanos en un modelo de excelencia. Para cumplir con estos requisitos, en este estudio se utilizó una metodología que posibilita el desarrollo de un metamodelo que permite valorar los diferentes factores que afectan el diseño criptográfico, teniendo en consideración diversos atributos. El metamodelo de cifrado tiene cuatro componentes principales: *política y estrategia, procesos principales, procesos de apoyo, control procesos*, destacando que las interacciones entre los procesos principales y de apoyo configuran la estructura del sistema de cifrado. La valoración de estas interacciones fue realizada por medio de un sistema de asignación de puntajes, lo cual resultó en una matriz compleja, que fue transformada en matrices de incidencia, que se abordan por medio de un análisis-Q. Los resultados del análisis-Q indican que el grupo de componentes más significativos para desarrollar un sistema de cifrado consta de lo siguiente: *recursos humanos, I+D, normas y reglamentos, TI y estándares*.

**Palabras clave:** algoritmos criptográficos; meta-modelo cibernético; análisis-Q.

Received: February 17, 2020.

Accepted: March 31, 2020.

### 1. Introduction

Cryptography is a main component of the world's information security to transfer data from transmitter to receiver in the safest way [1]. The security of the cryptographic systems depends on

\* Correspondence author:  
e-mail:ramazani@aut.ac.ir ( R. Ramazani-Khorshiddoust)

two key factors; *strength of algorithms* and *key size*. Various cryptographic algorithms are in three types of hash functions, symmetric key and asymmetric key algorithms. Therefore, the power of cryptography is strongly dependent on the design and implementation of cryptographic algorithms [2].

A user mainly desires a cryptographic algorithm with low cost and high performance [3]. Many researches compare different cryptographic algorithms [4][5][6]. Also, various technologies such as social engineering, mathematical science, physiological signals, and biometrics have been used for the design of cryptographic algorithms [7][8].

Depending on the usage of an algorithm, different technical and non-technical requirements should be considered for its design [9]. The constituent factors of the algorithms are put into a coherent system with logical integrity to analyze and measure their interactions. In [10] different algorithms are evaluated based on some factors such as *key size* and *block size*. Also in [11] explained cryptographic standards. As cited in a research by CompTIA, it was a fast growing industry with a rate of 5 to 7 percent in the first quarter of 2018 [12]. To raise the level of information security has been a significant concern. For a desired security system, the components should be developed considering technological, organizational, process and human dimensions [13], fit to a model of excellence to ensure acceptable level of security, and ensure stability and continuity [14][15]. At the organizational level, the information security management system (ISMS) [16][17] is the only known and pervasive system of this kind. ISMS is a general system and based on the first edition of the British Standards Institute (BSI). The International Telecommunication Union (ITU) also developed an information security management system for communication networks based on the 2008 edition of ISMS [18]. Later, the International Organization for Standardization (ISO) published an information security management for communication organizations [19], particularly for telecom operators. According to the management

system, the formation and realization of sustainable security for a communication network require two features, i.e., *the use of a suitable set of security controls* and *deployment based on an excellence model*. In latter management system, the proper set of security controls is at least composed of process controls and excellence for security cycles. The cycles consist of four stages of design, implementation, measurement and improvement.

At the international level, the International Telecommunication Union has provided the example of the National Cyber Security Strategy for the systematic deployment of information security for the member states [20]. The European Network and Information Security Agency (ENISA) also has recommended the deployment of national cybersecurity strategies (NSCC) for the EU member states [21]. Other types of security architecture patterns are also recommended for the realization of desired security. The most important one is the end-to-end security architecture pattern [22][23], which is based on the network architecture model. The pattern of enhancing the information security of critical infrastructures is an alternative type [24], which is based on a functional architectural model. Finally, the organizational security architecture of Sherwood Applied Business Security Architecture (SABSA) [25] is also based on organizational architectural model [24]. In [26], a generic model is provided to design cryptographic algorithms with six parameters such as goal, input, activities, output, outcomes and performance. This model ignores some significant factors like *key size*, *block size*, *round number* as well as their interactions.

## 2. A cybernetic cryptographic algorithm meta model

The methodology for designing a model for cryptography algorithms was cybernetic approach (CA). CA is capable to encompass a process-oriented modeling to the nature of control in man, animal and machine and therefore is widely used in a broad fields such as engineering, mechanics, biology, psychology, and management [27][28]. CA is comprehensive, hierarchical, and physically understandable by

applying a graph structure; it is capable to communicate among various components. CA is properly apt to the combinatorial nature of the cryptographic algorithms [29][30]. The cybernetic model constitutes four main parts, which are strategy/policy, main, support and control components [31]. Main Process: This type of process involves the *raison d’etre* of the system. In fact, by examining the cause of existence of each system, we can get to main process.

- **Strategy/Policy Development:** In this component, based on the expected and approved strategies and policies in the system, a functional and comparison basis can be determined and designed (e.g., reference or standard values). As a result, based on these, we can recognize and control the functionality of the system.
- **Supportive Process:** These processes are necessary for the fulfillment of the main processes. The support processes are classified into “hard” and “soft” ones. “Hard-support” processes are concrete and quantitatively measurable, such as the processes of development and supply of equipment, materials and infrastructure. “Soft-support” processes, such as many soft aspects, are not concrete but mainly measurable such as the development of management, organization, information and communication technologies (ICT), rules and regulation, standards, human resources, and so on.
- **Process/Product Control (Feedback) Process:** It is referred to the activities which help system to monitor, measure, evaluate and finally control all processes in the main and supportive process modules and correct the deviations.

The cryptographic system includes algorithms, keys and protocols [32], and the main process or the *raison d’etre* of a typical cryptographic algorithm, in highest level, is shown in Figure 1.

The selection of cryptographic algorithm depends on its intended services. For instance,

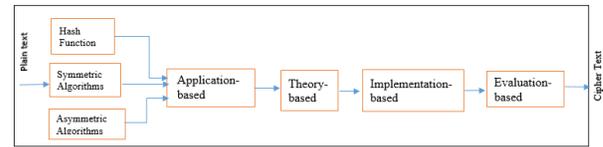


Figure 1: A typical main process of a cryptographic algorithm, in highest level

some cryptographic algorithms are better for confidentiality, but they are very weak for integration (e.g. one-time-pad). Similarly, some cryptographic algorithms are better for integration, but they do not provide proper confidentiality (e.g. ciphers of message confirmation). In designing a cryptographic algorithm, various fields of mathematical knowledge such as pseudo-random functions, Boolean functions [33], and symmetric random functions [34] are very important. There are many metrics for evaluating cryptographic algorithms, the most important of which are: key length, attack steps, attack time, rounds, algorithm strength, types, functions, complexity, speed, block size, flexibility, scalability, memory consumption, and encryption rate [35, 36, 37]. The components of the encryption algorithms are “hash function”, “symmetric algorithm” and “asymmetric algorithm”. Each of these components has a number of attributes that have assigned some variables to it, as shown in Figure 2.

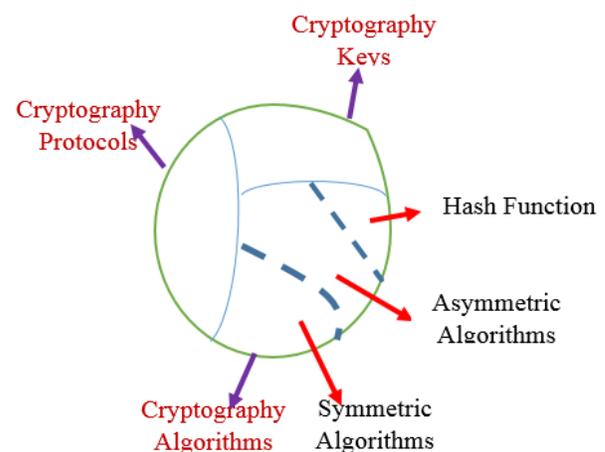


Figure 2: Cryptographic system (Level 1)

The proposed cybernetic cryptography model in the conceptual level is presented in Figure 3. The model consists of four parts:

the policy development, main, support and control processes. The main process includes cryptography algorithms. The support component is divided into two main categories, hard, soft sub-components. Soft component includes ten development sub-components as follows: the development of management, organization, human resources/education, research and development, standard, rule and regulation, financial resources, ICT, public/international relations or relations, and cultural aspects. The hard components include three sub-components namely, the development of infrastructure, equipment and materials. Finally, the control component encompasses both the controls of process and outputs as products. Also a more detailed cybernetic cryptography model is shown in Figure 4.

### 3. Model of influence of factors Affect the Design of Cryptographic Algorithms

To design an efficient hierarchical cryptography algorithm, the significant factors are to be chosen and grouped properly. Based on the cybernetic model, there exist 13 meta-factors (Figure 4) that interacts with 4 modules in the core process (Figure 1). The interaction and importance of these factors were determinate by a broad interviews from a group of 30 experts. Then, the factors are grouped depending upon their interaction to the modules of the core process of the cryptography algorithm.

The indices of interaction matrix are shown in Table 1. These indices are in the range of 0 to 10 in the matrix to indicate the significance of the interaction, determined by the experts.

#### 3.1. Incidence Matrix and implementation of the model

To indicate the impact of support indices on the core processes of the cryptographic algorithms design, an incidence matrix is created for data Matrix A (Table 1). Data Matrix A consists of two sets. Set D represents the support components indices and set C represents the four stages of the cryptographic algorithms.

$$D = \{d_1, d_2, \dots, d_{13}\}$$

Table 1: Interaction matrix of 13 support components Vs four stages of cryptographic algorithms

Support Process		Core/Main Process Cryptography algorithms				Level 1
		[A]	[B]	[C]	[D]	Level 2 Level 3
soft	Cultural	5	6	5	2	
	Organization	8	7	8	8	
	Public international relation	5	4	4	7	
	Financial resources	7	6	7	6	
	Human Resource/Education	8	10	10	9	
	Research and Development	10	8	8	10	
	Rule and regulation	7	4	5	10	
	Development of management	9	7	8	7	
	ICT	10	5	8	7	
	Standard	10	3	8	10	
hard	Equipment	8	6	7	8	
	Development of infrastructure	9	5	5	7	
	Materials	7	2	5	5	

[A]:Application-based ; [B]:Theory-based  
[C]:Implementation-based, [E]: Evaluation-based

$$C = \{c_1, c_2, c_3, c_4\}$$

Tables 2 and 3 show entities of the two sets above.

Table 2: Indicators of support components

Indicator	Support component
$d_1$	Cultural
$d_2$	Organization
$d_3$	International Relation (IR)
$d_4$	Financial
$d_5$	Human resource/Education (HR)
$d_6$	Research & Development (R& D)
$d_7$	Rule & Regulation (R& R)
$d_8$	Management
$d_9$	Information and Communication Technology (ICT)
$d_{10}$	Standard

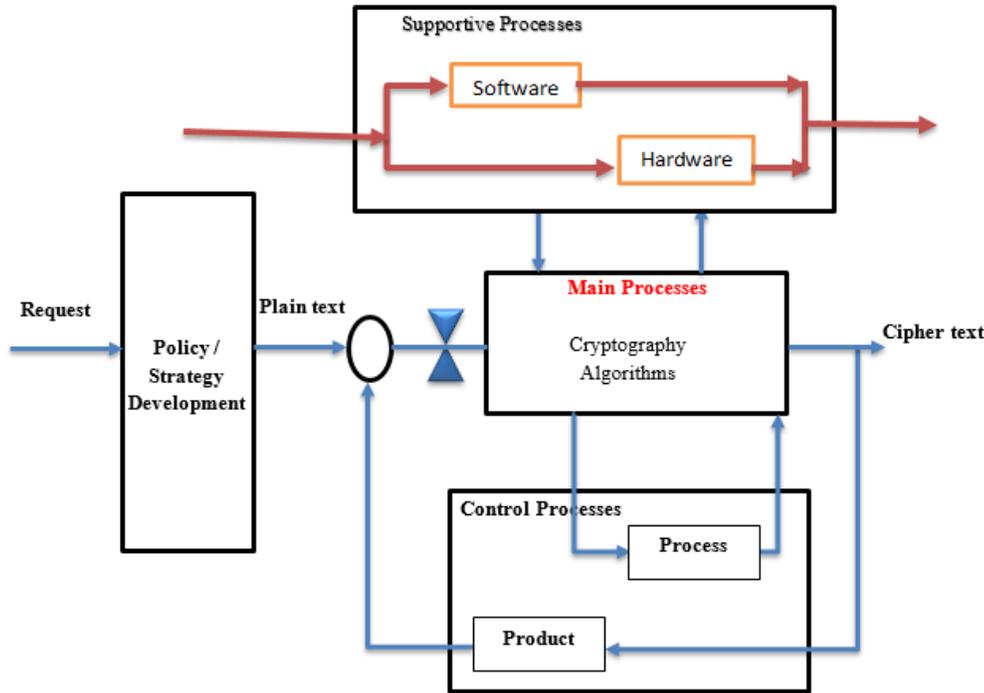


Figure 3: Proposed cybernetic cryptography model in conceptual level (Level 2)

Table 3: Indicators of four stages of cryptographic algorithms

Indicator	Stage
$c_1$	Use
$c_2$	Science
$c_3$	Programming Skills
$c_4$	Evaluation

The incidence matrix, calculated from data matrix  $A$ , indicates the relationship between the members of the two sets. The matrix indicates the existence/nonexistence of a relationship between each member of the two sets. Matrix  $A$  is transformed into an incidence matrix  $B$  with using a " $\alpha$ -cut parameter", by defining a one-to-one function as is presented in equation (1):

$$\lambda \text{ or } b_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{if } a_{ij} \geq \alpha, \\ 0 & \text{otherwise,} \end{cases} \quad (1)$$

Where  $b_{ij}$  or  $\alpha_{ij}$  is the entity of the  $i$ th row and the  $j$ th column in the incidence matrix (zero or one) and  $a_{ij}$  is equivalent to the given matrix  $A$ . Therefore, the entity  $b_{ij} = 1$  if and only if the entity  $i$  of set  $C$

interacts with the entity  $j$  of set  $D$ . The incidence matrix calculated from matrix  $A$  for  $\alpha_{\%70}$  is shown in Table 4.

By assigning different values for the  $\alpha$ -cut parameter, different "incidence matrices" are obtained. The  $\alpha$ -cuts intended for analysis include:  $\alpha_{(\%50)} = 5$ ,  $\alpha_{(\%60)} = 6$ ,  $\alpha_{(\%70)} = 7$ ,  $\alpha_{(\%80)} = 8$ ,  $\alpha_{(\%90)} = 9$ ,  $\alpha_{(\%100)} = 10$ .

#### 4. Analysis-Q

##### 4.1. Geometrical representation

Multidimensional properties of the system are defined by a simplicial complex set, or  $KD(C, \lambda)$ , such that: The entities of set " $D$ " represent the simplexes (support indicators)  $\sigma_p(d_i)$  and the entities of set  $C$  are vertices (cryptographic algorithm four stages). The simplexes of this complex are geometric shapes that represent the relationships that exist in the incidence matrix.

Conventionally, the dimensions of the simplex ( $p$ ) are shown as captions, and the simplex is denoted by the element shown in parentheses [38]. The simplex dimension is equal to the number of corresponding vertices minus one. In the sample, the  $d_i$  are:

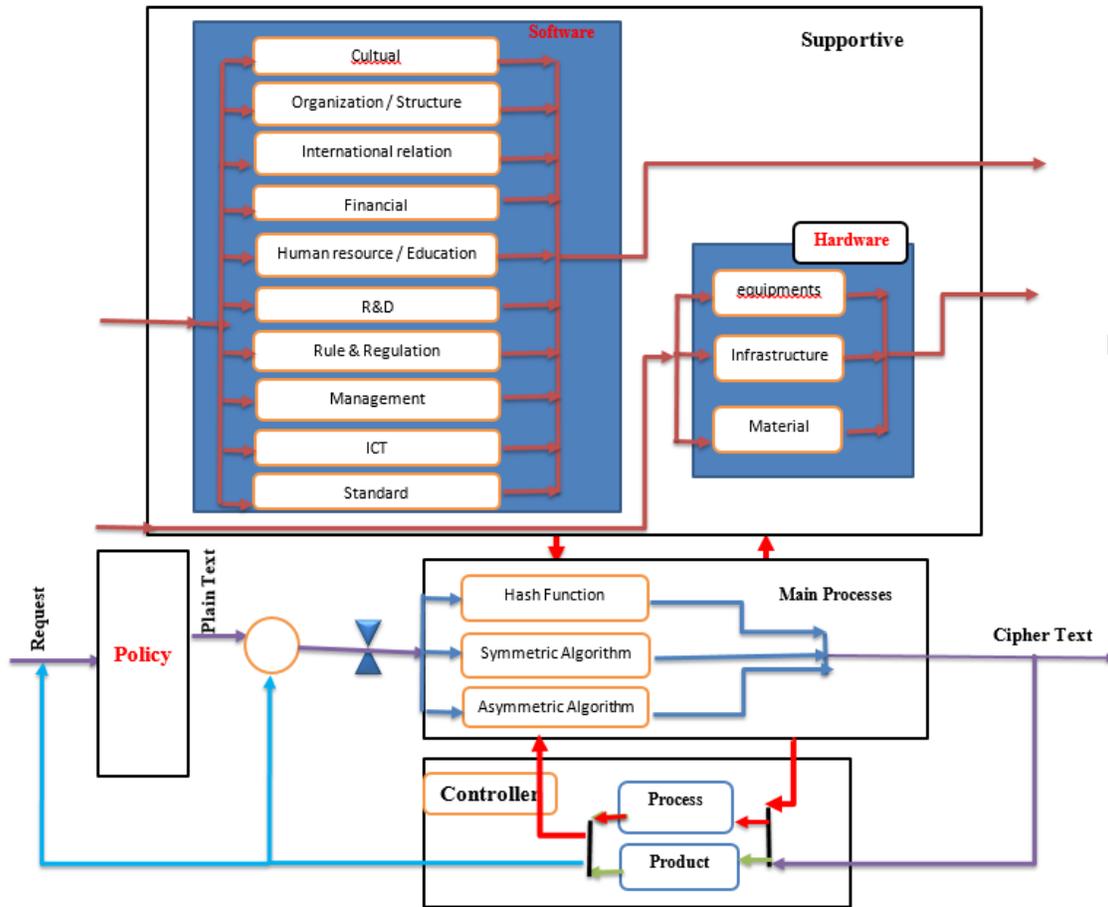


Figure 4: A detailed cybernetic cryptography model (Level 3)

$d_{(1)} = \{\}, d_{(2)} = \{c_1, c_2, c_3, c_4\}, d_{(3)} = \{c_4\},$   
 $d_{(4)} = \{c_1, c_3\}, d_{(5)} = \{c_1, c_2, c_3, c_4\},$   
 $d_{(6)} = \{c_1, c_2, c_3, c_4\}, d_{(7)} = \{c_1, c_4\},$   
 $d_{(8)} = \{c_1, c_2, c_3, c_4\}, d_{(9)} = \{c_1, c_3, c_4\},$   
 $d_{(10)} = \{c_1, c_3, c_4\}, d_{(11)} = \{c_1, c_3, c_4\},$   
 $d_{(12)} = \{c_1, c_4\}, d_{(13)} = \{c_1\}.$  Also the  $\sigma_p(d_i)$

simplexes are:

$\sigma_1(d_7), \sigma_3(d_6), \sigma_3(d_5), \sigma_1(d_4), \sigma_0(d_3), \sigma_3(d_2),$   
 $\sigma_{(d-1)}(d_1), \sigma_0(d_{13}), \sigma_1(d_{12}), \sigma_2(d_{11}), \sigma_2(d_{10}),$   
 $\sigma_2(d_9), \sigma_3(d_8).$  Therefore, the maximum complex dimension is 3.

#### 4.2. Computation of Dimensions and q-connectivity

The q-connectivity between a subset is represented by the weakest relationship (The smallest common face) between the two consecutive  $d_i$  in the chain  $d_1$  to  $d_n$  is expressed. The simplex relation that described by q-connectivity, is an equivalence relation that is a symmetric, reflective,

and transitive relation. The q-Connectivity between the two consecutive  $d_i$  is as follows:

$$\begin{array}{ll}
 \sigma_{(-1)}(d_1), \sigma_3(d_2) \rightarrow -1 & \sigma_3(d_2), \sigma_0(d_3) \rightarrow 0 \\
 \sigma_1(d_4), \sigma_3(d_5) \rightarrow 1 & \sigma_3(d_5), \sigma_3(d_6) \rightarrow 3 \\
 \sigma_1(d_7), \sigma_3(d_8) \rightarrow 1 & \sigma_3(d_8), \sigma_2(d_9) \rightarrow 2 \\
 \sigma_2(d_{10}), \sigma_2(d_{11}) \rightarrow 2 & \sigma_3(d_{11}), \sigma_1(d_{12}) \rightarrow 1 \\
 \sigma_0(d_3), \sigma_1(d_4) \rightarrow -1 & \sigma_3(d_6), \sigma_1(d_7) \rightarrow 1 \\
 \sigma_2(d_9), \sigma_2(d_{10}) \rightarrow 2 & \sigma_1(d_{12}), \sigma_0(d_{13}) \rightarrow 0
 \end{array}$$

The maximum connection dimension is 3.

#### 4.3. Computation of structure vectors

For each dimension  $q$  of the complex set  $K$ , we define integer  $Q_q$  as the number of distinct equivalence classes, such that each equivalence class is composed of q-connectivity simplexes.

Table 4: Incidence matrix with  $\alpha_{q=70} = 7$

Support Process		Core/Main Process Cryptography algorithms				Level 1	
		[A]	[B]	[C]	[D]	Level 2 Level 3	
soft	Cultural	0	0	0	0		
	Organization	1	1	1	1		
	Public international relation	0	0	0	1		
	Financial resources	1	0	1	0		
	Human Resource/Education	1	1	1	1		
	Research and Development	1	1	1	1		
	Rule and regulation	1	0	0	1		
	Development of management	1	1	1	1		
	ICT	1	0	1	1		
	Standard	1	0	1	1		
	hard	Equipment	1	0	1	1	
		Development of infrastructure	1	0	0	1	
Materials		1	0	0	0		

[A]:Application-based ; [B]:Theory-based  
[C]:Implementation-based, [E]: Evaluation-based

This  $Qq$  vector is a simplification basis that came into being for eliminating redundant effects in the set of equivalence simplexes.

The first structure vector,  $Q$  is:

$$Q = (Q_{dim3}, Q_{dim2}, Q_{dim1}, Q_{dim0})$$

$$Q = (4, 3, 3, 2)$$

The second structure vector,  $P$  is:

$$P = (P_{dim3}, P_{dim2}, P_{dim1}, P_{dim0})$$

$$P = (4, 7, 10, 12)$$

$Pq$  represents the number of simplexes larger than or equal to  $q$  in the set  $K$ . Where,  $P$  denotes the number of repetitions of the simplexes connectivity (support indicators) to vertices (cryptographic algorithm four stages). The larger the  $P$  values for the higher dimensions, the greater the connection. In contrast, the  $Q$  vector represents the extent of the connections between the simplexes connected (support indicators) by a set of vertices (cryptographic algorithm four stages) [39].

#### 4.4. Obstruction or inflexibility vector

Obstruction vector ( $Q^*$ ) that specifies the information flow limitation during the complex.

( $Q^*$ ) means whether the members of the simplex (each of the support indicators) in any of the equivalence classes in the  $k$ -dimension can interact directly or indirectly at the  $k$ -level (have effect on each other). The number of barriers to these interactions in the  $k$ -dimension is the number of "gaps" between the equivalence categories. Therefore, ( $Q^*$ ) is created by subtracting a vector  $I$  from the structure vector, which includes all categories. That is mean:

$$Q^* = [4, 3, 3, 2, ] - [1, 1, 1, 1, ]$$

$$Q^* = [3, 2, 2, 1]$$

The value of  $Q^*_K$  represents the number of structural constraints for the simplex interactions in the  $k$  dimension. Depending on the type of problem, high or low values of  $Q^*$  elements may be preferred. For example, we prefer to have high obstruction between diagnostic values so that they are easily recognizable.

Due to the obtained values, it can be concluded that the effective indicators in designing the cryptographic algorithms are varied and sometimes independent. The obstruction vector and the equivalence classes at each level  $q$  with the cutoff parameter  $\alpha = 7$  are shown in Table 5.

Table 5: Structure vector, obstruction vector and equivalence classes at each level  $q$  with  $\alpha = 7$

q	Q	P	Q*	equivalence classes
3	4	4	3	{ $d_2$ }, { $d_5$ }, { $d_6$ }, { $d_8$ }
2	3	7	2	{ $d_2, d_5, d_6, d_8, d_9$ }, { $d_2, d_5, d_6, d_8, d_{10}$ }, { $d_2, d_5, d_6, d_8, d_{11}$ }
				{ $d_2, d_5, d_6, d_8, d_9, d_{10}, d_{11}, d_4$ }, { $d_2, d_5, d_6, d_8, d_9, d_{10}, d_{11}, d_7$ }, { $d_2, d_5, d_6, d_8, d_9, d_{10}, d_{11}, d_{12}$ }
1	3	10	2	{ $d_2, d_4, d_5, d_6, d_7, d_8, d_9, d_{10}, d_{11}, d_{12}, d_3$ }, { $d_2, d_4, d_5, d_6, d_7, d_8, d_9, d_{10}, d_{11}, d_{12}, d_{13}$ }

The high value of this vector indicates system inflexibility [40]. Instead, its low value indicates high flexibility for the system. In fact, this vector is an appropriate index for the qualitative evaluation of system data in mathematics language. This flexibility or lack thereof can be attributed to the behavior of any of the  $q$ -levels. It is therefore necessary that all  $q$ -levels in the inflexibility vector

be evaluated individually to obtain the degree of flexibility of each element. The high amount of flexible vector indicates that the system is more stable and less susceptible to oscillations caused by external stimuli [38].

#### 4.5. Computation of Eccentricity

While the structure vectors and the obstruction vectors describe the overall structural properties; the eccentricity indicates the degree of integration of a particular simplex throughout the complex. Conventional measurement of eccentricity for a simplex is the method defined in [41], called *ecc* according to equation (2). But Chin et al. in [42] offer another way of measuring eccentricity called *ecc'* according to equation (3):

$$ecc(\sigma) = \frac{\hat{q} - q^*}{q^* + 1} \quad (2)$$

$$ecc'(\sigma) = \frac{2 \sum q_i / \sigma_i}{q_{max} (q_{max} + 1)} \quad (3)$$

where in: is the simplex of  $\sigma$ .  $q^*$  is the largest common dimension of the simplex  $\sigma$  with other simplexes (the relation value) in an equivalence class.  $q_i$  is any q-level of  $\sigma$  that exists.  $\sigma_i$  The number of elements in the  $\sigma_i$  equivalence classes at the level of  $q_i$ .  $q_{max}$  is the maximum q of the complex set level.

Difference  $(\hat{q} - q^*)$  is a criterion for determining the joint range of  $\sigma$  with another simplex which it has the most common vertices with it. Therefore, *ecc* depends only on one simplex over the others, while *ecc'* also depends on all other simplexes. In addition, the value of *ecc* is in the range  $[0, \infty]$  and *ecc'* is in the range  $[0, 1]$ .

For each simplexes of set (support indices), the degree of eccentricity can be defined in two ways, according to the conventional method proposed by Casti (*ecc*( $\sigma$ )) and based on the results of the Q-analysis performed for the data matrix A (Table 1), the eccentricity for all parameters equals zero. As a result, this method is not a suitable method for measuring the degree of eccentricity in the indices communication. Therefore, we use the Chinese method (*ecc'*( $\sigma$ )) for this purpose. The results can be seen in Table 6.

Table 6: Eccentricity of Cryptographic algorithms Parameters in Data Matrix A for cutoff parameter  $\sigma_{\%70}$

$\sigma$	$q_i$	$\sum q_i / \sigma_i$	$q_{max}$	$ecc'(\sigma)$
$d_2, d_5, d_6, d_8$	{3,2,1}	3,64	3	0,61
$d_9, d_{10}, d_{11}$	{2,1}	0,64	3	0,11
$d_4, d_7, d_{12}$	{1}	0,14	3	0,02

The lower eccentricities, the simplex corresponds better to the overall complex structure.

#### 4.6. Complexity

The results of the Q-analysis can also be used to describe the complexity of the system structure. The complexity criterion, proposed in [43], is presented in equation (4):

$$\Psi(K) = 2 \left[ \sum_{k=0}^{dimK} \frac{(k+1)Q_k}{(dimK+1)(dimK+2)} \right] \quad (4)$$

So  $Q_k$  is part of  $k$  of the vector structure of  $Q$ . The scale satisfies the principles outlined above. Explicitly states that both the dimension and the number of equivalence classes factors are related to the complexity of the structure. For  $\alpha - cut = 7$ :

$$Q = (Q_{dim3}, Q_{dim2}, Q_{dim1}, Q_{dim0})$$

$$Q = (4, 3, 3, 2)$$

$$\Psi(K) = 2 \left[ \frac{(4 + 6 + 9 + 8)}{(4 \cdot 5)} \right] = 2,7$$

It is obviously that due to the variety of supporting indexes that are effective in designing cryptographic algorithms, there is a relatively high degree of complexity between the indexes, which number 2,7 confirms this.

The results of implementing the Q-Analysis model using a C++ code, for  $\alpha_{\%70} = 7$ , are shown in Figure 5.

### 5. Ranking of the support components

The result of applying Q-analysis on the “interaction matrix” cited in Figure 5, is shown in Table 7. The strength of the connectivity of the factors in a group is determined by  $\alpha - cut$ , shown in percentage. Thus, the support components are

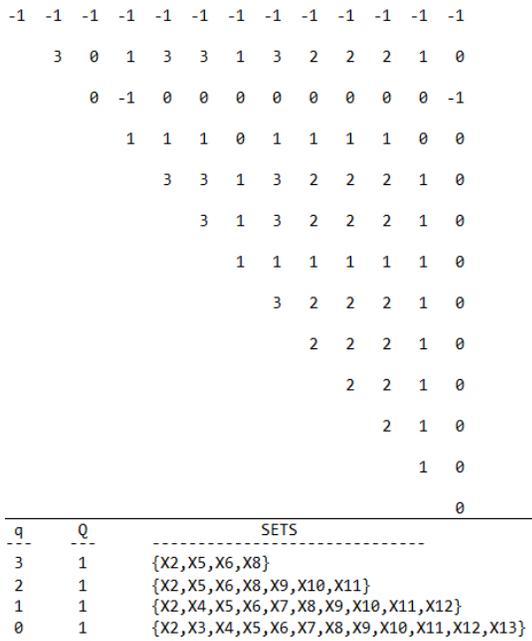


Figure 5: Results of implementing the Q-Analysis model using a C++ code, for  $\alpha_{%70} = 7$

grouped in 5 levels or ranks. Each level indicates the priority and importance of the group in the process of developing a cryptographic algorithm.

For a proper resource allocation, the components in the higher level of the pyramid (Figure 6) have higher priority.

Table 7: Ranking of support components using Q-Analysis

Connectivity of the support components for developing cryptographic algorithms ( $q = 0$ ) (no connection: $\alpha = 0\%$ , full connection: $\alpha = 100\%$ )	
Human resources, R&D, Rules and regulations, ICT, Standards	$\alpha_{(%100)} = 10$
Development of Management, Infrastructure	$\alpha_{(%90)} = 9$
Organization, Equipment	$\alpha_{(%80)} = 8$
Public and international relations, financial resources, Material	$\alpha_{(%70)} = 7$
Culture	$\alpha_{(%60)} = 6$
All components	$\alpha_{(%60)} = 5$

The results about the priority and importance of the group in the process of developing a cryptographic algorithm were compared to the Global Cybersecurity Index (GCI) reports of 2015, 2017 and 2018 issued by International

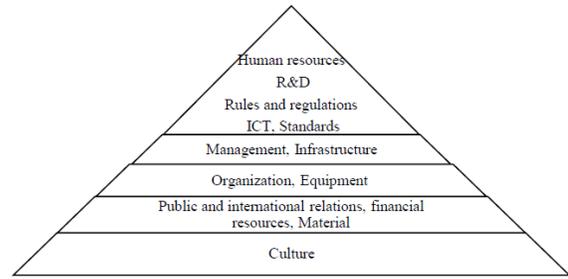


Figure 6: The pyramid of ranking of support components using Q-Analysis

Telecommunication Union (ITU) [44][45][43]. results of the cybernetic model and Q-analysis to group and rank the support components is determined. The results are compared to the Global Cybersecurity Index (GCI) reports of 2015, 2017 and 2018 issued by International Telecommunication Union (ITU) [44][45][43]. The focus was on cryptography. The reports focus on five indices that are “legal, organization, technical, capacity building, and cooperation. The relevant sub-indices are as follows:

- Legal: Cybercrime legislation, Cybersecurity Regulation, Containment/curbing of spam legislation.
- Technical: National/ Government/ Sectorial CERT/CIRT/CSIRT, Standard, technical mechanisms.
- Organization: Strategy, Responsible Agency, Cybersecurity Metrics.
- Capacity Building: Public Awareness, Cybersecurity Standards and Certification for professionals, Cybersecurity Professional Training Courses, National Education Programs and Academic Curriculums, Cybersecurity Research & Development Programs, Incentive Mechanisms.
- Cooperation: Bilateral Agreements, Multilateral Agreements, Public-private partnership, Interagency/intra-agency partnerships.

Table 8: GCI most committed countries globally in 2015 (normalized score)[44]

Country	Legal	Technical	Organizational	Capacity Building	Cooperation	Index	Global Rank
U.S.A	1	0,8333	0,875	1,000	0,5	0,8235	1
Canada	0,75	1	0,875	0,875	0,5	0,7941	2
Australia *	0,75	0,6667	0,875	0,875	0,625	0,7647	3
Malaysia *	0,75	0,8333	1	0,625	0,625	0,7647	3
Oman *	0,75	0,6667	1	0,75	0,625	0,7647	3
Norway *	1	0,6667	0,75	0,875	0,5	0,7353	4
New Zealand *	1	0,8333	0,875	0,625	0,5	0,7353	4
Brazil *	0,75	0,6667	0,875	0,75	0,5	0,7059	5
Estonia *	1	0,6667	1	0,5	0,5	0,7059	5
Germany *	1	1	0,625	0,625	0,5	0,7059	5
India *	1	0,6667	0,755	0,875	0,375	0,7059	5
Japan *	1	0,667	0,75	0,625	0,625	0,7059	5
Republic of Korea*	1	0,6667	0,875	0,625	0,5	0,7059	5
United Kingdom *	1	0,6667	0,75	0,75	0,5	0,7059	5
Average	0,9107	0,75	0,8482	0,7411	0,5268		

\*:Based on secondary data

Table 9: GCI most committed countries globally in 2017 (normalized score)[45]

Country	GCI Score	Legal	Technical	Organizational	Capacity Building	Cooperation
Singapore	0,92	0,95	0,96	0,88	0,97	0,87
United States	0,91	1	0,96	0,92	1	0,73
Malaysia	0,89	0,87	0,96	0,77	1	0,87
Oman	0,87	0,98	0,82	0,85	0,95	0,75
Estonia	0,84	0,99	0,82	0,85	0,94	0,64
Mauritius	0,82	0,85	0,96	0,74	0,91	0,7
Australia	0,82	0,94	0,96	0,86	0,94	0,44
Georgia	0,81	0,91	0,77	0,82	0,9	0,7
France	0,81	0,94	0,96	0,6	1	0,61
Canada	0,81	0,94	0,93	0,71	0,82	0,7
Average		0,934	0,91	0,8	0,943	0,701

Table 10: GCI most committed countries globally in 2018 (normalized score)[43]

Rank	Member States	GCI Score	Legal	Technical	Organizational	Capacity Building	Cooperation
1	United Kingdom	0,931	0,2	0,191	0,2	0,189	0,151
2	U.S.A	0,926	0,2	0,184	0,2	0,191	0,151
3	France	0,918	0,2	0,193	0,2	0,186	0,139
4	Lithuania	0,908	0,2	0,168	0,2	0,185	0,155
5	Estonia	0,905	0,2	0,195	0,186	0,17	0,153
6	Singapore	0,898	0,2	0,186	0,192	0,195	0,125
7	Spain	0,898	0,2	0,18	0,2	0,168	0,148
8	Malaysia	0,893	0,179	0,196	0,2	0,198	0,12
9	Norway	0,892	0,191	0,196	0,177	0,185	0,143
10	Canada	0,892	0,195	0,189	0,2	0,172	0,137
	Average		0,1965	0,1878	0,1955	0,1839	0,1422

The indices of Cybersecurity for the highest ranked countries, issued in GCI 2015, 2017, and 2018 are presented in Tables 8, 9 and 10.

Based on the indices presented in Tables 8, 9 and 10 the relevant sub-indices, GCI reports indicate that *regulation, standard, R&D, education, and management* have the highest priority in developing cybersecurity or cryptographic algorithms.

## 6. Conclusion

The cybernetic meta-model of encryption has the following four components: *policy and strategy, main processes, supportive processes, control processes*. The *main processes* has four processes. Also, the *supportive processes* encompasses 13 processes, grouped in *hard* and *soft* ones. These processes have four *development stages* which determine *type of applications, proper theoretical basis, implementation, and evaluation*.

The interactions of *main* and *supportive* processes shape the structure of the encryption system. These interactions result in a complex graph. A proper method to tackle such a complex entity is Q-analysis, which groups and ranks the components due to their interactions. Each interaction is also evaluated, based on its four *development stages*. A questionnaire is developed to evaluate the interactions. Then, a group of 30 ICT evaluated the interactions by assigning scores from 0 to 10, which indicate significance of an interaction.

The outputs of Q-analysis indicate that the most significant components, or the group with the highest priority, for developing an encryption system consists *Human resources, R&D, Rules and regulations, ICT, and Standards* components. These result is accordance with the GCI 2015, GCI 2017 and GCI 2018 reports issued by ITU.

## 7. References

- [1] W. Liu, B. Ying, H. Yang, and H. Wang, "Accurate modeling for predicting cryptography overheads on wireless sensor nodes," in *Advanced Communication Technology. ICACT 2009. 11th International Conference*, vol. 2, Phoenix Park, 2009, pp. 997–1001.
- [2] D. Nilesh and M. Nagle, "The new cryptography algorithm with high throughput," in *2014 International Conference on Computer Communication and Informatics*, Coimbatore, 2014, pp. 1–5.
- [3] P. Patil, P. Narayankar, D. G. Narayan, and S. M. Meena, "A Comprehensive Evaluation of Cryptographic Algorithms: DES, 3DES, AES, RSA and Blowfish," *Procedia Computer Science*, vol. 78, pp. 617–624, Dec. 2016.
- [4] M. Rashid, M. Imran, and A. Jafri, "Comparative analysis of flexible cryptographic implementations," in *2016 11th International Symposium on Reconfigurable Communication-centric Systems-on-Chip (ReCoSoC)*, Tallinn, 2016, pp. 1–6.
- [5] Y. Acar, M. Backes, S. Fahl, S. Garfinkel, D. Kim, M. Mazurek, and C. Stransky, "Comparing the Usability of Cryptographic APIs," in *2017 IEEE Symposium on Security and Privacy (SP)*, San Jose, CA, 2017, pp. 154–171.
- [6] A. Poojari and H. Nagesh, *Emerging Technologies in Data Mining and Information Security. Advances in Intelligent Systems and Computing*. Singapore: Springer, 2019, vol. 755, ch. A Comparative Analysis of Symmetric Lightweight Block Ciphers, pp. 705–711.
- [7] D. Karaođlan Altop, A. Levi, and V. Tuzcu, "Deriving cryptographic keys from physiological signals," *Pervasive and Mobile Computing*, vol. 39, pp. 65–79, Aug. 2016.
- [8] O. Uzunkol and M. S. Kiraz, "Still wrong use of pairings in cryptography," *Applied Mathematics and Computation*, vol. 333, pp. 467–479, Sep. 2018.
- [9] S. Feizi, A. Ahmadi, and A. Nemati, "A hardware implementation of Simon cryptography algorithm," in *2014 4th International Conference on Computer and Knowledge Engineering (ICCCKE)*, Mashhad, Iran, 2014, pp. 245–250.
- [10] A. Gupta and N. Walia, "Cryptography Algorithms: A Review," *International Journal of Engineering Development and Research*, vol. 2, no. 2, pp. 1667–1672, 2014.
- [11] National Institute of Standards and Technology (NIST), "NIST Cryptographic Standards and Guidelines Development Process," U.S. Department of Commerce, United States of America, Technical report, 2016.
- [12] CompTIA Information Technology, "IT INDUSTRY OUTLOOK 2018," CompTIA, Research report, 2018.
- [13] P. Pawlak and P.-N. Barmaliou, "Politics of cybersecurity capacity building: conundrum and opportunity," *Journal of Cyber Policy*, vol. 2, no. 1, p. 123–144, 2017.
- [14] The Global Cyber Security Capacity Centre, "Cyber Security Capability Maturity Model (CMM) – V1.2," Oxford Martin School, University of Oxford, United Kingdom, Technical report, 2014.
- [15] J. Christopher, F. Muneer, and J. Fry, "Cyber Security Capability Maturity Model (C2M2)," U.S. Department of Homeland Security (DHS), United States of America, Technical report, 2014.

- [16] ISO/IEC JTC1, *ISO/IEC 27002: Information Technology- security techniques-information security management systems –code of practice for information security controls*, International Organization for Standardization (ISO) and International Electrotechnical Commission (IEC), 2013.
- [17] ISO/IEC JTC1, *ISO/IEC 27001: Information Technology- security techniques-information security management systems–Requarments*, International Organization for Standardization (ISO) and International Electrotechnical Commission (IEC), 2013.
- [18] ISO/IEC JTC1, *ISO/IEC 27011: Information Technology-security techniques-information security management guidelines for telecommunications organizations based on ISO/IEC 27002*, International Organization for Standardization (ISO) and International Electrotechnical Commission (IEC), 2016.
- [19] ISO/IEC JTC1, *ISO/IEC 27005: Information Technology-security techniques-information security risk management*, International Organization for Standardization (ISO) and International Electrotechnical Commission (IEC), 2011.
- [20] F. Wamala, “The ITU National Cybersecurity Strategy Guide,” International Telecommunication Union (ITU), Geneva, Switzerland, Technical report, 2001.
- [21] N. Falessi, R. Gavrila, M. Klejnstrup, and K. Moulinos, “National Cybersecurity Strategies: Practical Guide on Development and Execution,” European Network and Information Security Agency (ENISA), Technical report, Dec. 2012.
- [22] International Telecommunication Union, *Recommendation X.805: Security Architecture for system providing end-to-end Communications*, ITU, Oct. 2003.
- [23] I. T. Union, *Security in Telecommunications and Information Technology Security in telecommunications and Information Technology*, ITU, Sep. 2015.
- [24] K. Stine, K. Quill, and G. Witte, *Framework for Improving Critical Infrastructure Cybersecurity*, NIST, Feb. 2014.
- [25] J. Sherwood, C. Andrew, and L. David, “Enterprise Security Architecture,” SABSAs, Technical report, 2016.
- [26] I. Damaj and S. Kasbah, “An analysis framework for hardware and software implementations with applications from cryptography,” *Computer and Electrical Engineering*, vol. 69, pp. 572–584, Jul. 2018.
- [27] W. Norbert, *Cybernetics: or the Control and Communication in the Animal and the Machine*. Wiley, 1948.
- [28] D. Novikov, *Cybernetics: From Past to Future*. Springer, 2016.
- [29] R. Ramazani, “The Current Challenges of Universities and the National Science Development System,” *Journal of Research and Planning in Higher Education*, vol. 8, no. 3, pp. 37–62, 2002.
- [30] R. Ramazani, “Feasibility study of network on science and technology parks Inter-Islamic Network On Science & Technology Parks,” in *Comstech*, 2010.
- [31] A. Mirzadeh Phirouzabadi, M. Moattar Husseini, and M. Arasti, “General cybernetic model for innovation network Management,” in *International Conference on Leadership, Technology and Innovation Management*, Istanbul, Turkey, 2011.
- [32] B. Schneier, *Applied Cryptography: Protocols, Algorithms, and Source Code in C*. New York: John Wiley & Sons, 1996.
- [33] S. Picek, D. Jakobovic, J. Miller, L. Batina, and M. Čupić, “Cryptographic Boolean Functions: One Output, Many Design Criteria,” *Applied Soft Computing*, vol. 40, pp. 635–653, 2015.
- [34] R. Saha and G. Geetha, “Symmetric random function generator (SRFG): A novel cryptographic primitive for designing fast and robust algorithms,” *Chaos, Solitons & Fractals*, vol. 104, pp. 371–377, 2017.
- [35] M. A. Hossain, M. Hossai, M. Uddin, and S. Imtiaz, “Performance Analysis of Different Cryptography Algorithms,” *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, vol. 6, no. 3, pp. 659–665, 2016.
- [36] N. Jorstad, “Cryptographic Algorithm Metrics,” Institute for Defense Analyses Science and Technology Division, Technical report, 1997.
- [37] M. Ebrahim, S. Kham, and U. Khalid, “Symmetric algorithm survey: A comparative analysis,” *International Journal of Computer Applications*, vol. 61, no. 20, pp. 12–19, 2013.
- [38] J. Johnson, “Some structures and notation of Q-analysis,” *Environment and Planning B: Planning and Design*, vol. 8, pp. 73–86, 1981.
- [39] L. Duckstein, “Evaluation of the Performance of a Distribution System by Q-Analysis,” *Applied Mathematics and Computation*, vol. 13, pp. 173–185, 1983.
- [40] R. Atkin, *Mathematical Structure in Human Affairs*. Heinemann Educational Publishers, 1971.
- [41] J. L. Casti, *Connectivity, Complexity, and Catastrophe in Large-Scale Systems*. J. Wiley Chichester [Eng.] ; New York, 1979.
- [42] M. Heinonen, A. Lampi, L. Hyvönen, and D. Homer, “Dietary sources of conjugated dienoic isomers of linoleic acid, a newly recognized class of anticarcinogens,” *Journal of Food Composition and Analysis*, vol. 5, no. 3, pp. 198–208, 1992.
- [43] International Telecommunication Union, “Global Cybersecurity Index (GCI) 2018,” ITU, Technical report, 2018.
- [44] International Telecommunication Union, “Global Cybersecurity Index & Cyberwellness Profiles,” ITU, Technical report, 2015.
- [45] International Telecommunication Union, “Global Cybersecurity Index (GCI) 2017,” ITU, Technical report, 2017.

# Vibration assessment of transmission bearings of a mini Baja SAE prototype

Enrique Flores <sup>\*,a</sup> , Andrés Albornoz<sup>b</sup> , Erwin López<sup>b</sup> , Jorge Romero<sup>c</sup> 

<sup>a</sup>Centro de Investigaciones en Mecánica (CIMEC), Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela.

<sup>b</sup>Laboratorio de Predicciones de la Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela.

<sup>c</sup>Centro de Investigación en Materiales (CIM), Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela.

**Abstract.-** In the present work, a non-invasive assessment of vibrations to the bearings of the transmission system of the mini Baja SAE UC 2004 prototype is carried out, in which possible defects are analyzed. The study carried out included the following stages: location and specification of each bearing used in the transmission system; measurement and data collection; obtention the failure frequencies for each bearing of the transmission system and study of the data obtained. The main results obtained are that all the bearings of the transmission system presented the possibility of failure for the two speeds of rotation of the transmission shaft defined for this study, the most recurrent possibility failure were defects in the outer race, and the least recurring were defects in the bearing cage; increased detected failure possibilities for one of the tested spin speeds. Additionally, it was possible to establish, from the illustrated vibration diagnosis chart created by the Charlotte analytical group, the possible cause of failure for most of the bearings studied. From what was obtained, it is concluded that the possible detection of failures in the bearings studied is sensitive to the speed of the transmission system for which the measurements are made, and that although an illustrated vibration diagnosis chart created by the analytical group of Charlotte allows the determination of possible causes of bearing failure, alternative methods to this are required for such detection.

**Keywords:** vibrations; bearings; non invasive assesment.

## Evaluación mediante vibraciones de los rodamientos de la transmisión de un prototipo mini Baja SAE

**Resumen.-** En el presente trabajo se realiza una evaluación no invasiva de vibraciones a los rodamientos del sistema de transmisión del prototipo mini Baja SAE UC 2004 en el que se analizan los posibles defectos existentes. El estudio realizado comprendió las siguientes etapas: ubicación y especificación de cada rodamiento utilizado en el sistema de transmisión; medición y obtención de datos; obtención de las frecuencias de falla para cada rodamiento del sistema de transmisión y estudio de los datos obtenidos. Como principales resultados obtenidos se tienen que todos los rodamientos del sistema de transmisión presentaron posibilidad de falla para las dos velocidades de giro del eje de transmisión definidas para este estudio, la posibilidad de falla más recurrente fueron los defectos en la pista externa, y la menos recurrente fueron los defectos en la jaula de los rodamientos; posibilidades de falla detectadas más acentuadas para una de las velocidades de giro ensayadas. Adicionalmente se pudo establecer, a partir de la carta ilustrada de diagnóstico de vibración creada por el grupo analítico de Charlotte, la posible causa de falla para la mayoría de los rodamientos estudiados. De lo obtenido se concluye que la posible detección de fallas en los rodamientos estudiados es sensible a la velocidad de giro del sistema de transmisión para la cual se hacen las mediciones, y que si bien la carta ilustrada de diagnóstico de vibración creada por el grupo analítico de Charlotte permite la determinación de posibles causas de falla en rodamientos, se requieren métodos alternativos a este para dicha detección.

**Palabras clave:** vibraciones; rodamientos; evaluación no invasiva.

Recibido: 21 de febrero, 2020.

Aceptado: 03 de abril, 2020.

### 1. Introducción

El mantenimiento predictivo aplica técnicas no destructivas en las máquinas para predecir cuándo requieren operaciones de reparación o cambio de piezas [1]. En general, las industrias dentro de sus

\* Autor para correspondencia:  
Correo-e: evflores@uc.edu.ve (E. Flores)

programas de mantenimiento predictivo utilizan el monitoreo y análisis de las vibraciones con el fin de establecer cuál es el estado de salud mecánica de las máquinas y en particular de sus elementos más críticos y de esta manera poder prevenir fallas catastróficas [2].

El análisis de vibraciones permite diagnosticar futuras fallas antes de que se originen, consiguiendo anticiparse a la falla al momento en que el equipo o elemento deja de trabajar en condiciones normales de operación, permitiendo establecer un criterio técnico y argumentando para determinar si dicho elemento puede reemplazarse o no; así el tiempo muerto del equipo se minimiza y el tiempo de vida del componente se maximiza, extendiendo además la productividad del sistema operativo [3].

En un plano generalizado, las vibraciones se encuentran de manera principal en todas las máquinas, esto depende de ciertas máquinas en unas más o menos de acuerdo a factores conocidos; estos son directamente proporcionales al ruido que denotan el normal funcionamiento de una parte del sistema de transmisión [4].

Desde el punto de vista global y analizando el contexto mundial los sistemas automotrices son de gran importancia para el desarrollo de las industrias de todo el mundo, por ende, es necesario realizar un análisis exhaustivo en el funcionamiento del motor. Un problema que se ha notado en el transcurso de los años es el deterioro de las partes internas y externas del motor por casos particulares y desgaste de los mismos, un factor que se ha notado indispensable de analizar son las alteraciones ocasionadas por las vibraciones que generan [5].

En este mismo orden de ideas, dentro del mantenimiento predictivo se presta especial interés a las fallas en rodamientos, debido a su alto costo y al interés de aprovechar la mayor parte de su vida útil. La falla de un rodamiento es una de las principales causas de daños en la maquinaria rotativa. Estas fallas pueden ser catastróficas y pueden ocasionar tiempos de inactividad costosos [6].

Por ser un apoyo y soportar varios tipos de cargas transmitidas por un sistema, los rodamientos con regularidad presentan diversos tipos de fallas

internas, se encuentren en un eje o no. Por ende, es importante que estos sean evaluados antes de su montaje en un sistema y durante su funcionamiento en él. Los rodamientos presentes en el sistema de transmisión de los diversos prototipos Baja SAE UC, han presentado fallas a lo largo de su participación en competencias y eventos internacionales, repercutiendo directamente en los resultados de las ya mencionadas competencias por parte del equipo de estudiantes de la Universidad de Carabobo.

La forma convencional de análisis y diagnóstico de falla en los rodamientos se ha basado en el empleo de registros de señales de vibración, que juegan en la actualidad un papel importante en el mantenimiento predictivo para analizar su comportamiento [7]. Estas señales se analizan mediante diversas técnicas entre las cuales pueden indicarse el análisis espectral, el análisis de la forma de onda, el análisis de fase, el análisis de órbitas, el análisis de coherencia, entre otras [2]; reportándose investigaciones donde se proponen metodologías alternativas [8] y donde se muestran la construcción de bancos de ensayo para la simulación de condiciones reales de carga a las cuales estaría sometido un rodamiento en particular a fin de obtener patrones de vibración que identifiquen los fallos de dicho rodamiento [9].

A pesar de las rigurosas pruebas a las que son sometidos durante las competencias, los rodamientos de la transmisión del vehículo prototipo mini Baja SAE UC no han sido evaluados con estudios no invasivos como lo es un análisis de falla por vibraciones. El conocimiento del estado de todas sus piezas no solo engloba factores económicos, a diferencia de la mayoría de la maquinaria en una planta de producción en las que son aplicados comúnmente estos análisis, sino que también podría evitar que un mal funcionamiento represente un riesgo de accidente que comprometa la seguridad integral del piloto e incluso a los espectadores, es necesario mantener bajo control el estado del rodamiento y del mismo sistema de transmisión para evitar fallas durante la competencia. Por este motivo, se realizó un estudio no invasivo de vibraciones a los rodamientos del sistema de transmisión del prototipo mini Baja

SAE UC 2004 en el que se analizaron los posibles defectos existentes [10], lo que podría contribuir a plantear soluciones que ayuden a mitigar los riesgos presentes.

## 2. Fundamentación

Las frecuencias que generan los rodamientos cuando los elementos rodantes pasan sobre una anomalía de superficie en el mismo elemento rodante o en la pista de rodadura se denominan frecuencias de falla fundamentales. Estas frecuencias son una función de la geometría del rodamiento y de la velocidad relativa entre las dos pistas de rodadura [11]. Por ejemplo, BPFO o la frecuencia de deterioro de la pista exterior de un rodamiento es físicamente el número de bolas o rodillos que pasan por un punto de la pista exterior cada vez que el eje realiza un giro completo [11]. Su valor viene dado en ciclos por minuto (cpm) y se calcula a través de la ecuación (1):

$$BPFO = 0,5Nn \left[ 1 - \left( \frac{d}{D} \right) \cos\theta \right] \quad (1)$$

Donde:

$N$ : es la velocidad de giro [rev/s]

$D$ : es el diámetro medio del rodamiento [in]

$d$ : es el diámetro de las bolas o rodillos [in]

$n$ : es el número de bolas o rodillos [adimensional]

$\theta$ : es el ángulo de contacto en el rodamiento [rad].

BPFI o la frecuencia de deterioro de la pista interior de un rodamiento, es físicamente el número de bolas o rodillos que pasan por un punto de la pista interior cada vez que el eje realiza un giro completo [11]. Viene dado en ciclos por minuto (cpm) y se calcula a través de la ecuación (2):

$$BPFI = 0,5Nn \left[ 1 + \left( \frac{d}{D} \right) \cos\theta \right] \quad (2)$$

BSF o la frecuencia de deterioro de los elementos rodantes, es desde el punto de vista físico el número de giros que realiza un elemento rodante cada vez que el eje realiza un giro completo [11]. Viene dado en ciclos por minuto (cpm) y se calcula a través de la ecuación (3):

$$BSF = 0,5N \left( \frac{D}{d} \right) \left[ 1 - \left( \frac{d}{D} \right)^2 (\cos\theta)^2 \right] \quad (3)$$

FTF o la frecuencia fundamental de tren o de deterioro de la jaula de un rodamiento, se define físicamente como el número de giros que realiza la jaula del rodamiento cada vez que el eje realiza un giro completo [11]. Viene dado en ciclos por minuto (cpm) y se calcula a través de la ecuación (4):

$$FTF = 0,5N \left[ 1 - \left( \frac{d}{D} \right) \cos\theta \right] \quad (4)$$

La Velocidad Como Amplitud de Vibración es un parámetro que permite reconocer la mayoría de los patrones de fallas primarias y de otros componentes cuando están en un estado evidente, como por ejemplo desbalanceo, desalineación, holgura mecánica, fricciones abrasivas, resonancias, pulsaciones, entre otros [12]. Generalmente se mide en pulgadas sobre segundo (sistema inglés), o en algunos casos en milímetros sobre segundo (sistema internacional). La convención es usar el valor eficaz o valor RMS. Acorde con la Norma ISO 10816 [13], el valor RMS de la velocidad como amplitud de vibración denotado por  $v_{rms}$  se determina a través de la ecuación (5):

$$v_{rms} = \sqrt{\frac{v_{max}^2 + v_{min}^2}{2}} \quad (5)$$

Donde:

$v_{max}$ : es la máxima amplitud de velocidad en el espectro de vibraciones respecto a la velocidad [in/s].

$v_{min}$ : es la mínima amplitud de velocidad en el espectro de vibraciones respecto a la velocidad [in/s].

Una representación gráfica de un espectro de vibraciones respecto a la velocidad se muestra en la Figura 1.

La severidad de vibración es un indicador de la gravedad que puede tener un defecto. La amplitud de la vibración expresa la gravedad del problema, pero es difícil establecer valores límites de la

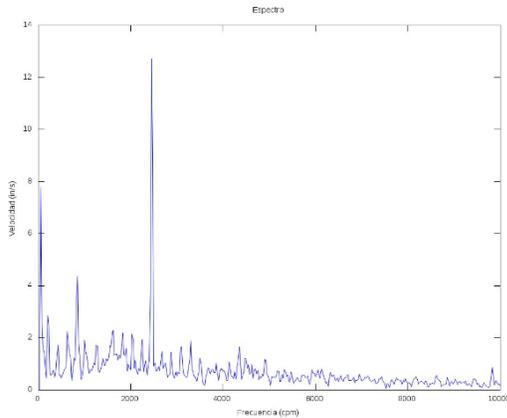


Figura 1: Espectro de vibración vista en amplitud velocidad. cpm: Ciclos Por Minuto

vibración que detecten un fallo. La finalidad del análisis de vibraciones es encontrar un aviso con suficiente tiempo para poder analizar causas y forma de resolver el problema ocasionando el paro mínimo posible en la máquina [14].

La Figura 2 extraída de la norma ISO 10816 [13], muestra los distintos niveles de severidad en base a los valores de la media cuadrática de la velocidad. Donde el color verde representa una máquina nueva o reacondicionada, el amarillo una máquina que puede operar indefinidamente, el naranja una máquina que no debería operar por tiempo prolongado y por último el color rojo son vibraciones que provocan daño a la máquina y equipos o elementos asociados.

								Valor RMS de Velocidades	
								11	0.43
								7.1	0.28
								4.5	0.18
								3.5	0.14
								2.8	0.11
								2.3	0.09
								1.4	0.06
								0.71	0.03
								mm/s	in/s
rigida	flexible	rigida	flexible	rigida	flexible	rigida	flexible	Fundación	
Bombas Mayores a 15 kW Radial, Axial, Flujo Mixto				Máquinas Medias 15kW<P<300 kW		Grandes Máquinas 300 kW <P<50MW			Tipo de Máquina
Clase IV		Clase III		Clase II		Clase I			Grupos

Figura 2: Severidad según el tipo de maquinaria [13]

*Peakvue* (valor pico) es una técnica de análisis

para señales generadas a altas frecuencias, diseñada con el objetivo de estudiar elementos cuyas fallas se presentan a altas frecuencias y baja amplitud, pero solo en una etapa incipiente del defecto, ya que cuando esta perdura en el tiempo es cuando incrementa las amplitudes y aparecen las frecuencias características de fallas de los rodamientos. Por ende, la energía vibratoria aumenta a niveles considerables y la falla ya es detectable con un aspecto de aceleración y en un ancho de banda adecuado. *Peakvue* centraliza su análisis a frecuencias altas donde se está generando la onda de esfuerzo, principalmente debido a contacto metal-metal, y toma como dato el valor pico o *peak* de los impactos generados en un pequeño periodo de tiempo para luego tomar en el espectro la frecuencia de repetición de dichos impactos [15]. La Figura 3 muestra los valores pico en distintos intervalos de tiempo en un espectro.

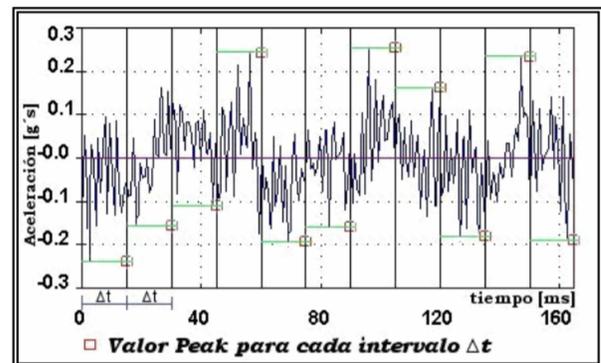


Figura 3: Valores pico en un espectro. Unidad g's: cociente entre la aceleración y la aceleración de gravedad [15]

En este contexto, la Carta Ilustrada de Diagnóstico de Vibración fue creada por el grupo analítico de Charlotte [13], formado en 1974, y se encarga de la sofisticación de estudios y pruebas en el área de análisis de vibración, control de ruido, y los programas de mantenimiento predictivo. Este grupo ha desarrollado una serie de análisis de vibraciones y seminarios de mantenimiento predictivo que se está enseñando en lugares de todo el mundo y permite tener una referencia de posibles causas de falla en los rodamientos de un sistema. Un extracto de esta carta se muestra en la Figura 4.

TABLA 1 - CARTA ILUSTRADA DE DIAGNOSTICO DE VIBRACIÓN

FUENTE DEL PROBLEMA	ESPECTRO TÍPICO	RELACIÓN DE FASE	OBSERVACIONES
C. Desalineación de Rodamiento Inclinado Sobre el Eje			Un rodamiento inclinado genera una vibración Axial considerable. Puede causar un movimiento torsional con un cambio de fase aproximado de 180° de arriba a abajo y de lado a lado cuando se mide en dirección Axial de la misma carcasa del rodamiento. Intentos de alinear el eje o balancear el rotor no alivian el problema. Es necesario remover el cojinete e instalarlo correctamente.

Figura 4: Carta Ilustrada de Diagnostico de Vibración [10]

### 3. Metodología

El estudio realizado a los rodamientos del sistema de transmisión del prototipo BAJA SAE 2004 comprendió las etapas que se indican a continuación.

Etapas 1. Ubicación y Especificación de cada rodamiento utilizado en el sistema de transmisión: Para esto, se empleó la información suministrada por Santana y Matos [16].

Etapas 2. Medición y obtención de datos: Se fijaron las condiciones bajo las cuales se realizarían las mediciones (velocidad de giro del eje de transmisión, disposición del sistema de transmisión); se configuraron los instrumentos de medición, se realizaron las mediciones de velocidad de giro del eje de transmisión acorde a lo establecido en la norma 10816-1995[13], y se efectuaron las mediciones de vibraciones mecánicas usando el escáner de vibraciones mecánicas Skf Microlog analyzer AX series - CMXA 80- bajo distintas condiciones de prueba.

Etapas 3. Obtención de las frecuencias de falla para cada rodamiento del sistema de transmisión: a través de las ecuaciones (1), (2), (3) y (4) se determinan las respectivas frecuencias de falla para cada rodamiento del sistema de transmisión.

Etapas 4. Estudio de los datos obtenidos: Se graficaron los espectros a partir de las mediciones hechas, y se compararon las frecuencias pico de cada espectro con las frecuencias de falla obtenidas en la Etapa 1, utilizando la técnica *Pekavue* para determinar la localización de las fallas. Luego, se calcularon los valores RMS según el valor pico que refleje alguna falla en el rodamiento, para conocer qué tan severa es la vibración; para esto se comparó dicho valor RMS con los de la tabla de severidad de vibración mecánica establecida en la norma ISO 10816. Finalmente, en los casos donde la comparación arrojó la existencia de una

falla, al no contarse con evaluaciones previas que indicasen las posibles causas de falla de los rodamientos, siguiendo lo planteado por Ruiz *et al* [17], se empleó la Carta Ilustrada de Diagnóstico de Vibración para determinar la posible causa de falla en el respectivo rodamiento.

### 4. Discusión de resultados

La ubicación de cada rodamiento en el sistema de transmisión del prototipo Baja SAE 2004 se muestra en la Figura 5. Se tiene para este estudio un rodamiento en cada cubo de rueda y un rodamiento en cada salida de la caja de la transmisión.



Figura 5: Ubicación de los rodamientos en el sistema de transmisión

Las especificaciones geométricas de cada rodamiento sometido a estudio se muestran en la Tabla 1, Tabla 2 y Tabla 3.

Tabla 1: Especificaciones del rodamiento 6004-2RSH

Diámetro efectivo	31 mm
Diámetro de las bolas	6,35 mm
Número de bolas	9
Ángulo de contacto	0°
Tipo de rodamiento	Rodamiento rígido de bolas

Se establecen como velocidades de giro del eje de transmisión las correspondientes a la primera velocidad y la segunda velocidad del prototipo Baja SAE 2004. A través de medición se determina que

Tabla 2: Especificaciones del rodamiento 6007-2Z

Diámetro efectivo	48,5 mm
Diámetro de las bolas	7,938 mm
Número de bolas	11
Ángulo de contacto	0°
Tipo de rodamiento	Rodamiento rígido de bolas

Tabla 3: Especificaciones del rodamiento NNF-5006 ADB-2LSV

Diámetro interno	-42,215 mm
Diámetro de los rodillos	5,499 mm
Número de rodillos por fila	24
Ángulo de contacto	0°
Tipo de rodamiento	Rodamiento de rodillos cilíndricos de doble fila

estas velocidades de giro son 115 rev/min y 210 rev/min respectivamente.

Debido a que el estudio se centra en un sistema de transmisión de un prototipo mecánico todo terreno, fue necesario establecer criterios de seguridad para poder adquirir la información necesaria de forma segura. Considerando esto, se procedió a suspender en el aire las ruedas traseras que generan la tracción mediante el uso de pedestales, y de esta forma permitirles girar libremente sin que el prototipo se trasladara de ubicación, dejando a disposición el sistema de transmisión para poder tomar la data.

Se aseguró que el instrumento necesario para la toma de data estuviera configurado a las necesidades de la investigación, de tal forma que manejara las variables requeridas, como velocidad, ciclos por minuto, cantidad de muestras por medición, entre otros. Se estableció trabajar con 10000 ciclos por minuto para cada muestra tomada en cada una de las direcciones (horizontal, vertical, axial) para las cuales se realizó cada medición, tomándose 400 puntos en el intervalo entre 0 y 10000 ciclos por minuto, que es la cantidad de puntos que ofrece el escáner. Se realizaron mediciones para cada una de las velocidades de giro establecidas previamente (115 rev/min y 210 rev/min).

Realizadas las mediciones con el escáner de vibraciones mecánicas Skf Microlog analyzer AX series -CMXA 80- bajo las distintas condiciones de prueba definidas, la data arrojada por dicho escáner se vació y organizó de manera tabulada, para la posterior representación gráfica del espectro de vibración vista en amplitud velocidad. La Figura 6 muestra el espectro correspondiente a la medición axial de vibraciones en el rodamiento NNF-5006 de la rueda derecha a 115 rev/min. Este proceso se repitió para las dos velocidades de giro establecidas previamente y para cada uno de los rodamientos objeto de estudio.

Por otra parte, las frecuencias de falla para los rodamientos presentes en el sistema de transmisión se determinaron a través de las ecuaciones (1), (2), (3) y (4). Los valores correspondientes a las frecuencias de falla se muestran en la Tabla 4 y la Tabla 5.

Tabla 4: Frecuencias de falla para los rodamientos presentes en el sistema de transmisión. Velocidad de giro: 115 rev/min

Código	BPFI (cpm)	BPFO (cpm)	BSF (cpm)	FTF (cpm)
6004-2RS	623,5	411,49	537,86	45,72
6007-2Z	736,02	528,97	683,81	48,08
NNF-5006	1559,76	1200,23	867,85	50,01

Tabla 5: Frecuencias de falla para los rodamientos presentes en el sistema de transmisión. Velocidad de giro: 210 rev/min

Código	BPFI (cpm)	BPFO (cpm)	BSF (cpm)	FTF (cpm)
6004-2RS	1138,64	751,35	981,76	83,48
6007-2Z	1344,03	965,96	1248,69	87,81
NNF-5006	2848,35	2191,64	1584,29	91,31

A continuación se realiza la representación de los armónicos de las frecuencias de falla (1X, 2X, etc.

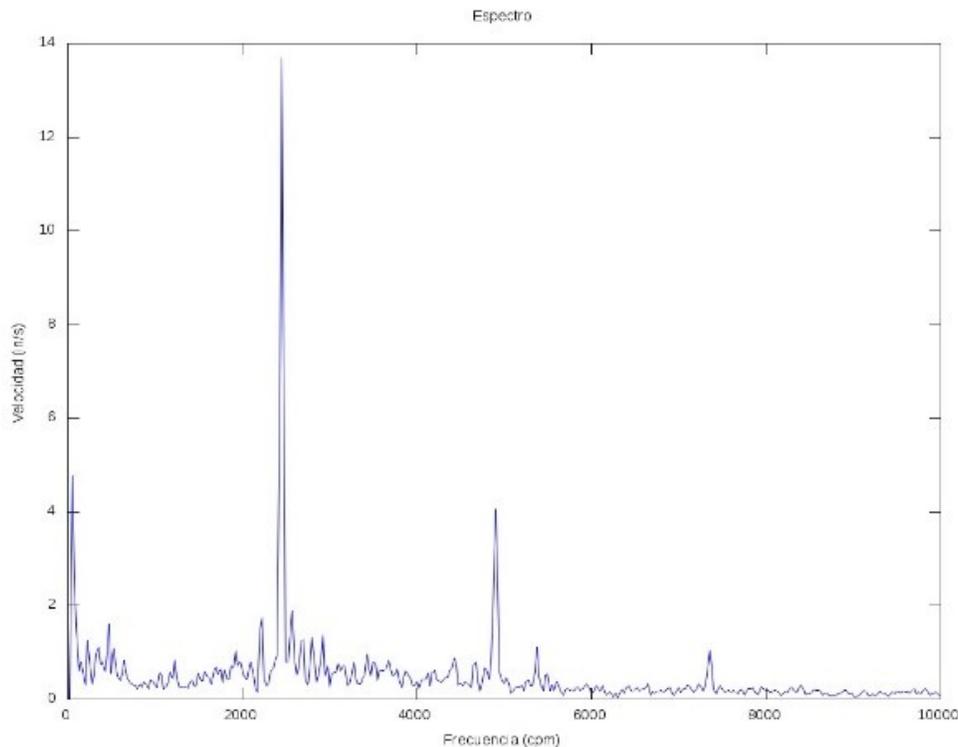


Figura 6: Espectro correspondiente a la medición axial de vibraciones en el rodamiento NNF-5006 de la rueda derecha a 115 rev/min

siendo X la frecuencia de falla calculada para cada rodamiento y cada tipo de deterioro – BPF1, BPFO, BSF, FTF – indicada en la Tabla 4 o Tabla 5 según corresponda) para una comparación completa entre las curvas de los espectros y los valores de frecuencia de falla, indispensable para conocer los defectos en los rodamientos. Los valores de frecuencia armónica serán expresados según la amplitud total de la frecuencia evaluada. Para el estudio actual se evaluaron hasta 10000 ciclos por minuto para cada medición. Las Figuras 7, 8, 9 y 10 muestran la representación del Espectro en conjunto con los armónicos de las frecuencias de falla correspondiente a la a la medición axial de vibraciones en el rodamiento NNF-5006 de la rueda derecha a 115 rev/min.

En relación a la frecuencia de falla en la pista interna del rodamiento en la Figura 7 se observan coincidencias entre las BPF1 a 1X (1560 ciclos por minuto), 2X (3120 ciclos por minuto) y 3X (4680 ciclos por minuto) y varias frecuencias de pico con amplitudes 0,5876 in/s, 0,7606 in/s

y 0,7858 in/s, respectivamente. La existencia de varias coincidencias de frecuencia de picos en el espectro con bajos armónicos de frecuencias de falla consecutivos, podría indicar la consecuencia de un rodamiento con defectos incipientes que no fueron atacados inmediatamente y que se agravaron con el tiempo. Entonces, se infiere que existe una falla en la pista interna del rodamiento, y esta a su vez podría estar causando vibraciones que pueden afectar el funcionamiento del prototipo, por lo que es necesario evaluar la severidad de dichas vibraciones.

Para esto se calcula el valor eficaz utilizando la ecuación (5), donde se tiene para este caso que  $v_{rms} = 0,4154$  in/s. Comparando este valor con los niveles de severidades de la norma ISO 10816 (Figura 2), se aprecia que el valor eficaz excede el rango aceptable de vibraciones, por lo que se infiere que el o los defectos presentes en la pista interna del rodamiento puede ser perjudicial para el sistema de transmisión del prototipo.

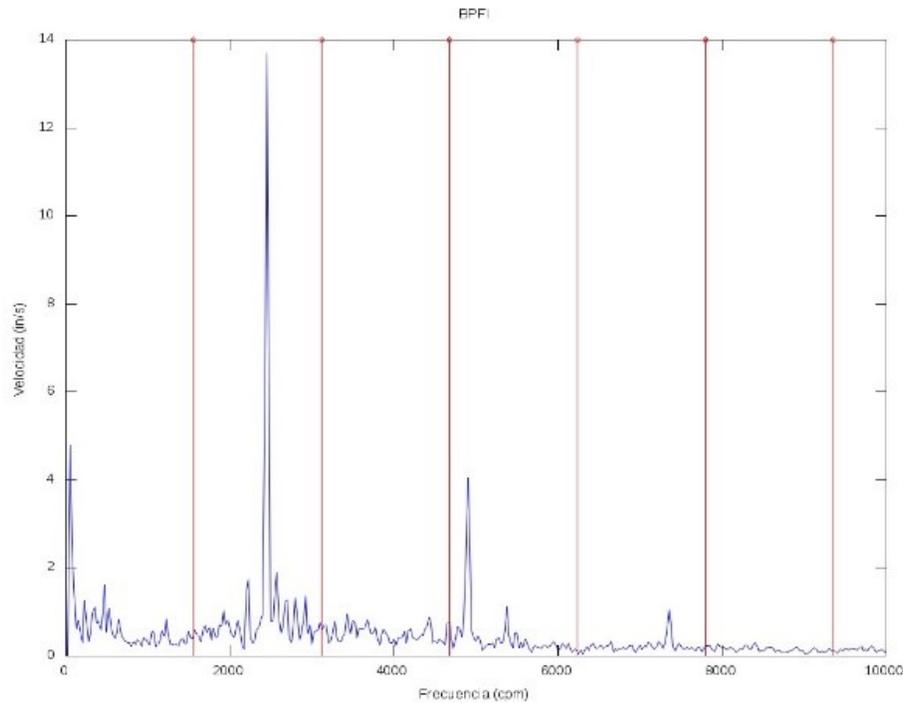


Figura 7: Armónicos de las frecuencias de falla de pista interna sobre el espectro de vibraciones axial en el rodamiento NNF-5006 de la rueda derecha a 115 rev/min

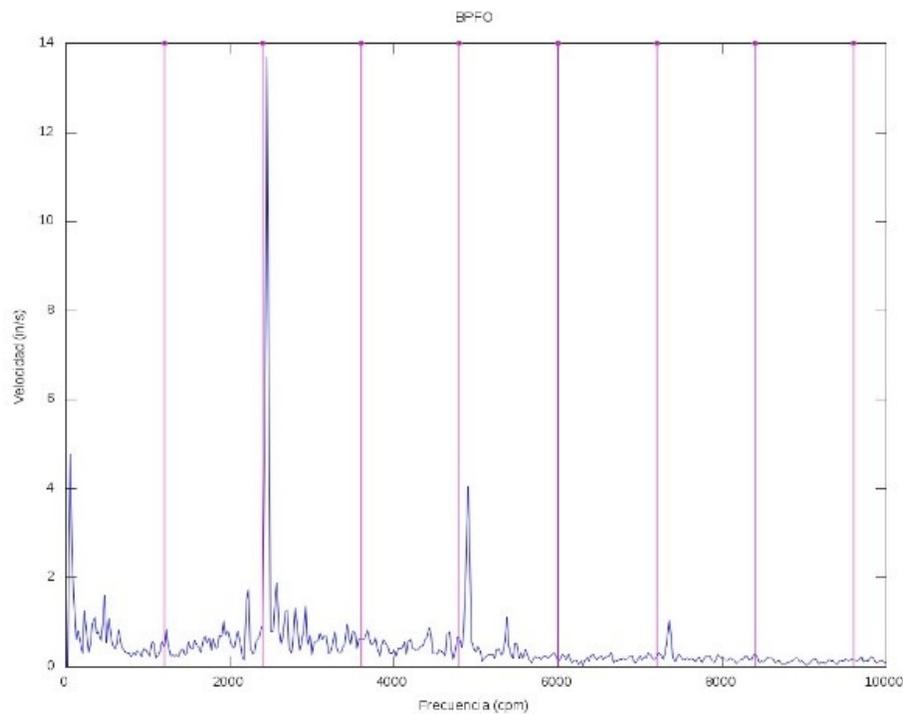


Figura 8: Armónicos de las frecuencias de falla de pista externa sobre el espectro de vibraciones axial en el rodamiento NNF-5006 de la rueda derecha a 115 rev/min

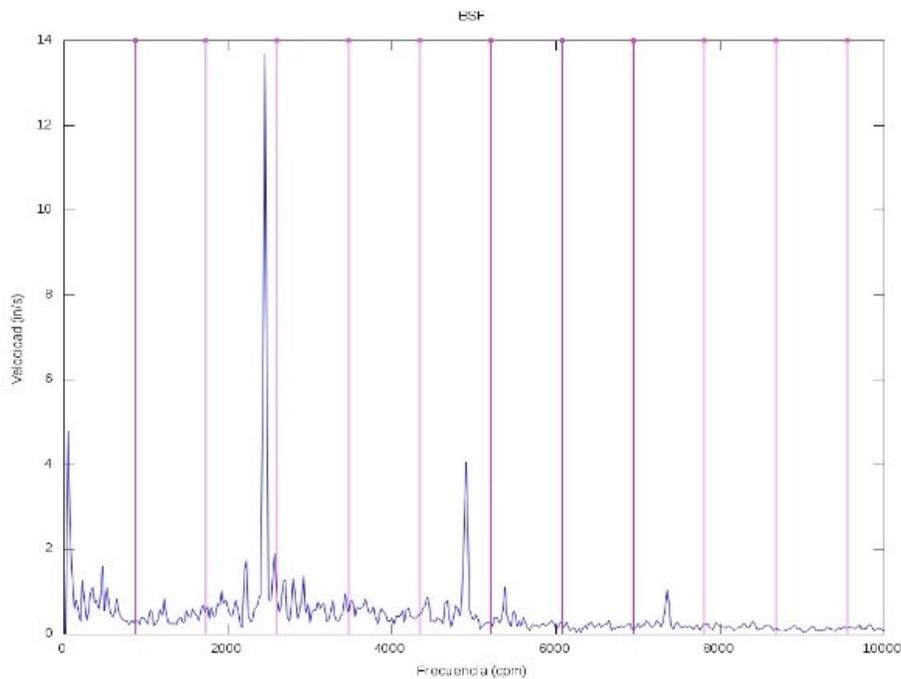


Figura 9: Armónicos de las frecuencias de falla de un rodillo sobre el espectro de vibraciones axial en el rodamiento NNF-5006 de la rueda derecha a 115 rev/min

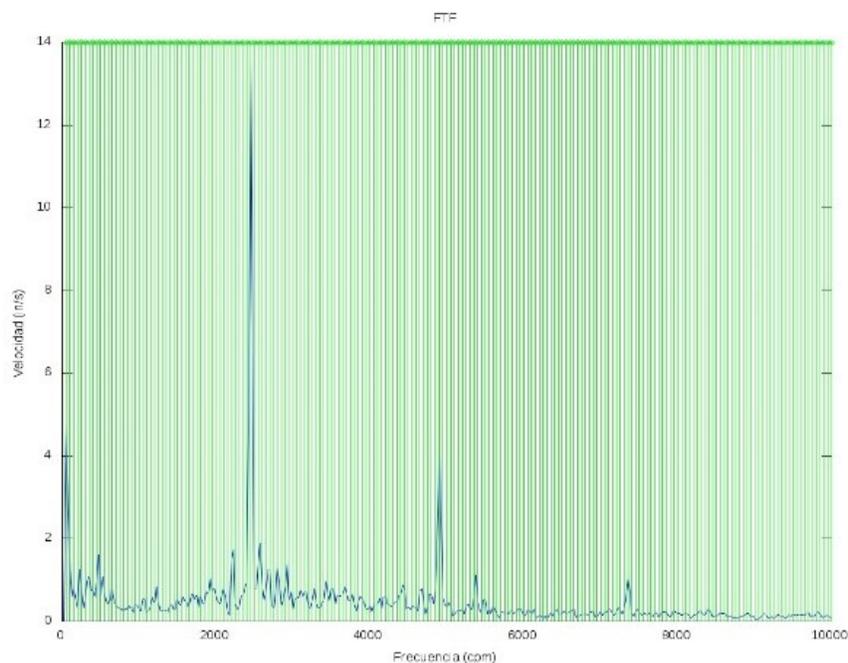


Figura 10: Armónicos de las frecuencias de falla de la jaula sobre el espectro de vibraciones axial en el rodamiento NNF-5006 de la rueda derecha a 115 rev/min.

Adicionalmente, acorde con lo indicado en la Carta Ilustrada de Diagnóstico de Vibración (un extracto de esta se muestra Figura 4), en virtud que las coincidencias entre las BPFi y las frecuencias de pico se da a 1X (1560 ciclos por minuto), 2X (3120 ciclos por minuto) y 3X (4680 ciclos por minuto), se infiere que la posible causa de falla sea que el rodamiento se encuentre inclinado sobre el eje de transmisión. Esta carta indica, a su vez, que se requiere remover el cojinete e instalarlo correctamente.

En la Figura 8 se observa como un BPFO en 1X coincide con una frecuencia pico de 0,8376 in/s, por lo que se puede deducir que existe algún defecto en la pista externa, cuya severidad de vibración según la norma ISO 10816, con un  $v_{rms} = 0,5922$  in/s, se podría considerar como muy grave.

En relación a la posibilidad de falla en los rodillos, en la Figura 9 se observa la ocurrencia de un pico a la frecuencia de 1750 ciclos por minuto con amplitud de espectro de 0,6482 in/s en el armónico 2X, por lo que se deduce que existe una falla en al menos un elemento rodante. Aplicando la ecuación (5) se obtiene  $v_{rms} = 0,45838$  in/s, que, según la norma de severidad ISO-10816, indica que el problema es crítico.

Por último se compara, a través de la Figura 10, el espectro con la frecuencia de falla de la jaula desde el mismo pico a 1750 ciclos por minuto donde se apreció una falla por elemento rodante. También se observó un pico para el armónico 35X, no obstante también se visualiza la existencia de una banda en ese mismo punto por lo que se determina un posible desperfecto en la jaula del rodamiento.

El análisis realizado al caso particular del espectro de vibraciones axial en rodamiento NNF-5006 de la rueda derecha a 115 rev/min, se realizó de la misma forma a este rodamiento en dirección horizontal y vertical, y en estas tres direcciones a 210 rev/min. De la misma manera, se realizó el mismo análisis al resto de los rodamientos del sistema de transmisión del prototipo Baja SAE (6007-2Z, 6004-2RS, NNF-5006 de la rueda izquierda), a las dos velocidades de giro previamente establecidas (115 rev/min y 210 rev/min). Los resultados obtenidos en cada análisis en relación a las fallas y severidades de las

fallas de los rodamientos estudiados se resumen en las tablas 6 y 7.

Tabla 6: Fallas y severidades de los rodamientos estudiados detectadas por vibraciones para una velocidad de giro de 115 rev/min

Rodamiento	Dirección	BPFI	BPFO	BSF	FTF
6007-2Z	Axial	✓	✓	✓	-
	Horizontal	✓	✓	-	-
	Vertical	✓	✓	-	-
6004-2RS	Axial	✓	✓	✓	-
	Horizontal	✓	✓	✓	-
	Vertical	✓	✓	✓	-
NNF-5006 (rueda der.)	Axial	✓	✓	✓	✓
	Horizontal	-	✓	✓	-
	Vertical	✓	✓	-	-
NNF-5006 (rueda izq.)	Axial	-	✓	✓	-
	Horizontal	✓	✓	✓	-
	Vertical	-	-	✓	✓
Severidad		Leve		Aceptable	
		No aceptable		Crítico	

Tabla 7: Fallas y severidades de los rodamientos estudiados detectadas por vibraciones para una velocidad de giro de 210 rev/min

Rodamiento	Dirección	BPFI	BPFO	BSF	FTF
6007-2Z	Axial	-	-	-	-
	Horizontal	-	-	-	-
	Vertical	-	-	✓	-
6004-2RS	Axial	-	-	-	-
	Horizontal	-	-	✓	-
	Vertical	-	-	✓	-
NNF-5006 (rueda der.)	Axial	-	-	-	-
	Horizontal	-	-	-	-
	Vertical	✓	-	✓	-
NNF-5006 (rueda izq.)	Axial	-	-	-	-
	Horizontal	✓	✓	✓	-
	Vertical	-	-	-	-
Severidad		Leve		Aceptable	
		No aceptable		Crítico	

En el mismo orden de ideas, acorde a lo establecido la Carta Ilustrada de Diagnóstico de Vibración creada por el grupo analítico de Charlotte, las posibles causas de los defectos presentados por los rodamientos se indican a continuación:

En el rodamiento 6007-2Z, a partir del espectro de medición vertical comparado con los armónicos de la frecuencia de deterioro de los elementos

rodantes (BSF) a 210 rev/min, se determina como posible causa de defecto la desalineación paralela del eje de transmisión con respecto al acople derecho a la caja.

En el rodamiento 6004-2RS, la forma de los espectros de las mediciones hechas para este rodamiento, no se puede determinar la posible causa de los defectos del rodamiento a partir de lo indicado en la Carta Ilustrada de Diagnóstico de Vibración.

En el rodamiento NNF-5006 de la rueda derecha, a partir del espectro de medición axial comparado con los armónicos de la frecuencia de deterioro de la pista exterior de un rodamiento (BPFO) a 115 rev/min, se determina como posible causa de defecto que el rodamiento se encuentra inclinado sobre el eje de transmisión.

En el rodamiento NNF-5006 de la rueda izquierda, a partir del espectro de medición horizontal comparado con los armónicos de la frecuencia de deterioro de la pista interior de un rodamiento (BPFI) y comparado con los armónicos de la frecuencia de deterioro de la pista exterior de un rodamiento (BPFO), ambos a 210 rev/min, se determina como posible causa de defecto la desalineación paralela del eje de transmisión con respecto a la rueda izquierda.

A partir de los resultados obtenidos se puede observar que:

- Todos los rodamientos presentaron al menos dos defectos de severidad crítica a 115 rev/min, mientras que a 210 rev/min hubo poca evidencia de fallas.
- La falla más recurrente fue la presencia de defectos en la pista externa, y la que menos se manifestó fue el defecto en la jaula de los rodamientos.
- A pesar de ser un mismo rodamiento el que se estudia y la medición de vibraciones en la misma dirección, en el caso donde se estudió la medición axial de vibraciones del rodamiento NNF-5006 de la rueda trasera derecha a 115 y 210 rev/min, se observó la diferencia de velocidades de rotación a las que trabaja el rodamiento influye en las vibraciones causadas por los defectos del rodamiento.
- El eje de transmisión posiblemente presenta desalineación paralela con respecto al acople derecho de la caja, según el espectro de vibraciones en la medición vertical del rodamiento 6007-2Z a 210 rev/min, a lo que se pueden atribuir los defectos en pista interna, externa y en una bola del rodamiento.
- El espectro de medición horizontal del rodamiento de la rueda izquierda a 210 rev/min dejó en evidencia que sus defectos en la pista interna, pista externa y al menos uno de sus rodillos, posiblemente sean consecuencia de una desalineación paralela con respecto a la chumacera de la rueda izquierda.
- Según el espectro de la medición axial a 115 rev/min en el rodamiento NNF-5006, es probable que los defectos detectados por el análisis de vibraciones sean consecuencia de un mal montaje o alguna deformación en el rodamiento por un impacto sufrido por el prototipo Baja SAE, pues el comportamiento del espectro sugiere que el rodamiento tiene una inclinación sobre el eje de transmisión.
- Por la forma en la que se presentaron los espectros de vibración, no se puede determinar la posible causa de los defectos del rodamiento 6004-2RS aplicando un análisis de vibraciones al mismo.
- Los dos rodamientos NNF-5006, cuyas especificaciones eran exactamente iguales y cumplían el mismo rol en el sistema de transmisión del prototipo, presentaron las mismas fallas, pese a que fueron detectadas en mediciones de direcciones distintas.
- A pesar de haber realizado el análisis de vibraciones a dos velocidades de rotación distintas, en el rodamiento NNF-5006 de la rueda izquierda los defectos de la pista interna, la pista externa y de uno de los rodillos hicieron presencia a ambas velocidades y en la misma dirección de la medición (horizontal), aun cuando se observen notables diferencias entre los espectros de vibración que estas puedan tener.

## 5. Conclusiones

El estudio realizado deja en evidencia que la posibilidad de falla en rodamientos a través estudio no invasivo de vibraciones es sensible a la velocidad de giro del eje de transmisión donde se ubiquen tales rodamientos, en virtud que a ciertas velocidades de giro pudiesen observarse posibilidades de falla que no se observan a otras velocidades de giro.

La detección de posibilidad de falla en rodamientos a través estudio no invasivo de vibraciones depende de la dirección (axial, horizontal, vertical) en la cual se realice la medición, en virtud que de acuerdo a las mediciones realizadas en el presente estudio en una dirección de medición en particular se detecta una posibilidad de falla que no se detecta en otras direcciones de medición.

Pueden darse casos donde a través del uso de la Carta Ilustrada de Diagnóstico de Vibración en conjunto con un espectro de vibración dado no se logre determinar la posible causa de falla de un rodamiento, por lo que se requeriría usar algún método alternativo para la determinación de la posible causa de falla.

## 6. Referencias

- [1] W. Olarte, M. Botero, y B. A. Cañon, “Análisis de vibraciones: una herramienta clave en el mantenimiento predictivo,” *Scientia et Technica*, vol. 16, no. 45, pp. 219–222, 2010.
- [2] E. Estupiñán, C. San Martín, y R. Solaligue, “Diseño e implementación de un analizador virtual de vibraciones mecánicas,” *Revista Facultad de Ingeniería-Universidad de Tarapacá*, vol. 14, no. 1, pp. 7–15, 2006.
- [3] W. Paguay y C. E. Satán, “Construcción de un simulador para el diagnóstico de modos de fallas en cojinetes planos mediante el análisis de vibraciones para la Facultad de Mecánica de La Epoch,” Trabajo de titulación previa a la obtención del título de Ingeniero de Mantenimiento, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Escuela de Ingeniería de Mantenimiento, Riobamba, Ecuador, 2017.
- [4] J. Peralta, “Desarrollo de un procedimiento para el diagnóstico de crucetas a través del análisis de vibraciones en trenes de potencia posterior y su contribución al mantenimiento predictivo,” Trabajo de titulación presentado para optar al grado académico de Ingeniero Automotriz, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Carrera de Ingeniería Automotriz, Riobamba, Ecuador, 2019.
- [5] M. Guevara y L. Landa, “Análisis de vibraciones en el motor de combustión interna J20-A a través de simulación de modos de fallas para contribuir el mantenimiento predictivo,” Trabajo de titulación previa a la obtención del título de Ingeniero Automotriz, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Escuela de Ingeniería Automotriz, Riobamba, Ecuador, 2019.
- [6] M. E. Moreno-Sánchez, J. A. Villarraga-Ossa, y R. Moreno-Sánchez, “Diagnóstico de fallas tempranas de rodamientos en mecanismos susceptibles al desbalanceo y a la desalineación,” *Revista UIS Ingenierías*, vol. 18, no. 2, pp. 187–197, 2019.
- [7] Z. Y. Medrano Hurtado y C. Pérez Tello, “Validación de señales vibro-acústicas para el diagnóstico de fallas en rodamientos en un generador síncrono,” *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, vol. 27, no. 2, pp. 51–81, 2017.
- [8] C. San Martín, E. Estupiñán, and D. San Martín, “A methodology for the detection and diagnostic of localized faults in gears and rolling bearings systems,” *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, vol. 18, no. 1, pp. 44–52, 2010.
- [9] J. E. Estévez-Rodríguez y J. M. Bernal-de Lázaro, “Análisis de los rodamientos usados en electro-ventiladores del sistema de refrigeración de motores Hyundai,” *Ingeniería Mecánica*, vol. 22, no. 2, pp. 85–91, 2019.
- [10] A. Albornoz y E. López, “Estudio de vibraciones en los rodamientos del sistema de transmisión de un Prototipo Baja SAE.” Trabajo especial de grado para optar al título de Ingeniero Mecánico, Universidad de Carabobo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica, Bárbula, Venezuela, 2016.
- [11] B. Graney and K. Starry, “Rolling Element Bearing Analysis,” *Materials Evaluation*, vol. 70, no. 1, pp. 78–85, 2011.
- [12] M. Salazar, “Determinación de espectros de aceleración para el torno Prazi SD-400 variando las condiciones de operación,” Proyecto de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico, Universidad EAFIT, Departamento de Ingeniería Mecánica, Área de Mantenimiento, Medellín, Colombia, 2007.
- [13] ISO, *ISO-10816: Vibración Mecánica*, International Organization for Standardization, 1998.
- [14] R. Moscoso, “Programa de control del mantenimiento proactivo y correctivo en equipos mecánicos del transporte de hidrocarburos en el Ecuador,” Tesis para optar el grado académico de Doctor en Ingeniería Industrial, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Industrial, Unidad de Posgrado, Lima, Perú, 2017.

- [15] A. Álvarez, “Técnicas de diagnóstico de daños incipientes en rodamientos,” Trabajo de titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de Ingeniero en Ejecución en Mecánica, Universidad de Magallanes, Facultad de Ingeniería, Departamento de Mecánica, Punta Arenas, Chile, 2005.
- [16] G. Santana y J. Matos, “Metodología para el Diseño de la Transmisión de un Vehículo Prototipo Baja SAE,” Trabajo especial de grado, Universidad de Carabobo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica, Bárbula, Venezuela, 2011.
- [17] S. M. Ruiz, L. V. Henríquez, y C. V. Caballis, “Metodología para diagnosticar fallas localizadas en equipos de una línea de producción de carbón activado,” *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, vol. 24, pp. 93–108, 2018.

# Use of synthetic series of average monthly flows for planning the operation of the Peruvian interconnected electrical system

Douglas Sarango-Julca \* , Abel Mejía-Marcacuzco , Edilberto Guevara-Pérez 

*Programa de Doctorado en Recursos Hídricos de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.*

**Abstract.-** The generation of synthetic monthly flows is a good option for planning studies of the generation of electric power of the National Interconnected Electrical System (SEIN). For research, historical hydrological series of 23 river basins are used. The best fit model for the generation of synthetic series is the Periodic Auto Regressive of Moving Averages - PARMA (1,1). For each point of interest, 300 synthetic series of 52-year long monthly flows (1965–2016) were generated, thus obtaining the expected monthly synthetic series, which was used in the Simulation Model of the Optimal Economic Operation of the Peruvian Electric System (PERSEO) for the planning of SEIN power generation during the 2016-2019 period. For the investigation, the Mantaro river basin was selected as it currently produces more than 30% of the energy generated in the SEIN. In this paper, the results obtained are presented, having found a difference of 1,70 US\$ /MWh in the value of the marginal cost of energy when comparing the use of synthetic series with the historical series of monthly flows, which implies a variation, in terms of revenue of US\$ 33,79 million for the company ELECTROPERU SA concessionaire of this basin.

**Keywords:** synthetic flows; PARMA; PERSEO; hydropower; thermoelectric power.

## Uso de series sintéticas de caudales medios mensuales en la planificación de la operación del sistema eléctrico interconectado nacional del Perú

**Resumen.-** La generación de caudales mensuales sintéticos es una buena opción para los estudios de planeamiento de la generación de energía eléctrica del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN). Para la investigación se usan series hidrológicas históricas de 23 cuencas hidrográficas. El modelo de mejor ajuste para la generación de las series sintéticas es el Auto Regresivo Periódico de Medias Móviles - PARMA (1,1). Para cada punto de interés se generaron 300 series sintéticas de caudales mensuales de 52 años de longitud (1965–2016), obteniéndose así la serie sintética mensual esperada, la cual se utilizó en el Modelo de Simulación de la Operación Económica Óptima del Sistema Eléctrico Peruano (PERSEO) para el planeamiento de la generación de energía del SEIN durante el periodo 2016-2019. Para la investigación se seleccionó la cuenca del río Mantaro por ser la que actualmente produce más del 30% de la energía generada en el SEIN. En este trabajo se presentan los resultados obtenidos, habiéndose encontrado una diferencia de 1,70 US\$/MWh en el valor del costo marginal de energía al comparar el uso de series sintéticas con las series históricas de caudales mensuales, lo que implica una variación, en términos de ingresos, de 33,79 millones US\$ para la empresa ELECTROPERU S.A. concesionaria de esta cuenca.

**Palabras clave:** caudales sintéticos; PARMA; PERSEO; centrales hidráulicas; centrales térmicas.

Recibido: 06 de febrero, 2020.

Aceptado: 27 de marzo, 2020.

### 1. Introducción

El Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería de Perú (OSINERGMIN) por

mandato de la Ley de Concesiones Eléctricas - D.L. No. 25844, debe garantizar la seguridad de la generación de energía eléctrica para el abastecimiento de la demanda del país, planificando la expansión de la generación del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) (Figura 1) mediante la optimización de los recursos hídricos y térmicos existentes y futuros usando el Modelo de Simulación de la Operación Económica Óptima del Sistema Eléctrico Peruano (PERSEO).

\* Autor para correspondencia:

Correo-e: dsarangoj@unmsm.edu.pe (D. Sarango)

Las centrales térmicas del SEIN generan el 48 % de la energía total del país utilizando el Gas Natural proveniente de Camisea y los combustibles derivados de petróleo y Carbón; el 52 % restante de la producción energética proviene de la energía hidroeléctrica generada en las centrales hidráulicas construidas en 23 cuencas hidrográficas del país.

El modelo PERSEO usa series históricas de caudales medios mensuales de ingreso a los embalses que alimentan las centrales hidroeléctricas del SEIN. Dichas series de caudales disponibles corresponden al período de 52 años (1965–2016). El modelo calcula el Costo Marginal Promedio de Energía (CMP) para el período 2016-2019 en base a la generación de energía de las centrales térmicas e hidroeléctricas, empleando un pronóstico de caudales para el período 2017-2019 en base a series históricas de caudales mensuales naturales afluentes en el punto de interés de cada cuenca hidrográfica. El CMP, es utilizado para el pago de la generación eléctrica de las empresas generadoras que forman parte del SEIN.

Con los modelos de relleno y extensión de la información de las series de caudales mensuales históricas, solo se generan valores medios de menor variabilidad que las series reales; y por la naturaleza de dichos modelos, las series así obtenidas tienden a mostrar una mayor dependencia temporal y espacial debido a que no se toma en cuenta el componente aleatorio. Una de las formas de superar este problema es usando modelos estocásticos para la generación de series sintéticas de caudales mensuales que posean características similares a las de las usadas en el modelo PERSEO. Además, es posible generar varias series sintéticas de caudales mensuales en los lugares donde solo existe una serie histórica.

En situaciones con escasez de información, como es el caso de Perú, la generación de caudales mensuales sintéticos es una buena opción para los estudios del planeamiento de la generación de energía eléctrica. Por eso, con la finalidad de mejorar la operación del sistema eléctrico interconectado nacional mediante una mejor planificación, se ha llevado a cabo esta investigación con el objetivo de evaluar la aplicabilidad de los modelos estocásticos para la

generación de series sintéticas en las centrales hidroeléctricas que conforman el SEIN y así mejorar la predictibilidad del modelo PERSEO.

## 2. Antecedentes

Existen muchos estudios sobre la generación de series sintéticas de caudales, como el análisis estocástico de la serie de tiempo de caudales mensuales del Río Caroní-Venezuela en la estación hidrométrica Guri para el período 1950–2003, utilizando el “método clásico” de Box y Jenkins [1]. Los modelos estocásticos utilizados fueron los modelos SARIMA(p,d,q)(P,D,Q)s, y un análisis de residuos condujo a la selección del modelo SARIMA(1,0,0)(0,1,1)<sub>12</sub>, como el que está mejor ajustado a los datos. Se ha realizado la modelación estocástica para la interpretación de los caudales medios anuales de la cuenca del río Santa-Perú, determinándose que el modelo autorregresivo de primer orden AR(1) es el más adecuado. Para verificar la validación del modelamiento se han comparado las estadísticas media y variancia de las series históricas y de las series generadas, encontrándose resultados aceptables [2].

También se tiene el caso de modelo para el manejo de la incertidumbre hidrológica en la planificación de la operación del sistema eléctrico Chileno (SIC), donde se determinó que el mejor modelo para la modelación de las series hidrológicas del SIC es un modelo CPARMA [3]. Otro caso es la aplicación del modelo (Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average) SARIMA(p,d,q)(P,D,Q)s para el modelamiento de las series hidrológicas del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional del Perú [4]. De igual manera se han usado series sintéticas de caudales mensuales en el cálculo del costo marginal de energía del sistema eléctrico interconectado nacional del Perú, usándose el modelo HEC-4 del Hydrological Engineering Center de los EE.UU., encontrándose que los costos marginales usando series mensuales sintéticas son menores que los obtenidos con las series mensuales históricas, para los casos de período seco, medio y húmedo [5].

También se tiene el uso de generación de series sintéticas mensuales del río Chira en el

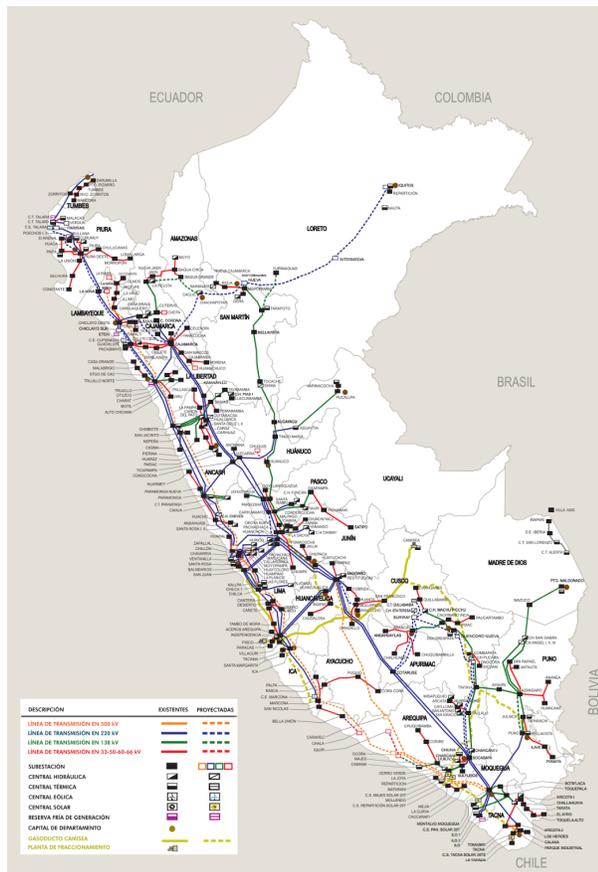


Figura 1: Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) al 2016 [6]

Perú mediante el uso de los modelos markovianos AR(2) y AR(3) que genera los mejores estadísticos históricos de las series analizada, donde para la calibración y validación se usó el programa de cómputo SAMS 2000 [7]. Otra experiencia del uso de series sintéticas de caudales mensuales mediante modelo markovianos se da en la modelación hidrológica y su efecto en los precios Spot de energía y potencia del Sistema Eléctrico Central Chileno [8].

En el sistema eléctrico de Colombia, el componente hidráulico es el 70 % de la capacidad instalada, la evolución de la hidrología desempeña un papel fundamental en la operación comercial de las centrales hidroeléctricas del sistema y por tanto en la determinación del costo de la electricidad, por ende la modelación de las series hidrológicas para la generación de series sintéticas es importante para ver la viabilidad de proyectos, usando para ello el modelo de Thomas y Fiering [9].

### 3. Metodología

#### 3.1. Modelo estocástico

Los modelos estocásticos son adecuados para describir las series cronológicas o series de tiempo hidrológicas. Las series cronológicas se dividen en dos categorías: determinísticas y estocásticas. Las series determinísticas son aquellas cuyo valor en cualquier instante se puede determinar con certeza y estas series pueden ser periódicas, semiperiódicas, o presentar tendencias o saltos.

Las series estocásticas pueden ser estacionarias o no según sus parámetros (media, varianza, etc.) sean independientes o no a través del tiempo [10].

#### 3.2. Series de tiempo o series cronológicas

Si cada valor de  $y_1, y_2, \dots, y_t$  en la serie es extraído al azar de una distribución de probabilidad, al modelar dicho proceso, se intenta describir las características de su aleatoriedad, esto ayudaría a inferir algo sobre las probabilidades asociadas con los valores futuros alternativos de la serie. Para generalizar se puede decir que la serie observada  $y_1, \dots, y_t$  es extraída de un conjunto de variables aleatorias distribuidas en forma conjunta. Si de alguna manera se pudiera especificar la función de distribución de probabilidad de la serie entonces se podría determinar la probabilidad del resultado futuro. Sin embargo, la especificación completa de la función de la distribución de probabilidad para la serie de tiempo por lo general es imposible. Por lo tanto, es usual construir un modelo simplificado de las series de tiempo que explica su aleatoriedad de manera que sea útil para pronosticar los valores futuros que son los modelos estocásticos (modelos autorregresivos, modelos de promedio móvil, etc.) [11].

#### 3.3. Análisis de las series temporales

Son tres los tipos de análisis o procedimientos metodológicos para la evaluación o estudio de series temporales como son: los métodos de descomposición, método de análisis causal y el método de Box–Jenkins. El método de descomposición, consiste en dividir la serie temporal en sus componentes: tendencia, ciclo, componente estacional y componente irregular

(aleatorio). El método de análisis causal, consiste en explicar la evolución de la serie temporal mediante una ecuación que relaciona la variable en estudio con otras variables que inciden sobre ella. El Método de Box–Jenkins, consiste en explicar la evolución de la serie temporal (variable temporal) en función del comportamiento en el pasado de la misma serie temporal. Conocida la estructura de dependencia entre valores sucesivos de la serie mediante modelos integrados autorregresivos de medias móviles (ARIMA) es posible predecir la evolución futura de la serie temporal a través de su comportamiento pasado [12].

### 3.3.1. Series de tiempo estacionarias

Un proceso estocástico es estacionario en el sentido débil, si su media y su varianza son constantes en el tiempo y si el valor de la covarianza entre dos periodos depende sólo de la distancia o rezago entre estos dos periodos y no del tiempo en el cual se calculó la covarianza. La esencia básica para el análisis estocástico es que el proceso sea estacionario, es decir que las propiedades estadísticas del proceso no varían en el tiempo. Así, las propiedades de los registros históricos se pueden utilizar para derivar series sintéticas largas. Esta propiedad estacionaria se refleja gráficamente en que los valores de la serie tienden a oscilar alrededor de una media constante y la variabilidad con respecto a esa media también permanece constante en el tiempo. Una serie temporal débilmente es estacionaria si se cumplen las siguientes ecuaciones (1), (2) y (3) según [13]:

$$E [X_t] = \mu \quad (\text{constante } \forall t) \quad (1)$$

$$\text{VAR} [X_t] = \sigma^2 \quad (\text{constante } \forall t) \quad (2)$$

$$\text{COV} [X_t, X_{t,k}] = \gamma_k (\text{independiente de } t \forall k) \quad (3)$$

### 3.3.2. Prueba de estacionariedad

Las pruebas de estacionariedad de Dickey–Fuller son mostradas como la prueba estándar para verificar la estacionariedad de una serie [14].

### 3.3.3. Modelos ARMA(p, q) y PARMA(p, q)

Existe una amplia literatura de la estimación de modelos para series estacionarias donde están definidos los modelos autorregresivos AR(p), los modelos media móvil MA(q) y los modelos ARMA(p,q) y PARMA(p,q) [11], [13], [14], [15], [16].

### 3.3.4. Estimación y validación del modelo

Para determinar el modelo adecuado para explicar el comportamiento de una serie de tiempo, la metodología consiste en cuatro pasos: identificación, estimación, examen de diagnóstico y pronóstico [13], [14], [16].

### 3.3.5. Análisis de las series de tiempo hidrológico

En el análisis de series hidrológicas es importante evaluar las propiedades estadísticas de las series de descargas medias mensuales, así como es importante identificar y evaluar las tendencias, los saltos, la estacionalidad y la no normalidad, las cuales se utilizan para la construcción de modelos matemáticos, para generar registros sintéticos de hidrología, para pronosticar los eventos hidrológicos, para detectar tendencias, saltos, para llenar datos incompletos y para extender o ampliar los registros de datos.

### 3.4. Componentes de la estructura de la serie de tiempo hidrológica

Una serie de tiempo hidrológica puede ser dividida o descompuesta en sus componentes, como son: tendencias, cambios o saltos, estacionalidad, etc.

#### 3.4.1. Saltos y tendencias

En general, los factores naturales y provocados por el hombre pueden producir tendencias graduales y cambios o saltos instantáneos en series hidrológicas. El calentamiento global y los cambios climáticos están creando conciencia en los hidrólogos de la existencia de tendencias y saltos en las series de tiempo hidrológicas. Para fines de pronóstico se deben tener series hidrológicas libres de tendencia y saltos [17].

### 3.5. Diagnósis del modelo y pronóstico

Para verificar si el modelo seleccionado es adecuado, existen dos métodos: el primero consiste en crear un modelo con más rezagos que los identificados en el paso previo y verificar que los rezagos extra no son estadísticamente significativos. El segundo método consiste en analizar los residuos del modelo seleccionado. Si el modelo seleccionado captura adecuadamente la dinámica de la variable, los errores deberían ser ruidos blancos, es decir no autocorrelacionados [15].

En la diagnóstico del modelo se requiere comprobar que las hipótesis básicas realizadas a los residuos sean ciertas. Los residuos deben tener [14], [18]:

- a) media marginal, igual a cero;
- b) variancia marginal constante;
- c) no debe existir correlación para cualquier retardo.

Adicionalmente se acostumbra exigir que los residuos sigan una distribución normal. Estos contrastes son:

- a) Para comprobar si la media es cero, la clásica prueba t-Student es usada con hipótesis nula  $H_0 : \mu = 0$
- b) Para comprobar si la varianza es constante, la prueba F de Fisher es usada para comparar la varianza de dos intervalos I y J de los residuos, con hipótesis nula  $H_0 : \sigma_I^2 = \sigma_J^2$
- c) Ausencia de correlación serial. Si los residuos se comportaran como un ruido blanco, los coeficientes de la FAC y FACP muestrales deben ser prácticamente nulos para todos los retardos.
- d) Prueba de normalidad, la clásica prueba de normalidad suele ser complementada por las pruebas de kurtosis y sesgo (asimetría) indicadas en [16].

### 3.6. Modelo PARMA (p,q)

El modelo PARMA (p,q) es una variante del modelo Autoregresivo de medias Móviles (ARMA) que permite hacer la modelación para series mensuales, y que tiene la formulación matemática expresada en [16] según la ecuación (4), ecuación (5) y ecuación (6).

$$\varphi_{\tau}(B)Y_{v,\tau} = \theta_{\tau}(B)e \quad (4)$$

Siendo lo parámetros definidos por:

$$\theta_{\tau}(B) = 1 - \varphi_{1-\tau}B^1 - \varphi_{2-\tau}B^2 - \dots - \varphi_{p-\tau}B^p \quad (5)$$

$$\theta_{\tau}(B) = 1 - \varphi_{1-\tau}B^1 - \varphi_{2-\tau}B^2 - \dots - \varphi_{q-\tau}B^q \quad (6)$$

Para la aplicación del modelo PARMA (p,q) en las cuencas hidrograficas del SEIN, se ha usado el modelo Stochastic Analysis, Modeling, and Simulation (SAMS v.2009), cuyos detalles se pueden encontrar en [16].

### 3.7. Determinación de las series sintéticas de caudales mensuales con el modelo PARMA(p,q)

Para determinar el mejor modelo PARMA(p,q) para la generación de series sintéticas de caudales mensuales en un punto de interés de una cuenca hidrográfica del SEIN, en SAMS v.2009, la secuencia es como sigue:

- Se elabora en el formato respectivo el archivo de datos a nivel mensual de la serie de caudales históricos mensuales naturales afluentes a un punto de interés de la cuenca en estudio.
- Se obtiene el histograma de caudales a nivel anual de la serie de caudales mensuales en estudio.
- Se obtiene la función de autocorrelación (AFC) y función de autocorrelación parcial (PAFC) para cada mes de la serie de caudales mensuales en estudio.
- Se realiza la normalización de los datos de caudales mensuales de la serie en estudio. Se escoge una transformación, y se analizan los resultados de los test de Skewness y Filliben.

- Si en todos los meses los resultados de los test de Skewness y Filliben son de aceptación, se inicia el proceso de escoger el mejor PARMA( $p, q$ ).
- Con SAMS v.2009 se analizan los siguientes modelos: PARMA(1,0), PARMA(1,1), PARMA(1,2), PARMA(1,3), PARMA(2,0), PARMA(2,1), PARMA(2,2), PARMA(2,3), PARMA(3,0), PARMA(3,1), PARMA(3,2), PARMA(3,3), obteniéndose para cada uno de ellos el valor del parámetro AICC (coeficiente de Akique) y SIC (error bayesiano) para cada mes de la serie de caudales analizada.
- El mejor modelo PARMA ( $p, q$ ) para la generación de caudales sintéticos a nivel mensual para la serie estudiada, es aquel que tiene los menores valores del parámetro AICC en los meses del período de avenidas (enero, febrero y marzo) [16].
- Con SAMS v.2009 y el modelo PARMA( $p, q$ ), escogido, se procede a generar 300 series sintéticas de caudales mensuales en el punto de estudio.
- Se determina la serie sintética esperada de caudales medios mensuales de las 300 series sintéticas generadas para el punto de interés, con una distribución Weibull se elabora la curva de duración de los caudales promedio multianuales de las 300 series sintéticas, y se determina el caudal promedio multianual al 50% de persistencia, el cual identifica a la serie sintética de caudal mensual más probable afluente al punto de estudio.
- El procedimiento antes descrito se aplica a las series históricas de caudales mensuales naturales afluentes a los 83 puntos de interés ubicados en las cuencas hidrográficas del SEIN.

### 3.8. Planeamiento de la generación de energía del SEIN - Modelo PERSEO

El Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN), es un sistema hidrotérmico, los suministradores de energía eléctrica son las centrales

hidroeléctricas y termoeléctricas. El consumidor se representa por la demanda total del mercado eléctrico. Las centrales hidroeléctricas turbinan el agua regulada por uno o más embalses, dispuestos o no en cascada, a lo largo de una o más cuencas hidrográficas, lo cual permite almacenar energía para usarla en diferentes periodos [19].

En la operación de los sistemas hidrotérmicos el manejo de la energía hídrica almacenada en los embalses del sistema es importante, porque evita los gastos de combustible que ocasionaría la generación térmica.

Las ecuaciones de conservación del agua dentro del modelo PERSEO, representan el balance hídrico en cada punto de interés de las cuencas hidrográficas, es así como el volumen final del embalse en la etapa  $\tau + 1$ , está representado por las ecuaciones (7), (8) y la Figura 2 [19].

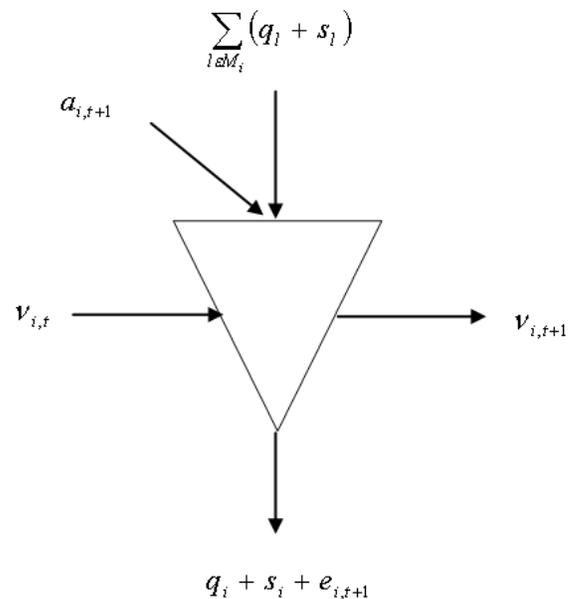


Figura 2: Balance hídrico en un embalse de regulación estacional en PERSEO

$$v_{i,\tau+1} = v_{i,\tau} + a_{i,\tau+1} + \sum_{l \in M_i} (q_l + s_l) - q_i - s_i - e_{i,\tau+1} \tag{7}$$

$$e_{i,\tau+1} = \varepsilon v_{i,\tau} \tag{8}$$

Donde:

$v_{i,\tau}$ : volumen de agua almacenado en el embalse de la  $i$ -ésima planta al inicio de la etapa  $\tau$  (igual al volumen almacenado en la etapa  $(\tau - 1)$ )

$a_{i,\tau}$ : volumen de agua afluente al embalse de la  $i$ -ésima planta hidroeléctrica durante la etapa  $\tau$ .

$s_{i,\tau}$ : volumen de agua vertido por la  $i$ -ésima planta hidroeléctrica durante la etapa  $\tau$ .

$M_i$ : conjunto de plantas hidroeléctricas aguas arriba de la  $i$ -ésima planta hidroeléctrica.

$q_l$ : volumen incremental afluente al embalse.

$q_i$ : volumen turbinados  $i$ -ésima planta hidroeléctrica.

$e_{i,\tau}$ : volumen de agua evaporada en el embalse de la  $i$ -ésima planta hidroeléctrica en la etapa  $\tau$ .

$\varepsilon$ : porcentaje de evaporación respecto del volumen almacenado en el embalse.

El modelo matemático de operación de sistemas hidrotérmicos para una secuencia hidrológica  $s$ , se puede representar a través del modelo recursivo en programación dinámica estocástica, representado por la ecuación (9) [19]:

$$\alpha_\tau(v_\tau, A_{\tau-1}) = E_{A_\tau/A_{\tau+1}} \left\{ \text{Min} \left[ \sum_{j=1}^{N_j} c_{O_j} g t_{j,t} + \alpha_{\tau+1}(v_{\tau+1}, A_\tau) \right] \right\} \quad (9)$$

$$\sum_{j \in k} g t_{j,t} + \sum_{i \in k} \rho_i q_{i,j} + \sum_{m \in \Omega(k)} ((1 - 0,5\sigma_{mk,t}) f_{mk,t} - (1 + 0,5\sigma_{mk,t}) f_{mk,t}) = d_{k,t} \quad \pi_{d_{k,\tau,S}}^{cp}$$

$$g t_{j,t} \leq \bar{g} t_{j,t} \quad \pi_{g t_{j,\tau,S}}^{cp}$$

$$f_{mk,t} \leq \bar{f}_{mk} \quad \pi_{f_{mk,\tau,S}}^{cp}$$

$$v_{i,t+1} - v_{i,t} - \sum_{l \in M_i} (q_l - s_l) + q_i + s_i = a_{i,t} - e_{i,t} \quad \pi_{a_{i,\tau,S}}^{cp}$$

$$v_{i,t,k-1} - v_{i,t,k} - \sum_{l \in M_i} (q_l + s_l) + q_i + s_i = a_{i,t}$$

$$v_{i,t} \leq \bar{v}_{i,t} \quad \pi_{v_{i,\tau,S}}^{cp}$$

$$v_{i,t} \geq \underline{v}_{i,t}$$

$$v_{i,t,k} \leq \bar{v}_i$$

$$q_{i,t} \leq \bar{q}_{i,t} \quad \pi_{q_{i,\tau,S}}^{cp}$$

$$q_{i,t} \geq \underline{q}_{i,t}$$

$$r_{i,t} \leq \bar{r}_{i,t} \quad \pi_{r_{i,\tau,S}}^{cp}$$

$$r_{i,t} \geq \underline{r}_{i,t}$$

$$f_{mk,t} = f_{mk}(\theta_m, \theta_k) \geq 0$$

$\forall k = 1, \dots, N_k; i = 1, \dots, N_i; j = 1, \dots, N_j; t = 1, \dots, N_t$

Donde:

$i$ : índice de plantas de generación hidroeléctrica.

$j$ : índice de plantas de generación térmica.

$k$ : índice de las barras equivalentes.

$s$ : índice de secuencias hidrológicas.

$t$ : índice de etapas.

$N_k$ : número total de barras equivalentes en el

sistema.

$\Omega_k$ : conjunto de líneas de transmisión conectadas a la barra equivalente  $k$ .

$f_{mk,t}$ : flujo de energía de la barra equivalente  $m$  para la barra equivalente  $k$  en la etapa  $t$ .

$\gamma_{mk,t}$ : coeficiente de pérdidas de flujo de transmisión de  $m$  para  $k$  durante la etapa  $t$ , expresado en % del flujo actual.

$d_{k,t}$ : demanda de energía en la barra equivalente  $k$  durante la etapa  $t$ .

$\bar{v}_{i,t}$ : volumen del embalse máximo.

$\underline{v}_{i,t}$ : volumen del embalse mínimo.

$\bar{v}_i$ : volumen máximo en los reservorios diarios

$q_{i,t}$ : volumen turbinado en la  $i$ -ésima planta hidroeléctrica durante la etapa  $t$ .

$\bar{q}_{i,t}$ : volumen turbinado máximo.

$\underline{q}_{i,t}$ : volumen turbinado mínimo

$r_{i,t}$ : caudales regulados

$\underline{r}_{i,t}$ : caudales regulados mínimos de irrigación, navegación o recreación

$\bar{r}_{i,t}$ : caudales regulados máximos caso de grandes avenidas.

$\pi_{d_{k,t,s}}^{CP}$ : multiplicador dual que expresa la sensibilidad del costo de producción a la variación de la demanda de la barra equivalente  $k$  durante la etapa  $t$  para la secuencia hidrológica  $s$ .

$\pi_{gt_{j,t,s}}^{CP}$ : multiplicador dual que expresa la sensibilidad del costo de producción a la variación de la capacidad disponible de generación de la  $j$ -ésima planta térmica en la etapa  $t$  para la secuencia hidrológica  $s$ .

$\pi_{f_{mk,t,s}}^{CP}$ : multiplicador dual que expresa la sensibilidad del costo de producción a la variación del flujo de energía en la barra equivalente  $m$  para la barra equivalente  $k$  en la etapa  $t$  para la secuencia hidrológica  $s$ .

$\pi_{a_{i,t,s}}^{CP}$ : multiplicador dual que expresa la sensibilidad del costo de producción a la variación del volumen de agua afluente al embalse de la  $i$ -ésima planta hidroeléctrica en la etapa  $t$  para la secuencia hidrológica  $s$ .

$\pi_{v_{i,t,s}}^{CP}$ : multiplicador dual que expresa la sensibilidad del costo de producción a la variación del volumen de agua almacenado

en el embalse de  $i$ -ésima planta hidroeléctrica durante la etapa  $t$  para la secuencia hidrológica  $s$ .

$\pi_{q_{i,t,s}}^{CP}$ : multiplicador dual que expresa la sensibilidad del costo de producción a la variación del volumen turbinado de la  $i$ -ésima planta hidroeléctrica durante la etapa  $t$  para la secuencia hidrológica  $s$ .

$\pi_{r_{i,t,s}}^{CP}$ : multiplicador dual que expresa la sensibilidad del costo de producción a la variación de los caudales regulados de la  $i$ -ésima planta hidroeléctrica durante la etapa  $t$  para la secuencia hidrológica  $s$ .

### 3.9. Planeamiento de la generación del SEIN, periodo 2016-2019

La metodología seguida para el planeamiento de la expansión de la generación de SEIN es la siguiente:

- Determinación de la demanda eléctrica y su proyección en el período 2016-2019.
- Establecimiento de las premisas económicas para el planeamiento de la expansión de la generación del SEIN.
- Determinación de las series de caudales naturales (1965-2016) afluentes a los 83 puntos de interés de las cuencas hidrográficas del SEIN.
- Determinación de las características técnicas y económicas de las centrales hidráulicas y centrales térmicas existentes del SEIN.
- Determinación de las características técnicas y económicas de las centrales hidráulicas y centrales térmicas en proyecto para la expansión del SEIN (2016-2019).
- Elección del modelo PERSEO para el planeamiento de la expansión de la generación del SEIN.
- Elaboración de los archivos de datos de entrada del modelo PERSEO.

- Obtención los resultados técnicos y económicos de la operación del SEIN utilizando series históricas de caudales medios mensuales naturales como es por ejemplo: costos marginales actualizados, volumen útil en los embalse del sistema, generación de energía y potencia en las centrales hidroeléctricas, ingreso neto por venta de energía de las centrales hidroeléctricas.
- Obtención los resultados técnicos y económicos de la operación del SEIN utilizando series sintéticas de caudales mensuales más probables afluentes a los puntos de interés del sistema.

### 3.10. Información utilizada

- Información de caudales mensuales. Se cuenta con series históricas de caudales mensuales naturales de las 23 cuencas hidrográficas del SEIN, de 52 años de datos, periodo 1965-2016. Esta información se ha obtenido de los estudios hidrológicos elaborados por las empresas generadoras de electricidad del SEIN [6].
- Demanda Eléctrica. Se consideran la proyección de la demanda eléctrica de estudio de la Fijación Tarifaria de mayo 2017 para el periodo 2016-2019 dada en la Tabla 1 [6].

Tabla 1: Demanda de potencia y energía anual proyectada del SEIN (2016-2019)

Año	Máxima Demanda Potencia (MW)	Máxima Demanda Energía (GWh)
2016	6644,0	48369,0
2017	7087,0	51693,0
2018	7563,0	55329,0
2019	8039,0	58778,0

- Situación actual del SEIN. La situación actual del SEIN esta representada por las características técnicas y económicas de las centrales hidráulicas y térmicas existentes

al 2016. En la Tabla 2 se presenta las principales empresas hidráulicas generadoras de electricidad del SEIN, a diciembre de 2016 [6].

Tabla 2: Principales empresas de generación hidráulica del SEIN – 2016

Nro.	Nombre	Abreviatura
1	CERRO DEL AGUILA S.A,	CERRO DEL AGUILA
2	CHINANGO S.A.C	CHINANGO
3	COMPAÑÍA ELECTRICA EL PLATANAL S.A.	CELEPSA
4	DUKE ENERGY EGENOR S. EN C. POR A.	EGENOR
5	EMPRESA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA AREQUIPA S.A.	EGASA
6	EMPRESA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA DEL SUR S.A.	EGESUR
7	EMPRESA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA MACHUPICCHU S.A.	EGEMSA
8	EMPRESA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA SAN GABAN S.A.	SAN GABÁN
9	EMPRESA DE GENERACIÓN HUALLAGA S.A.	HUALLAGA
10	EMPRESA DE GENERACIÓN HUANZA S.A.	EGEHUANZA
11	EMPRESA ELÉCTRICIDAD DEL PERU S.A.	ELECTROPERU
12	ENEL GENERACION PERU S.A.A.	ENELPERU
13	ENGIE ENERGIA PERU	ENGIE
14	HIDROELECTRICA HUANCHOR S.A.C.	HUANCHOR
15	STATKRAFT PERU S.A.	STATKRAFT

- Oferta de generación hidráulica y térmica comprometida y en proyecto. Para el planeamiento de la generación del SEIN, período 2016-2019, la oferta de generación hidráulica y térmica de potencia se muestra en la Tabla 3, que incluye los proyectos de generación hidráulica igual o menor a 20 MW como proyectos con Recursos Energéticos Renovables (RER), [6].

Tabla 3: Oferta de potencia de centrales hidroeléctricas y térmicas en proyecto del SEIN (2016-2019)

Año	Hidro (MW)		Termico (MW)	Combustible
	Proyecto Grande	Proyecto RER		
2016	456,00	190,00	635,70	Gas Natural
2017	34,90	-	-	-
2018	140,20	257,60	-	-
2019	-	23,30	-	-
Total	631,10	470,90	6635,70	

## 4. Resultados y discusión

### 4.1. Generación de series sintéticas de caudales medios mensuales en el SEIN

Teniendo en cuenta que son 23 cuencas hidrográficas las que se modelan en el modelo PERSEO, y que se debe determinar el modelo PARMA (p,q) más adecuado para la generación de series sintéticas de caudales mensuales en los 83 puntos de interés de estas cuencas, es que se ha toma la cuenca del río Mantaro, concesionada por ELECTROPERU S.A. como un caso de la aplicación de la metodología expuesta en los ítems 3.7 y 3.9, por ser la cuenca que produce el 30 % de la generación de energía y potencia del SEIN.

En la Figura 3 se presenta el Diagrama topológico de la cuenca del río Mantaro[6]. Se presentan los resultados principales para el punto de interés denominado embalse Lago Junin:

- En la Tabla 4 se presentan los coeficientes AICC (coeficiente de Akaike) obtenidos para diferentes modelos PARMA(p,q) aplicados a la series históricas de caudales mensuales naturales de ingreso al embalse Lago Junin. Los valores dados en la Tabla 4 indican que el modelo PARMA(1,1) es el de mejor ajuste para la generación de series sintéticas de caudales mensuales en el embalse Lago Junín, por tener los menores valores en los meses de avenidas (enero, febrero y marzo).
- Con SAMS v.2009 y el modelo PARMA(1,1), se generaron 300 series sintéticas de caudales mensuales de igual periodo de información

que la serie histórica de caudales de ingreso a Lago Junín.

- Se elaboró la curva de duración dada en la Figura 4 de los caudales promedio multianuales de las 300 series sintéticas aplicando una distribución Weibull.
- En la Figura 4 se observa que el caudal promedio multianual con una persistencia del 50 % es de  $24,73 \text{ m}^3/\text{s}$ , e identifica a la serie sintética esperada y corresponde a la serie sintética N° 231 generada con el modelo PARMA (1,1), cuyo resumen estadístico se muestra en la Tabla 5.
- Se siguió el mismo procedimiento para determinar la serie sintética esperada en los 22 puntos de interés restantes de la cuenca del río Mantaro según la Figura 3, determinándose que el modelo PARMA(1,1) es el más adecuado para generar series de caudales mensuales en esta cuenca, como se puede ver en la Tabla 6.

### 4.2. Planeamiento de la expansión de la generación del SEIN (2016-2019)

- Proyección de la Demanda Eléctrica (2016-2019). La proyección de la demanda de potencia para el período 2016-2019 corresponde a la obtenida en la Fijación Tarifaria de mayo 2017 [6], señalando que la demanda máxima de potencia es de 6.644 MW para el 2016; 7.087 MW para el 2017; 7.563 MW para el año 2018 y de 8.039 MW para el 2019, como se aprecia en la Figura 5.
- Equipamiento de la expansión de la generación del SEIN. En la Tabla 7, se presenta el programa de equipamiento hidráulico y térmico de expansión del SEIN, donde se indican las nuevas centrales hidráulicas y térmicas a operar en el período 2016-2019, así como su potencia y fecha de entrada en operación.
- Elaboración de los Archivos de datos de entrada del modelo PERSEO. Con las series

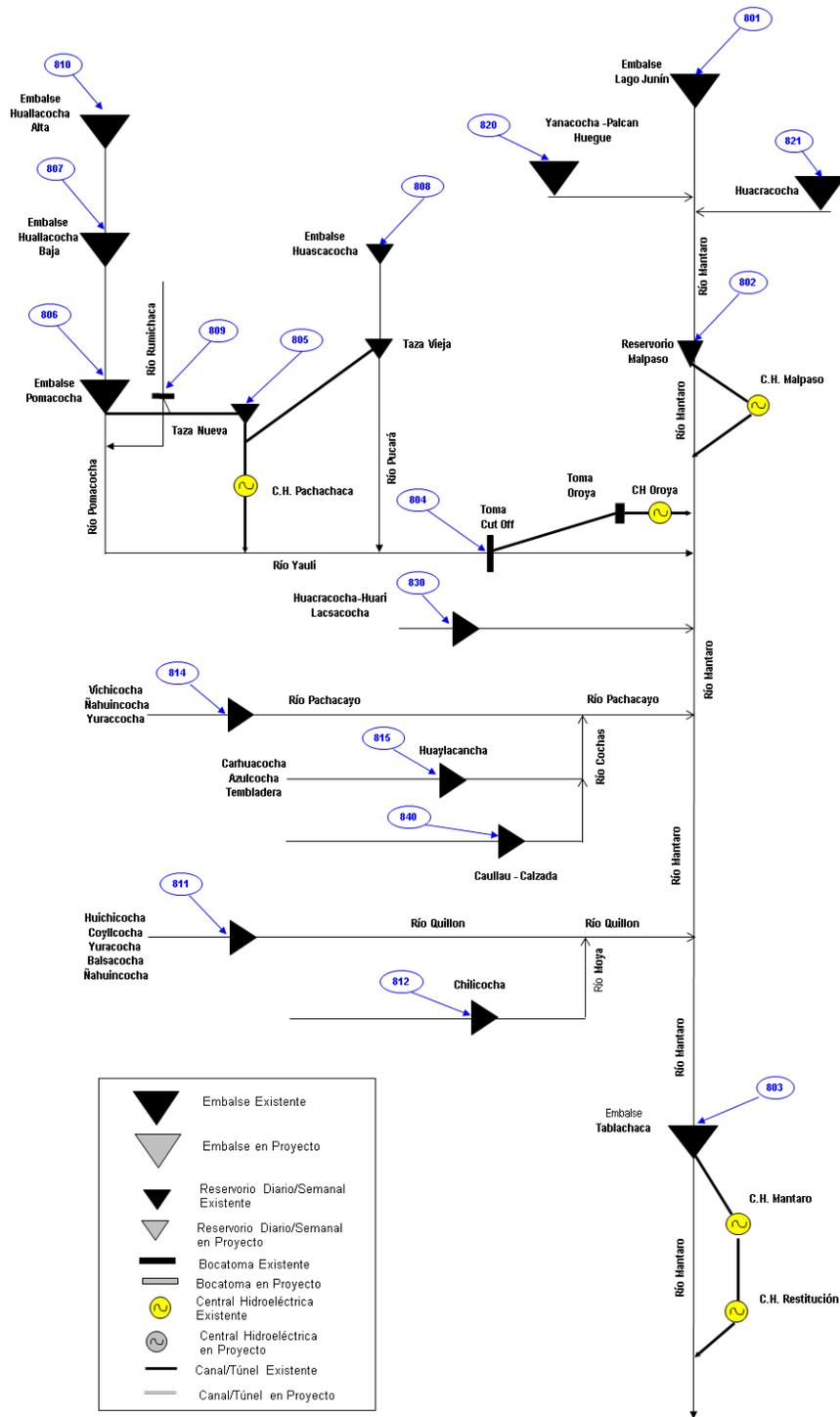


Figura 3: Diagrama topológico de la cuenca del río Mantaro [6]

histórica de caudales mensuales naturales de las cuencas hidrográficas, la proyección de demanda eléctrica para el escenario medio en el período 2016-2019, y la información técnica y económica indicada en el punto 3.9, se elaboraron los 20 archivos de datos

de entrada del modelo PERSEO. Uno de estos archivos es el SEIN.hid que contiene las series históricas de caudales mensuales naturales afluentes a los 83 puntos de las cuencas hidrográficas del SEIN.

Tabla 4: Valores de AICC en avenidas para modelos PARMA (p,q) en Lago Junín

Parma	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
(1,0)	38,9	36,8	19,2	38,6	20,6	20	6,6	-32,9	-3	27,1	31,3	28,3
(1,1)	38	34,4	19,9	40,9	20,3	21,3	6,4	-31,4	-3,8	29,1	31,9	30,6
(1,2)	38,5	38,7	18,6	41,9	20,4	24,1	8,9	-29,2	-1,8	31,2	34,2	32,9
(1,3)	39,6	36,6	22,3	39,9	21,4	26,2	1,3	-28,3	1,5	33,3	35,8	35,1
(2,0)	38	35,3	20,2	40,9	20,3	21,4	6,5	-31,3	-3,8	29,2	31,9	30,6
(2,1)	39,2	37,2	19,7	42,4	20,5	22,9	7,7	-29,1	-1,5	31,4	34,2	32,8
(2,2)	40,9	35,3	18,8	38,3	22,9	22,2	7,8	-27,2	0,5	32,4	36,2	34,2
(2,3)	41,8	39,5	24	38,6	20,8	27,8	5,6	-26,1	0,9	35,9	37,7	37,9
(3,0)	38,7	37,5	20,2	39,6	21,9	23,7	8,5	-29,1	-2	31,3	34,2	32,9
(3,1)	202,3	89,7	78,8	42,1	23,4	25,5	10,9	-27,7	-10	26,8	-15,7	-21,9
(3,2)	42,8	39,9	21,4	38,8	20,3	23,3	10,2	-28,1	-0,4	34,4	38,4	31,5
(3,3)	45,4	41,9	23,4	38,8	20,6	27,3	7	-24,3	3	38,2	41,3	38,5

Tabla 5: Serie sintética esperada de caudales mensuales de ingreso al Lago Junin - Serie sintética N° 231 (1965-2016)

Año	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	PROM
Prom	40,8	58,5	60,7	39,3	16,8	9,7	7,9	8,3	8,9	9,9	13,2	23	24,7
Dvest	21,4	34,5	21,2	20,2	9,6	4,1	3,5	4,5	4,3	3,3	9,6	19	7,3
Max	121,9	199,3	108,5	100,7	56,7	26	24	28,9	23,3	17,7	40,7	111,3	45
Min	5,2	7,7	12,7	3,8	4,7	2,2	2,3	2,6	2,1	2,5	3,1	2,3	11,1

Tabla 6: Puntos de interés de la cuenca río Mantaro y mejor modelo PARMA(p, q)

Serie	Puntos de Interes	Mejor modelo	Serie	Puntos de Interes	Mejor modelo
QN-801	Lago Junín	Parma(1,1)	QN-830	Estación Huari	Parma(1,1)
QN-802	Malpaso	Parma(1,1)	QN-840	Lags Calzada	Parma(1,1)
QN-803	Mantaro	Parma(1,1)	QN-901	Jaico + C.Colector	Parma(1,1)
QN-804	Cutoff	Parma(1,1)	QN-902	Altos Machay	Parma(1,1)
QN-805	Taza Vieja	Parma(1,1)	QN-903	Matacocha	Parma(1,1)
QN-806	Pomacocha	Parma(1,1)	QN-904	Incre Matacocha	Parma(1,1)
QN-807	Huallacocha Baja	Parma(1,1)	QN-905	Inc Huangush Alto	Parma(1,1)
QN-809	Rumichaca	Parma(1,1)	QN-906	Incre Huallamayo	Parma(1,1)
QN-810	Huallacocha Alta	Parma(1,1)	QN-907	Toma Manto	Parma(1,1)
QN-811	Lagunas (5) Quillón	Parma(1,1)	QN-908	Incre T. Uchuhuerta	Parma(1,1)
QN-812	Moya (Chilicocha)	Parma(1,1)	QN-909	IncreT. Huallamayo	Parma(1,1)
QN-814	Lag (3) Piñascocha	Parma(1,1)	QN-910	Laguna Victoria 1	Parma(1,1)
QN-815	Huaylacancha	Parma(1,1)	QN-911	Laguna Pacchapata	Parma(1,1)

4.3. Resultados del planeamiento de la generación del SEIN (2016-2019) – Cuenca del río Mantaro

Con el modelo PERSEO, se determina la política de optimización del planeamiento de expansión de generación de mínimo costo del SEIN. Esta expansión del sistema es técnicamente factible y garantiza el cubrimiento de la demanda eléctrica del período 2016-2019 con niveles adecuados de

confiabilidad, calidad y seguridad. Se presentan los resultados más relevantes para la cuenca del río Mantaro, que actualmente está concesionada a ELECTROPERU S.A.

- a) Resultados de costos marginales actualizados (CMA) en la Barra Mantaro.

En la Figura 6 se presenta la evolución del costo marginal actualizado (CMA) en la

Tabla 7: Programa de equipamiento del SEIN, periodo 2016-2019

Fecha de Ingreso	Nombre del Proyecto	Potencia (MW)	Fecha de Ingreso	Nombre del Proyecto	Potencia (MW)
oct-16	CH Chaglla	456	jul-18	CH Marañon	18,4
dic-16	CH 8 de Agosto	19	jul-18	CH Karpa	19
oct-16	CT Chilca 1 CS	35,7	jul-18	CH Hydrika 5	10
nov-16	CT Ilo-Nodo Sur	600	jul-18	CH Hydrika 2	4
abr-17	CH Potrero	19,9	ago-18	CH Huatziroki	11,1
dic-17	CH Yarucaya	15	nov-18	CH Hydrika 3	10
ene-18	CH La Virgen	84	oct-18	CH Hydrika 4	8
ene-18	CH Angel I-II	40	nov-18	CH Carhuac	20
ene-18	CH Angel III	20	nov-18	CH Hydrika 1	6,6
ene-18	CH Santa Lorenza	18,7	dic-18	CH Lag. Azul	20
feb-18	CH Renovantes	20	dic-18	CH Colca	12,1
mar-18	CH Tulumayo IV	56,2	ene-19	CH Zaña	13,2
abr-18	CH Manta	19,8	jun-19	CH Pallca	10,1

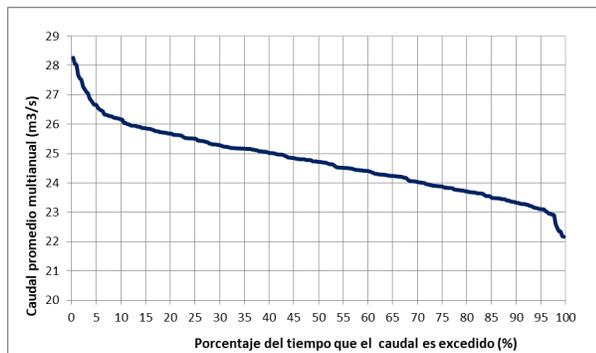


Figura 4: Curva de duración de caudales promedio multianuales de 300 series sintéticas generadas de ingreso al Lago Junin

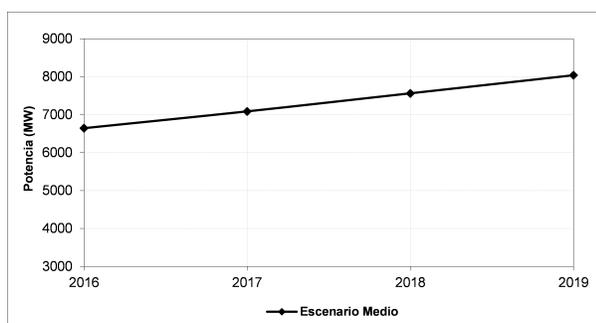


Figura 5: Proyección de la demanda de potencia del SEIN (2016-2019)

Barra Mantaro (2016-2019), el promedio de los CMA es del orden de 27,50 US\$/MWh usando series históricas de caudales y de 25,80 US\$/MWh usando series sintéticas de caudales mensuales, habiendo una diferencia

promedio de 1,70 US\$/MWh. Para los años 2016, 2017, 2018 y 2019 la diferencia en promedio es menor que 1,75, 1,72, 1,68 y 1,66 US\$/MWh respectivamente.

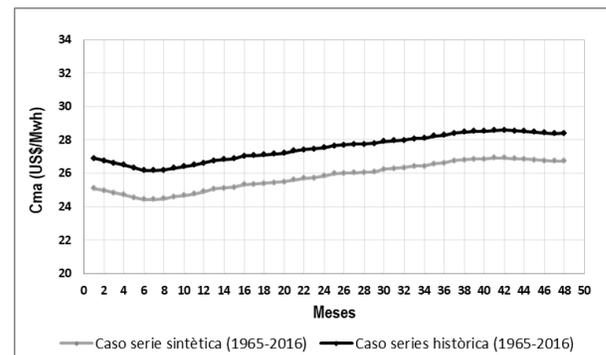


Figura 6: Costos marginales actualizados en la Barra Mantaro (2016-2019)

b) Resultados del volumen útil almacenado (VUA) en el embalse Lago Junín.

En la Figura 7 se presenta el VUA en el Lago Junín en el periodo 2016-2019, usando series históricas y sintéticas de caudales mensuales en las cuencas hidrográficas del SEIN. Teniendo para el primer caso un valor promedio anual es 125,60, 92,80, 96,63, 163,63 MMC en los años 2016, 2017, 2018 y 2019, respectivamente. Para el segundo caso, se tiene valores promedio anuales de 129,33,

135,96, 148,49 y 165,45 MMC, respectivamente. De acuerdo con estos resultados se tiene un aumento promedio de 3,73, 43,16, 51,86 y 1,82 MMC, respectivamente. El valor promedio del VUA para el periodo 2016–2019 es de 119,67 y 144,91 MMC, para la serie histórica y sintética, lo que indica un incremento promedio del orden de 25,24 MMC.

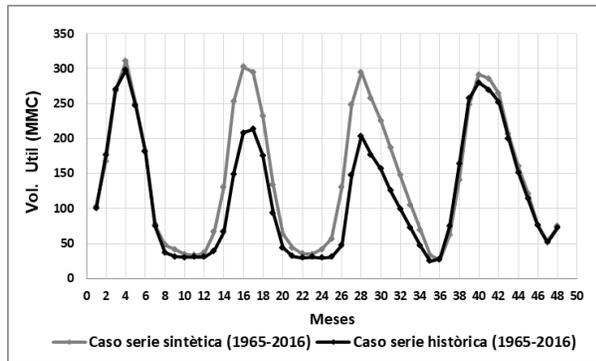


Figura 7: Volumen útil almacenado en Lago Junín (2016-2019)

- c) Resultados de la energía mensual generada (EMG) en las centrales hidroeléctricas Mantaro y Restitución.

En la Figura 8, el total de EMG en la C.H. Mantaro y C.H. Restitución, en el periodo 2016–2019, usando series históricas y series sintéticas de caudales mensuales en las cuencas hidrográficas del SEIN, es de 25842,77 y 26176,88 GWh respectivamente, ocurriendo un incremento total de 334,11 GWh.

- d) Resultados del ingreso neto por venta de energía generada (IVEG) en las centrales hidroeléctricas Mantaro y Restitución.

Para ELECTROPERU S.A., el total del IVEG en la C.H. Mantaro y C.H. restitución en el periodo 2016-2019, usando series históricas y series sintéticas de caudales mensuales en el SEIN, es de 624,03 y 592,26 millones US\$, respectivamente, produciéndose una

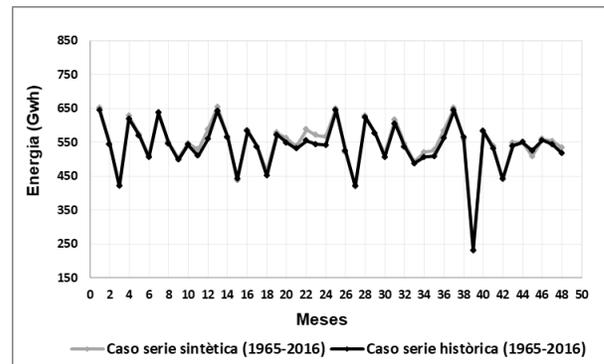


Figura 8: Energía mensual total generada en C.H. Mantaro y C.H. Restitución (2016-2019)

disminución del orden de los 31,78 millones US\$. En la Figura 9, se puede observar la evolución en el tiempo del IVEG de las centrales Mantaro y Restitución para periodo 2016–2019.

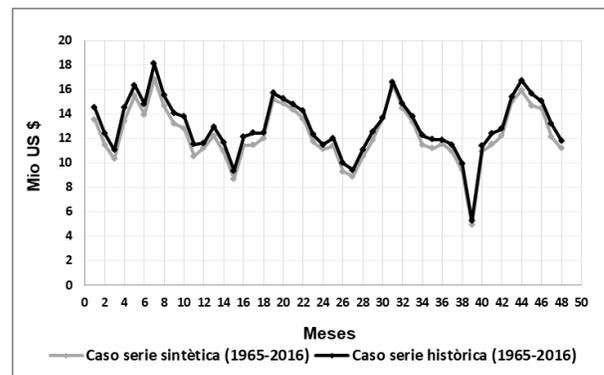


Figura 9: Ingreso neto por venta de energía C.H. Mantaro y C.H. Restitución (2016-2019)

## 5. Conclusiones

Se concluye que las series hidrológicas tienen un impacto significativo en la obtención del costo marginal del SEIN con el modelo PERSEO en el período 2016-2019. Las series hidrológicas usadas en la actualidad resultan en valores de costo marginal más altos que los que se obtendría utilizando series sintéticas hidrológicas obtenidas con el modelo autorregresivo de medias móviles periódico PARMA(1,1), determinado como el mejor modelo para la generación de series

sintéticas de caudales mensuales en las 23 cuencas hidrográficas del SEIN.

Los resultados de la investigación presentados para la cuenca del río Mantaro, escogida por ser la que actualmente produce el 32 % de la energía generada en el SEIN, muestran una diferencia en el valor del costo marginal de energía de 1,70 US\$/MWh, lo que implica una significativa variación en términos de ingresos para la empresa ELECTROPERU S.A. concesionaria de esta cuenca.

## 6. Recomendaciones

Se recomienda a OSINERGMIN que para los próximos estudios de planeamiento de la operación del SEIN dentro del estudio técnico económico de determinación de precios de potencia y energía en barras para las fijaciones tarifarias que anualmente se realizan se considere un escenario que contemple el uso de series sintéticas de caudales mensuales para las cuencas hidrográficas involucradas en el análisis.

## 7. Referencias

- [1] J. E. Guevara Bello, C. E. Vega González, y E. Guevara Pérez, “Análisis estocástico de una serie cronológica de caudales mensuales. Caso de estudio: Río Coroní, Venezuela,” *Revista Ingeniería UC*, vol. 17, no. 1, pp. 46–54, 2010.
- [2] A. M. Díaz Salas y E. Guevara, “Modelación estocástica de los caudales medios anuales en la cuenca del río Santa, Perú,” *Revista Ingeniería UC*, vol. 23, no. 2, pp. 172–185, 2016.
- [3] E. S. Palacios Galindo, “Modelo para el manejo de la incertidumbre hidrológica en la planificación de la operación del SIC,” Trabajo especial de grado de Maestría, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Ingeniería Eléctrica, UCH, 2004.
- [4] Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN), “Desarrollo de Modelos para Pronósticos Hidrológicos y de Demanda,” Perú, Reporte técnico, Mar. 2009.
- [5] D. Sarango y T. Velásquez, “Uso de Series Sintéticas de Caudales medios mensuales en el Cálculo del Costo Marginal de Energía del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional del Perú,” *Revista de Investigación de Física*, vol. 12, no. 1, pp. 59–69, 2009.
- [6] Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional, PE, “Estudio Técnico Económico de Determinación de Precios de Potencia y Energía en Barras para la Fijación Tarifaria Período Mayo 2017 – Abril 2018,” Perú, Reporte técnico, 2017.
- [7] J. Sánchez y M. Sánchez, “Generación de series sintéticas mensuales del río Chira mediante el uso de modelos markovianos,” *Anales Científicos*, vol. 70, no. 2, pp. 190–195, 2009.
- [8] E. Minder, “Modelación Hidrológica y su Efecto en los Precios Spot,” en *VIII Congreso Latinoamericano de control automático y XIII Congreso de la Asociación chilena de control automático*, 1998, pp. 139–145.
- [9] J. Moreno Cadavid y J. E. Salazar, “Generación de series sintéticas de caudales usando un Modelo matalas con medias condicionadas,” *Avances en recursos hidráulicos*, no. 17, pp. 17–24, 2008.
- [10] E. Custodio y M. R. Llamas, *Hidrología subterránea*. Barcelona, España: Omega, 2001, vol. 1.
- [11] R. S. Pindyck, D. L. Rubinfeld, y J. A. Velázquez Arellano, *Econometría: modelos y pronósticos*. México: McGraw–Hill, 2001.
- [12] J. Hernández-Alonso, *Análisis de series temporales económicas I*. Madrid: ESIC Editorial, 2009.
- [13] D. N. Gujarati y D. C. Porter, *Econometría*, 5ta ed. McGraw-Hill Interamericana, 2010.
- [14] D. Peña-Sánchez de Rivera, *Análisis de series temporales*. Madrid: Alianza Editorial, 2005.
- [15] E. Court-Monteverde y E.-W. Rengifo, *Estadísticas y Econometría Financiera*, 1st ed. Buenos Aires: Cengage Learning, 2011.
- [16] O. G. Sveinsson, J. D. Salas, a. W. L. Lane, and D. K. Frevert, *Stochastic analysis, modeling, and simulation (SAMS) version 2007, user’s manual*. Fort Collins, Colorado: . Computing Hydrology Laboratory, Department of Civil and Environmental Engineering, Colorado State University, 2007.
- [17] D. R. Maidment, *Handbook of applied hydrology*. New York: McGrawHill Book Company, 1993.
- [18] M. P. González Casimiro, “Economía aplicada iii/ekonomia aplikatua iii, upv/ehu,” en *Análisis de series temporales: Modelos ARIMA*. Bizkaia, España: SARRIKOON, 2009, vol. 04–09.
- [19] Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN), Gerencia adjunta de regulación tarifaria (GART), *Metodología del modelo PERSEO*, 2006.

# Improvement of Shared Awareness in Sensor Grid in Three Levels of CommonKADS Framework

Sedighe Bakhtiari , Mehdi N. Fesharaki \* , Ahmad Khadem-zadeh 

*Department of Computer Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University. Tehran, Iran.*

**Abstract.-** Given the need for real-time information and data as well as distributed computing, large-scale sensor grid is a great option to make more precise decisions in management and control of large-scale organizations and environments. For this purpose, it makes sense for integration of the two technologies of sensor networks and grid computing which was done here based on Observation, Orientation, Decision, Action (OODA) intelligent architecture and Elementary Loop of Function (ELF) decision making models. To this end, the simulations were conducted based on CommonKADS framework at three levels including simplicity, composition and analysis. The results of the simulation indicate that as the number of network elements (resources and users) increases, namely, the large scale performance, the level of shared awareness significantly increases. As the acquired data and knowledge are either stored or retrieved from other sources and given the large-scale resources' life reduction, the findings also show that shared awareness will not be significantly decreased with reduced resource life at a very large scale. The great note about the results is that the best mode of shared awareness is obtained when we have the highest scale of users and resources.

**Keywords:** sensor networks; grid computing; OODA; ELF; CommonKADS.

## Mejora del conocimiento compartido en malla de sensores en tres niveles del framework CommonKADS

**Resumen.-** Dada la necesidad actual, en la gestión y el control de grandes organizaciones, de información y datos en tiempo real, así como también de computación distribuida, una red de sensores a gran escala es una gran opción para la toma de decisiones precisas. Para ello, tiene sentido para la integración de las dos tecnologías de redes de sensores y computación en red que se hizo aquí sobre la base de la observación, orientación, decisión, acción (OODA) arquitectura inteligente y bucle elemental de la función (ELF) modelos de toma de decisiones. Con este fin, las simulaciones se llevaron a cabo sobre la base del marco CommonKADS en tres niveles, incluyendo simplicidad, composición y análisis. Los resultados de la simulación indican que a medida que aumenta el número de elementos de red (recursos y usuarios), a saber, el rendimiento a gran escala, el nivel de conciencia compartida aumenta significativamente. Dado que los datos y los conocimientos adquiridos se almacenan o recuperan de otras fuentes y se les da la reducción de la vida útil de los recursos a gran escala, los resultados también muestran que la conciencia compartida no se reducirá significativamente con una vida útil de los recursos reducida a gran escala. La gran nota sobre los resultados es que el mejor modo de conciencia compartida se obtiene cuando tenemos la mayor escala de usuarios y recursos.

**Palabras clave:** sensor networks; grid computing; OODA; ELF; CommonKADS.

Received: January 06, 2020.

Accepted: February 25, 2020.

### 1. Introduction

In today's age, the need for real-time information and data as well as distributed computing is deeply

felt to make more precise decisions in management and control of large-scale organizations and environments. The large-scale sensor grid creates this capability [1]. Such a sensor grid network is composed of several wireless sensor nodes. Generally, the mentioned sensor nodes own restricted resources and computing power. As a result, the computational tasks which are resource demanding and/or computationally intensive need to be partially or mostly offloaded to a place other

\* Correspondence author:  
e-mail: fesharaki@mut.ac.ir (M. Fesharaki)

than the sensor devices for prompt processing. In addition, the data collected or created by these sensor devices have to be transferred over the sensor grid network [2]. Besides, the four characteristics including distribution, decentralization, diversification and change are key features of large-scale organizations. In the framework of large-scale sensor grid, the purpose of such an infrastructure is to give freedom to any user in any functional area to create a true sense of the environment and thus to utilize the experience and results to control the environment more effectively. Challenges in this area often include the development of conceptual models for two-way information exchange, software platforms that support these new communication processes in a technology-independent way, and ways to ensure security, trust and efficiency in data exchange [3]. The Large Scale Sensor Grid is a dynamic repository for generating and storing information to produce intelligent outputs for various organizations. The Large-Scale Sensor Grid is a system that is accessible to various organizations and institutions and can be developed to meet the needs of organizations. The overall goal is to build a system that is useful for different applications and organizations with different processes, expandable over time, and can be used as a platform for receiving information and knowledge in an updated and integrated way. The large-scale sensor grid is designed to allow easy collaboration between sensors' data sources from different applications, storage and processing repositories [4]. Any application by the user proxy interface can adapt the system to meet its specific needs and manage the processes. In fact, proxies in three parts can handle the complex problem of how to modify the different workflows needed for multipurpose systems. In addition, a number of services and requirements for interoperability and exchange of information, facilities for communication and interactions between information sources and capabilities, are needed as infrastructure to meet the sensor grade communication and information needs by the sensor grid (Figure 1). In other words, the Grid has knowledge of services about

how information is sent, by whom, and with what restrictions [5].

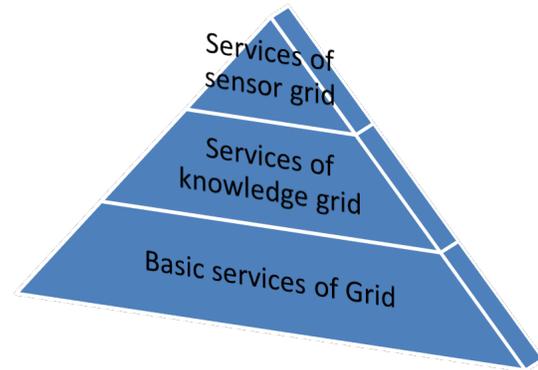


Figure 1: The relationship between services of sensor grid with other services

To this end, some similar studies have been conducted for integration of sensor networks and grid computing. For instance, the Sensor Grid Project of Singapore International University aims to utilize the computing power, storage, and grid connectivity bandwidth to support sensors with limited resources. They practitioners in this project try to have data mining and decision making in real time, and recently they have claimed that their architecture based on web-based connections between sensor networks and grid computing (based on the Globus Toolkit4) is capable of delivering distributed data mining. Similarly, the Sensor Grid project at the University of India also seeks to create a grid of grids based on the integration of web service technology into a Service Oriented Architecture (SOA), while their middleware is based on such brokers as Narada Brokering (Sensor Grid in University of Indiana, <http://www.crisisgrid.org/html/introduction.html>) [6].

In present study, using CommonKADS framework, sensor networks and grid computing were integrated based on Observation Orientation Decision Action (OODA) smart decision making models and Elementary Loop of Function (ELF) smart structure architectures. In a smart system, computational loops are constantly repeated from sensor to action, from global model to sensor processing, and from behavior generation to global

model to quantitative evaluation. These loops are repeated long enough to meet the target threshold based on the variety of sensor and action capability [7]. One of the benefits of interacting with sensor elements is improving shared awareness and thus providing a better mental model for different organizations. Being aware of what is happening in the surroundings is a matter of Shared Situation Awareness. Team members must gather and aggregate all input data from different systems, external environments, peers and others in order to gain Shared Situation Awareness. This holistic image organizes a central feature that fits into all decisions and actions [8]. Therefore, Shared Situation Awareness is referred to as the overlaps of team member’s situational awareness requirements, as shown in Figure 2.

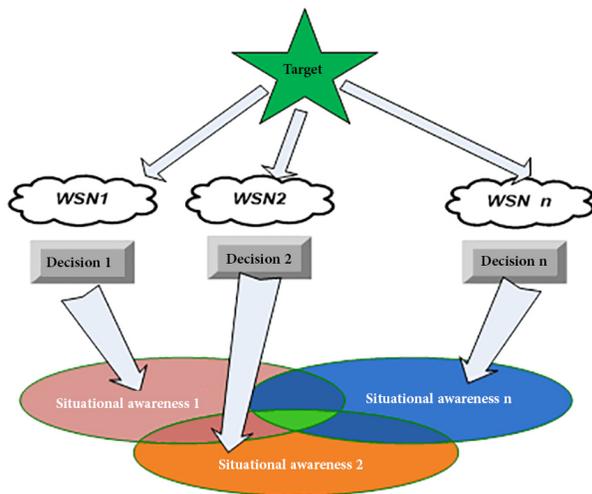


Figure 2: Shared Situation Awareness

As a result, to obtain shared situation awareness, the mental model is effective in attaining reality and situational awareness brings the mental models closer to reality. The shared awareness gained from the interaction between the sensor grid elements has a significant impact on efficient decision making in different organizations [9]. Accordingly OODA and ELF are discussed briefly as follows:

## 2. Observation Orientation Decision Action (OODA)

The Boyd’s Control Cycle or OODA was introduced in 1987 and is actually a cyclic

model with four stages including observation, orientation, decision, and action. This cycle was originally developed for military command and for aerial warfare, which was used as a closed loop for understanding human-machine interaction in command and control systems. In other words, this model was introduced to represent decision-support mechanisms for the military systems of that time, and since decision-support systems were using information merging, it was also widely used in data integration. This model is process-oriented and information-based and outlines the overall tasks of a data gathering system. At the observation stage, the sensor data is collected. In the orientation of the data, they are combined to understand the situation. In the decision phase, a plan is provided for responding and finally, the provided plan is implemented in the action phase [10]. Figure 3 depicts this control cycle where arrows indicate the amount of data flow in the loop. Extent to which the data in the loop is refined and transformed into information, the amount of data transferred to the next phase decreases. The advantage of this model is that it is closed loop and acts on its environment and sensors [11].

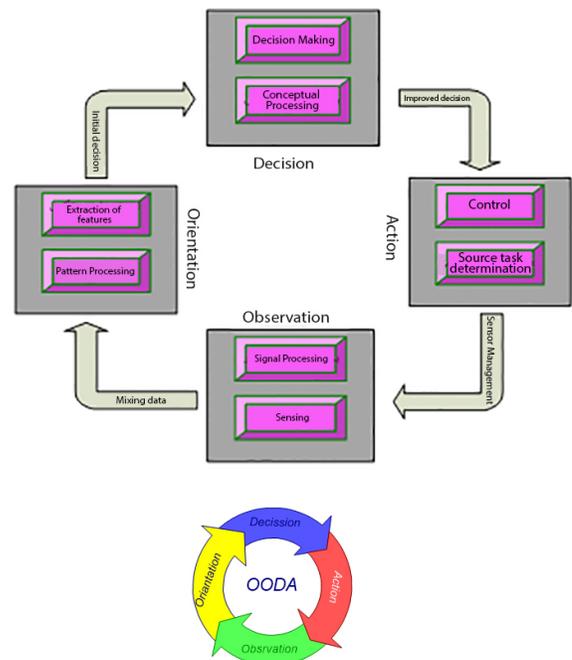


Figure 3: Boyd’s Circle (OODA)

In the OODA model, shared awareness is

equivalent to observation and orientation, and we will exit the loop if no shared awareness exists. Therefore, with the proper Shared Situation Awareness, decision making will become faster and entities and teams perform more efficient operations in the environment.

### 3. Elementary Loop of Functioning (ELF)

An architectural reference model is required to design and engineer smart/intelligent systems. In other words, with the reference model, it is possible to develop engineering models for the design and construction of intelligent systems. Using the Elementary Loop of Functioning (ELF) reference architecture, some guidelines are provided for designing and constructing a Shared Situation Awareness that can perform the tasks similar to natural intelligent systems. The ELF model's approach to the phenomenon of intelligence is a computationally, namely, a system is intelligent if it has these four basic processes: sensory processing, global modeling, evaluating and producing behavior. This model, which is a computational loop with hierarchical resolution, appears in various phenomena such as behavior, perception, cognition, emotion, problem solving, and learning. This model can be used to help formalizing and designing intelligent systems, and providing a framework for implementation of engineering systems [12]. The ELF model's processes specify how to process sensor's data, build, maintain and use knowledge bases, select targets, respond to sensor inputs, and control actions. The sensor processing trend has functions which are in charge of attention, identifying and grouping features, calculating traits, comparing observations to expectations, identifying objects and events, and analyzing status [13]. Figure 4 illustrates the process ELF model.

The process of global modeling constructs and maintains events, entities, relationships and situations. This process also provides forecasts, expectations, beliefs and estimates of possible future actions. Therefore, by storing perceptions and behaviors planned in the global model, learning is shaped here. The process of evaluating the

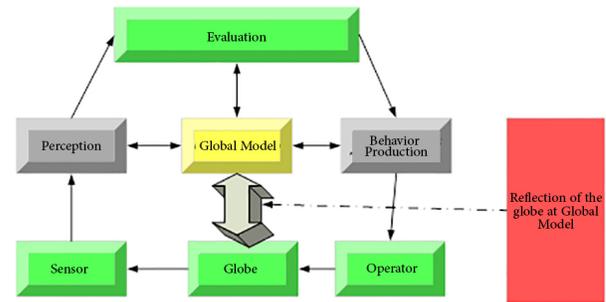


Figure 4: Elementary Loop of Functioning (ELF)

cost, benefits, risks, and expectations of the plan in question is implemented and attributed to the objects, events, and situations achieved in this model. In other words, the process determines the importance, reward or punishment, and the degree of certainty of what is provided in the global model. Finally, the production process selects the behavior of the targets and breaks down the tasks into smaller sections. It also generates plans to achieve the target, coordinating the activities required and ultimately controlling the actions. The link between the processes described is such that a control loop is provided with computational feedback[13].

### 4. Integration Based on OODA and ELF

As mentioned above, the right mental model is one of the key needs in achieving Shared Situation Awareness and ultimately making the right decisions. The mental model is a set of dynamic knowledge structures that have been well-organized and well-established over time. The large amount of data contained in the sensor should not diminish user's decision-making ability. In presenting the large scale sensor grid framework, the basis of the overall performance of the layers is based on the OODA intelligent decision-making model. The performance of the core layer or functional core of the sensor grid, which actually provides the correct mental model, is based on the ELF intelligent system architecture [14].

The overall functioning of the OODA-based large-scale sensor grid is shown in Figure 5. The observation phase is performed by the services provided in the proxy layer of sensor network.

Then, in the grid proxy, with the orientation made based on current data and prior knowledge, the most appropriate decision is made and sent to the user as a result. The resulting shared awareness is equivalent to the observation and orientation phases, and we will get out of the loop in the event of having no awareness. Therefore, with the appropriate Shared Situation Awareness, decision making will be done faster and entities and teams perform more efficient operations in the environment.

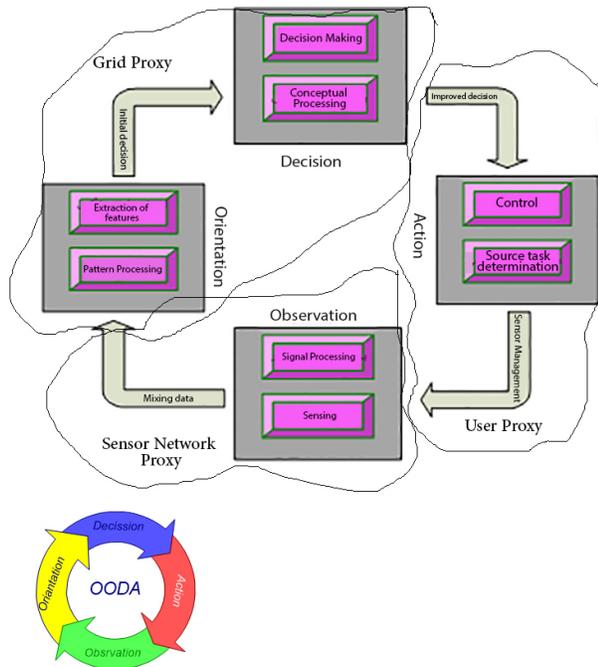


Figure 5: Overall functioning of the OODA-based large-scale sensor grid

In the intelligent system, computational loops from sensor to action, from global model to sensor processing, and from behavior generation to global model to quantitative evaluation, are constantly repeated. These loops are repeated long enough to meet the target threshold based on the variety of sensor and action capability. In other words, repeating ends when the information units in all subsystems reach a consensus on entities, events, and situations, and also the final targets are broken down into specific targets in order to create the command. Figure 6 shows the functioning of the Grid layer and how to achieve shared awareness based on the global model. In the inner circle, the

sensed results are compared according to the final targets and the plans will be regularized. Then control is then applied to the globe to provide plans-related results. In fact, intelligence in this model is provided by the interaction between top-down targets and bottom-up sensor feedback. There is also an internal link between sensor processing and the globe modeling, which provides predictions for comparison with sensor observations. In this loop, filtering is performed depending on recursive form of estimation. There is also a link between the processes of generating behavior, evaluating and modeling the globe that simulates and assesses the preliminary plans in the internal planning loop before selecting and executing the design.

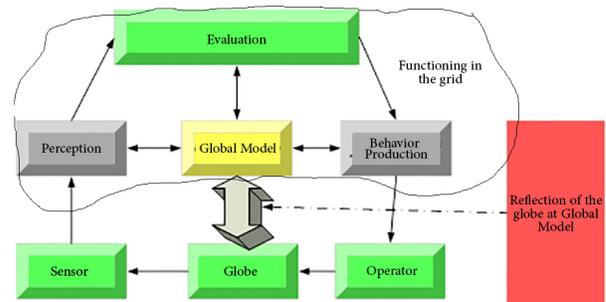


Figure 6: Functioning of grid layer based on ELF reference model

Computational loops hierarchically and repeatedly lead to deeper phenomena such as behavior, perception, cognition, emotion, problem solving, and learning. All the subsystems providing entities, events, and situations, as well as subsystems that break down the targets into sub-targets and prepare action commands, exchange the provided information units at each level and between levels. In each loop, the process of globe modeling maintains the knowledge with specification of a knowledge domain and the degree of knowledge dissociation.

### 5. Simulation

The CommonKADS (Knowledge Acquisition Design System) model was used to simulate the performance of shared awareness derived from the large-scale sensor grid system. This model is one

of the models proposed to analyze the knowledge required of such environments. Inspired by this model, a three-tower approach with three levels of analysis, composition, and simplicity is used to design shared awareness in sensor grids. This model answers three basic questions of why, what and how. The analysis level answers why questions such as existing system capabilities to solve problems, usefulness and impact on the organization based on existing cognitive theories. In fact, understanding the environment at the analysis level answers the question of why. In order to respond the question what, the composition level answers the used knowledge structure and the needed communications. Finally, for answering the how question, the simplicity level determines the implementation of computational mechanisms by presenting a methodology [15]. Figure 7 presents the conceptual framework of CoomonKADS and simulation approach of shared awareness of sensor grid.

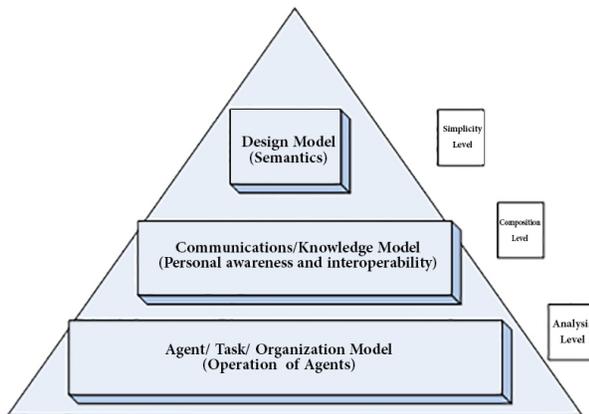


Figure 7: Conceptual framework of CoomonKADS and simulation approach of shared awareness of sensor grid

In fact, some set of threshold values should normally be defined as the necessary condition for collaboration among members to achieve shared awareness in network-centric organizations as determined by the system architect. In other words, achieving shared awareness has been formed based on individual awareness in different organizations as the result of planning and interaction and collaboration between knowledge-based agents in the environment, leading to shared awareness and

improved decision making. Figure 8 depicts the way of behavior production in sensor grid based on shared awareness.

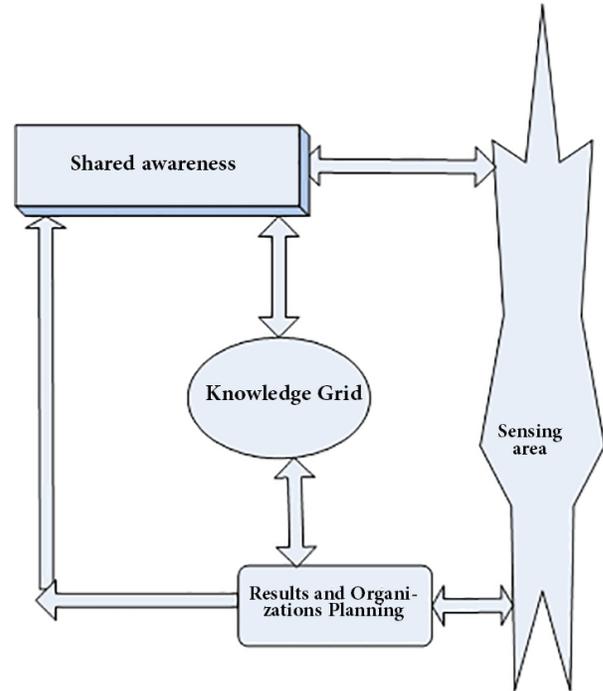


Figure 8: The way of behavior production in sensor grid based on shared awareness

For the simulation, the software Netlogo was used to simulate complex time-varying systems. In this platform, many independent agents can be implemented. In this platform and model, information exchange between resources in the environment was simulated to measure the level of awareness (Figure 9).

According to exchange between people and resources, the increased level of awareness created at a certain threshold was considered as a source of new knowledge. In addition, a level of awareness was identified randomly and the information centers were considered as any suitable information source available. In the initial simulation, each person has a level of awareness that is considered as an awareness point, and we considered a classification based on these scores:

1. 0-5 points: unaware
2. 5-10 points: aware
3. 10-15 points: well-informed

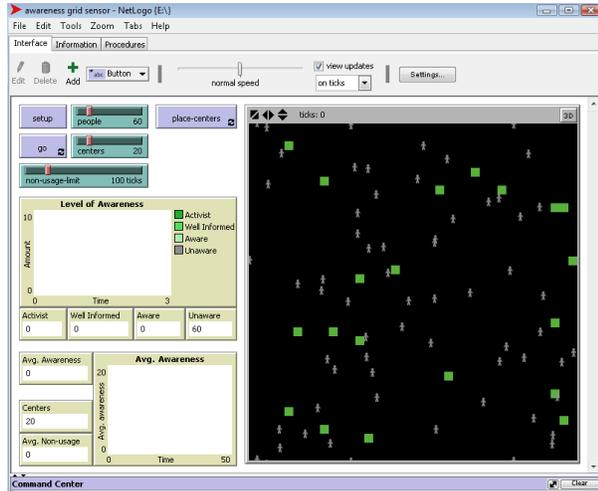


Figure 9: An overview of simulation of sensor-grid’s shared awareness in Netlogo Platform

4. Above 15 points: activist

Accordingly, an overview of user’s shared awareness is depicted in Figure 10.

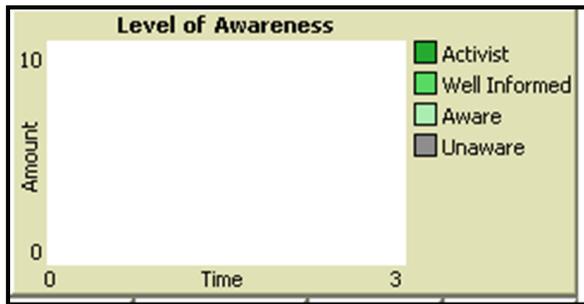


Figure 10: An overview of user’s shared awareness

In the environment, the subject sends his request to the source if it receives the correct answer, he will earn 5 points. If he does not receive a response within a specified time, a point will be lowered. (Minimum level of awareness here is set at zero and maximum of 15). If the score level is higher than 15 it is added as a new central knowledge. Given the limited life of sensor resources, we considered the usage limit as data reception source, which can be varied according to different threshold conditions, but it will be terminated at the source level if it is lower than the minimum usage limitation level. The purpose of this simulation was to show the impact of expanding and increasing the number of resources on the level of user’s awareness, which is

the most important issue in decision making. The criteria to be evaluated were:

1. Number of users: number of participating agents.
2. Number of data resource centers: there is a certain initial amount of resources that, depending on the circumstances, can be increased by the amount of knowledge that can be gained through appropriate interactions and collaboration between network members, resulting in increased resources in simulation. It is intended and, in the event of inadequate collaboration between members, merely reduces the life of the centers, which, in the light of the minimum intended amount for the life of the resources, will eventually be eliminated.
3. Mean awareness level: achievement of a certain amount of awareness between users according to the time.
4. Resources life limit: a time-based threshold level for the resource life length.

At this stage, with the number of users up to 100 and the number of resources by 5 (low), 10 and 20 (moderate) and 40 (high), and the resource life limit of 100/50 ticks, the level of shared awareness among users on the network was examined. An overview of simulated resources and users can be seen in Figure 11.

The results of simulation in diverse modes are presented in Table 1.

Table 1: Comparison of simulation results

Resources	Mean shared awareness		
	[A]	[B]	[C]
5	0	0,055	0
10	0,17	0,225	0,1
20	6,66	13,95	0,25
40	14,97	15	14,94

[A]:number of users=100, resource life limit=100 ticks  
 [B]:number of users=200, resource life limit=100 ticks  
 [C]:number of users=100, resource life limit=50 ticks

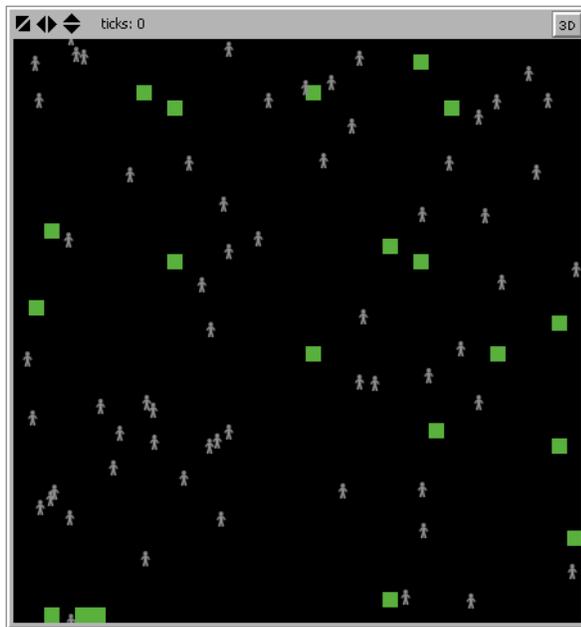


Figure 11: An overview of simulated users and resources

## 6. Conclusion

The integration of the two technologies of sensor networks and grid computing has many challenges, and much of the effort and research related to middleware, protocols, and network connections have been/will be made. Sensor Grid management must be implemented actively, dynamically, and distributed to enhance consistency and error tolerance. At all outlined frameworks, the challenges of management, security and accessibility mechanisms have been addressed with different perspectives and approaches, and these challenges must be responded through a technology utilizing social and cognitive interactions. By examining the various sensor grid frameworks, we will come to the conclusion that in these architectures the grid is considered as a social network where individuals, machines, and virtual roles are interconnected. In addition, other management systems in the grid, not even referred to as the knowledge grid, are considered as a knowledge-based grid with which the sensor grid interacts. As a result, the Knowledge Grid can be considered a social network that serves as the infrastructure for the Sensor Grid to meet the confidence and commitment for receiving

and distributing data. Given the mentioned above explanations, present study integrated sensor networks and grid computing based on OODA intelligent architecture and ELF decision making models. To this end, the simulations were conducted based on CoomonKADS framework at three levels including simplicity, composition and analysis. The results of the simulation indicate that as the number of network elements (resources and users) increases, namely, the large scale performance, the level of shared awareness significantly increases. As the acquired data and knowledge are either stored or retrieved from other sources and given the large-scale resource's life reduction, the findings also show that shared awareness will not be significantly decreased with reduced resource life at a very large scale. The great note about the results is that the best mode of shared awareness is obtained when we have the highest scale of users and resources.

## 7. References

- [1] Q. Fan, N. Xiong, K. Zeitouni, Q. Wu, A. V. Vasilakos, and Y.-C. Tian, "Game balanced multi-factor multicast routing in sensor grid networks," *Information Sciences*, vol. 367-368, pp. 550–572, 2016.
- [2] J. Shen, H. Tan, J. Wan, J. Wan, and S. Lee, "A novel routing protocol providing good transmission reliability in underwater sensor networks," *Journal of Internet Technology*, vol. 16, no. 1, pp. 169–176, 2015.
- [3] M. Griboudo, C. F. Chiasserini, R. Gaeta, M. Garetto, D. Manini, and M. Sereno, "A spatial fluid-based framework to analyze large-scale wireless sensor networks," in *2005 International Conference on Dependable Systems and Networks (DSN'05)*, 2005, pp. 694–703.
- [4] S. Bakhtiari, M. Fesharaki, and A. Khadem-zadeh, "Large-Scale Sensor Grid Based on Knowledge Grid," *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*, vol. 13, no. 1, pp. 306–313, January 2016.
- [5] H. B. Lim, Y. M. Teo, P. Mukherjee, V. T. Lam, W. F. Wong, and S. See, "Sensor Grid: Integration Of Wireless Sensor Networks and the Grid," in *Proceedings of the The IEEE Conference on Local Computer Networks 30th Anniversary*, ser. LCN '05. USA: IEEE Computer Society, 2005, p. 91–99.
- [6] C. K. Tham and R. Buyya, "SensorGrid: integrating sensor networks and grid computing," in *Invited Paper in CSI Communications, Special Issue on Grid Computing, Computer Society of India*, 2005.

- [7] B. Kent, “Observe, Orient, Decide, Act: A Subjectivist Model of Entrepreneurial Decision Making,” *Journal of Managerial Issues*, vol. 30, no. 3, 2018.
- [8] E. Dorion and S. Fortin, “Multi-source semantic integration - revisiting the theory of signs and ontology alignment principles,” in *2007 10th International Conference on Information Fusion, 2007*, pp. 1–6.
- [9] M. Scheutz, S. A. DeLoach, and J. A. Adams, “A Framework for Developing and Using Shared Mental Models in Human-Agent Teams,” *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, vol. 11, no. 3, pp. 203–224, 2017.
- [10] E. Shahbazian, D. E. Blodgett, and P. Labbé, “The Extended OODA Model for Data Fusion Systems,” in *4th International Conference on Information Fusion, Montreal, Canada, August 2001*.
- [11] A. Omarova, V. Ireland, and A. Gorod, “An Alternative Approach to Identifying and Appraising Adaptive Loops in Complex Organizations,” in *Procedia Computer Science*, ser. Complex Adaptive Systems, Conference Organized by Missouri University of Science and Technology 2012, C. H. Dagli, Ed., vol. 12, Washington D.C., December 2012, p. 56–62.
- [12] A. Meystel and J. Albus, *Intelligent Systems: Architecture, design and Control*. New York: Wiley, 2001.
- [13] W. Van Wezel, R. Jorna, and A. Meystel, *Planning in intelligent systems: aspects, motivations, and methods*. New Jersey.: John Wiley & Sons, Inc., 2006.
- [14] M. Révay and M. Líška, “OODA loop in command control systems,” in *2017 Communication and Information Technologies (KIT)*, 2017, pp. 1–4.
- [15] G. Schreiber, H. Akkermans, A. Anjewierden, R. Hoog, N. Shadbolt, W. Van de Velde, and B. Wielinga, *Knowledge Engineering and Management: The CommonKADS Methodology*. The MIT Press, 2000.

# L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X in academic activities in the Mathematic Department of the Engineering Faculty

Yanitza Román <sup>\*,a,b</sup> , Joan Ordoñez <sup>a,b</sup> , Jesús J. Jiménez G. <sup>a,b</sup> 

<sup>a</sup>Departamento de Matemática, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo. Valencia, Venezuela.

<sup>b</sup>Instituto de Matemática (IMYCA), Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo. Valencia, Venezuela.

**Abstract.-** The education of the new times establishes the imperative need to rethink strategies in traditional education. Within the framework of the key competences in lifelong learning, it is essential to guarantee equality to adapt to the needs of society. Competence refers to being competent, that is, knowing how to do, hence the use of ICT is incorporated into digital competence, the Latex word processor being a tool with potential benefit in scientific environments on the typographical aspect of a document. The Faculty of Engineering has proposed to increase the publication of research, so an individual with better training will produce better results, introducing the use of Latex in all stages of training and starting in the early stages. Specifically in the area of mathematics, it is closely related to the diversity of symbols used in engineering sciences. In addition to the low performance in the students of the Department of Mathematics of the Faculty of Engineering for different factors, it drives us to make the strategic proposal of the use of the word processor Latex in academic activities of both students and teachers to provide a competition that helps Improve academic performance. Latex as a teaching resource facilitates the process of writing ordinary and mathematical text with an emphasis on mathematical symbology, which at the same time benefits mathematical reasoning, capacity for analysis, synthesis, abstraction, deduction, as well as establishing the basis of a project that It can be replicated for use in other units.

**Keywords:** academic performance; strategic plan; digital competition; Latex.

## L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X en actividades académicas del Departamento de Matemática de la Facultad de Ingeniería

**Resumen.-** La educación de los nuevos tiempos, establece la imperiosa necesidad de replantear estrategias en la educación tradicional. En el marco de las competencias claves en la formación permanente, es imprescindible garantizar la igualdad para adaptarse a las necesidades de la sociedad. Las competencias se refieren a la capacidad para saber hacer, de allí la importancia de fortalecer la competencia digital a través del uso de las TIC, siendo el procesador de palabras Latex una herramienta con potencial beneficio en entornos científicos sobre aspectos tipográficos de un documento. La Facultad de Ingeniería se ha propuesto incentivar la publicación de investigaciones, por eso un individuo con mejor formación producirá mejores resultados, introduciendo la utilización de Latex en todas las etapas de formación y comenzando en las etapas tempranas. El individuo desarrolla las competencias y se encuentra en condiciones de plasmar las mismas, al comienzo con los reportes técnicos y posteriormente en trabajos de investigación, artículos científicos y trabajos especiales de grado. Además, el bajo rendimiento en los estudiantes del Departamento de Matemática de la Facultad de Ingeniería por diferentes factores, nos impulsa a hacer la propuesta estratégica del uso del procesador de palabras Latex en actividades académicas tanto de estudiantes como de profesores para brindar una competencia que coadyuve a mejorar el rendimiento académico. Latex como recurso didáctico facilita el proceso de escritura de texto ordinario y matemático con énfasis en la simbología matemática de ahí que al mismo tiempo beneficia el razonamiento matemático, capacidad de análisis, síntesis, abstracción, deducción, además de fijar las bases de un proyecto que puede ser replicado para su utilización en otras dependencias.

**Palabras clave:** rendimiento académico; plan estratégico; competencia digital; Latex.

Recibido: 09 de diciembre, 2019.

Aceptado: 06 de marzo, 2020.

### 1. Introducción

En el último siglo, diversos especialistas de la educación a nivel mundial coinciden en dirigir sus teorías a replantear la educación y así brindar competencias necesarias para afrontar

\* Autor para correspondencia:

Correo-e:romanyanitza1@gmail.com (Y. Román)

la sociedad actual entorno al futuro, donde la tecnología sea aprovechada al máximo y se integre de forma eficiente y eficaz en las unidades de formación, mediante el empleo de recursos educativos abiertos.

En la educación tradicional al pasar del tiempo, se hace notable que el proceso de enseñanza y aprendizaje de nuevos conocimientos de forma repetitiva pierde vigencia, así lo señala teorías de psicólogos tales como Vigotsky, Piaget y Ausubel, justamente enmarcadas en el paradigma del constructivismo [1], donde el nuevo conocimiento que se adquiere es el resultado de la interacción del individuo con el entorno que lo rodea, a través de sus propias experiencias, habilidades y capacidad de interpretación de las herramientas que recibe, y no de forma mecánica y unidireccional.

A propósito de lo señalado, en las unidades curriculares del Departamento de Matemática de la Facultad de Ingeniería se evidencia, según reportes recientemente realizados, como la evaluación del componente docente (ECD), un índice significativo de reprobados, lo cual obedece a múltiples factores que deben ser objeto de revisión.

El Departamento de Matemática y la Dirección del IMYCA, tienen entre sus políticas el desarrollo de actividades en conjunto, orientadas con el fin de buscar la mejora del rendimiento de los estudiantes del Departamento de Matemática a través de la incorporación de las nuevas tecnologías TIC, empleando para ello el procesador de palabras Latex por lo que propone a la Facultad de Ingeniería su utilización en cada etapa de la formación del ingeniero. Y así coadyuvar a que el individuo desarrolle estas competencias y se encuentre en condiciones de plasmar las mismas, al comienzo con reportes técnicos y posteriormente en trabajos de investigación, artículos científicos y trabajos especiales de grado. El éxito que se logre con el empleo de Latex en las asignaturas del Departamento de Matemática, ha de permitir fundar las bases para su utilización en las diferentes etapas de la formación del Ingeniero. El logro que se busca alcanzar con esta investigación, ha de permitir generar cimientos sólidos para la aplicación de la herramienta Latex y su dominio en el Departamento de Matemática de la Facultad

de Ingeniería y posteriormente generar el impulso necesario para su utilización en todas las etapas de la formación del Ingeniero, además de dejar abierta la posibilidad de un proyecto más ambicioso que se enmarque en la elaboración de un laboratorio de Latex.

En otras palabras, se hace necesario aplicar nuevas estrategias que consideren elementos que relacionen al estudiante con su entorno, cambios curriculares y estructurales, que contribuyan a mejorar la enseñanza de la matemática con un aprendizaje significativo [2], a través de las experiencias, según el enfoque de la psicología hacia la educación constructivista.

Particularmente, en la enseñanza y aprendizaje de la matemática Ricardo Cantoral dice “El pensamiento matemático es una relación de aquello que el profesor se propone a enseñar en matemática y lo que en efecto los estudiantes son susceptibles de aprender” [3]. Por tanto, el sujeto que aprende está comprometido con algo que necesariamente lo lleva a simbolizar. Se trata de una elaboración (con características internas propias del individuo, o sociales o ambas) que se organiza en los sistemas semióticos de representación [4].

Específicamente en matemática, la concepción de un objeto pasa por distintas representaciones semióticas. Diferentes representaciones simbólicas para referirse a un mismo concepto. De allí que en matemática se trabaja con objetos que generalmente no pertenecen a las experiencias o realidades cotidianas del estudiante. Por consiguiente, la asimilación conceptual necesita de medios donde se manipule con más frecuencia tales objetos. El computador teleológicamente hablando coadyuva en la labor de aprendizaje de la matemática, haciendo que símbolos y conceptos estén más ligados a las experiencias concretas de los estudiantes, además de aumentar la productividad en cuanto a la concreción de mayor cantidad de tareas para lograr así mayor cantidad de experiencias.

El procesador de palabras Latex ha de permitir establecer un mayor orden de las tareas, además de facilitar el trabajo y la limpieza en la escritura, así como también, fomentar la creatividad y el espíritu crítico necesario para el razonamiento matemático,

potenciando la habilidad para el cálculo y un medio para hacer una matemática más experimental con el apoyo de recursos didácticos, con el fin de unir lo abstracto de la matemática con lo concreto de las experiencias del alumno y con ello buscar que este vaya más allá de la indagación y concreción.

Desde lo experimental como estrategia de recurso didáctico para reforzar el aprendizaje de escritura de la matemática, el procesador de palabras Latex es una herramienta con alta capacidad gráfica para representar ecuaciones matemáticas, muy utilizadas en documentos y revistas científicas, facilitando la estructura y edición. Excelente calidad en el documento final, es un software libre, los ficheros fuente **.tex** son ficheros ASCII permitiendo que el documento sea reconocido en cualquier sistema operativo.

Por las razones antes señaladas, el objetivo de ésta investigación es Implantar el uso de procesador de palabras Latex en actividades académicas desarrolladas por estudiantes en las unidades curriculares del Departamento de Matemática, como herramienta que agregue valor al proceso de enseñanza y aprendizaje, unido a las clases magistrales de aula.

Actualmente, en la Escuela de Telecomunicaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo, se desarrolla el entorno para la composición tipográfica Latex en la edición de Trabajo Especial de Grado, además en la revista científica Ingeniería UC se propone para la edición de artículos el uso de una plantilla realizada en Latex [5, 6], como herramienta soporte para el diseño, planificación y ejecución de actividades didácticas que fortalezcan el proceso de aprendizaje de matemática dentro y fuera del aula.

## 2. Metodología

Conforme a la problemática planteada, se refiere la imperiosa necesidad de proponer una estrategia en el proceso de enseñanza y aprendizaje de la matemática, de forma inductiva a través de la experiencia, que en éste trabajo de investigación procura desarrollar la implementación del procesador de palabras Latex, el cual ha de conducir

su orientación a través de la concreción de los siguientes aspectos:

- Diagnosticar el nivel de conocimiento de profesores del Departamento de Matemática sobre procesadores de palabras y la habilidad para su uso en el área de la matemática.
- Diagnosticar el nivel de conocimiento de estudiantes del Departamento de Matemática sobre procesadores de palabras y la habilidad para su uso en el área de la matemática.
- Analizar y establecer el nivel de conocimiento en relación a la identificación de símbolos y estructuras matemáticas en estudiantes que cursan unidades curriculares del Departamento de Matemática.
- Instruir a profesores del Departamento de Matemática en el uso del procesador de palabras Latex, por medio de cursos presenciales y tutoriales online.

El proceso de investigación tiene una metodología cualitativa mediante la observación investigativa, encuestas o entrevistas y documentación [7].

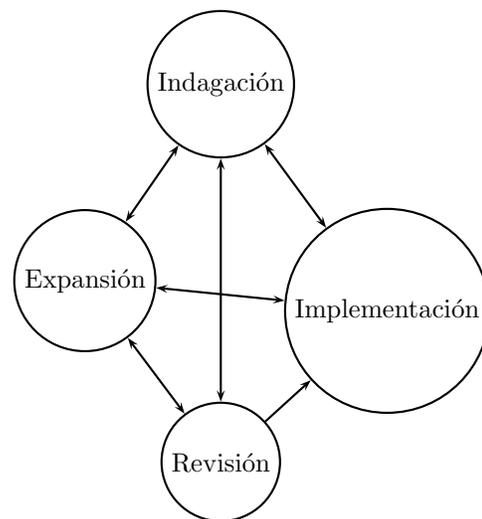


Figura 1: Fases de la investigación.

Desde el punto de vista cualitativo, los hallazgos de la investigación se manifiestan de acuerdo a un plan estratégico a seguir indicado en Figura 1. El

plan estratégico concreta los objetivos de acuerdo a la consecución de cada una de las cuatro fases:

**Fase de indagación.** Se elaboraron instrumentos bajo el esquema de formulario para consultar a la población objeto de investigación, se diagnosticó el nivel de conocimiento de profesores y estudiantes del Departamento de Matemática sobre el procesador de palabras Latex, así como también la habilidad para su uso en el área de matemática. Además, se elaboraron instrumentos que permiten analizar y establecer el nivel de conocimiento, con relación a la identificación de símbolos y estructuras matemáticas donde se evidencie tanto los conocimientos previos que debe dominar el estudiante al inicio de cada unidad curricular del Departamento de Matemática como las competencias a ser alcanzadas al final del contenido programático.

**Fase de implementación.** Esta fase consiste en la elaboración y aplicación de una serie de talleres de formación a nivel básico referente al procesador de palabras Latex, el cual es dirigido a profesores del Departamento de Matemática.

Con ayuda de la dirección de IMYCA se han de establecer espacios de trabajos que propicien la participación de la mayor cantidad de docentes de la plantilla de Departamento para el periodo de estudio, asimismo por contar el departamento con un número de docentes que ya posee conocimiento básico, se espera que el total de profesores que obtengan conocimientos básicos sea significativo en torno al tema.

Seguidamente, se espera unir esfuerzos y llevar a un grupo de profesores hasta un nivel intermedio y avanzado, así como integrar a participar estos profesores que ya han incursionado de forma particular en Latex y requieran ampliar sus habilidades en la herramienta.

**Fase de revisión.** Dentro de esta fase es preciso dos etapas *seguimiento* y *evaluación*. La

etapa de *seguimiento* tiene en cuenta recopilar los recursos didácticos producidos a través de la ejecución y revisión de las tareas propuestas en las actividades académicas realizadas por los estudiantes mediante el uso de procesador de palabras Latex. La etapa de *evaluación* amerita examinar el rendimiento de los alumnos en respuesta a la estrategia de usar el procesador de palabras Latex.

**Fase de expansión.** Prestar servicios externos tales como:

- Edición y generación de documentos científicos requeridos por la Revista Ingeniería UC.
- Realizar cursos de Latex a la comunidad interesada.
- Creación de un Laboratorio de Latex.

### 3. Resultados

Inicialmente se pudo evidenciar que los conocimientos previos eran inexistentes en los estudiantes acerca del procesador de palabras Latex.

Es de resaltar que a la fecha se han concretado una serie de talleres con docente del Departamento de Matemática Tabla 1 y estos se han realizado con equipos propios de profesores o concedidos en calidad de préstamo, por lo que se espera para la prosecución del proyecto, conseguir fuentes de financiamiento a través de entes públicos o privados y así poder avanzar de manera más eficiente y eficaz en la consecución de las fases de *implementación*, *revisión* y especialmente necesario en la fase de *expansión*, para el cual es imprescindible disponer de un laboratorio de Latex.

El Departamento de Matemática en el marco del 1<sup>er</sup> Congreso Internacional y 2<sup>do</sup> Nacional de Ciencia, Tecnología y Empresa Tendiendo las redes del conocimiento, presentó el simposio *Competencias Matemáticas en Ingeniería, el reto de los nuevos tiempos* [8]. Donde entre los factores más notables se evidencia deficiencia de los conocimientos previos de matemática básica del estudiante al ingresar en la educación universitaria, siguiendo por el proceso de enseñanza y aprendizaje en la

Tabla 1: Talleres de Latex realizados en el Departamento de Matemática

N° de Docentes que Conformaron los talleres	19
N° de Docentes que Trabaja con el editor y no participaron en los talleres	9
Total de Docentes del departamento para el periodo de estudio	50
% de Docentes que Domina el Editor en un Nivel Básico	56 %

Facultad de Ingeniería en la forma tradicional de impartir los conocimientos con clases magistrales basándose en las capacidades y habilidades del estudiante como receptor, el cual se agota con los nuevos tiempos cuando no se aprovecha el uso de los avances de la tecnología. Otro factor no menos importante es la situación económica del país, afectando a todo nivel, tanto a estudiantes en su rendimiento académico, profesores que se les dificulta impartir el contenido de la unidad curricular de forma 100% presencial, así como capacidad financiera de la institución universitaria.

Así mismo producto de las indagaciones e investigaciones presentadas en el simposio [8], es de resaltar que entre otros aspectos es imprescindible el énfasis en establecer una simbiosis perfecta del uso y dominio de las TIC desde las aulas de clases, al punto que se presenta el empleo de la tecnología como pre-requisito que beneficia el aprendizaje de forma eficaz y motivadora. Por ello, considera la competencia digital para una correcta integración en el sistema, en conjunto con las TIC y así los docentes puedan contribuir en el mejoramiento de la formación, puesto que son corresponsables de la enseñanza en el nuevo milenio y deben guiar al estudiante en su transitar educativo a través de los nuevos medios por lo que han de contar con las capacidades que le permitan el compartir y desarrollar dichas competencias.

#### 4. Conclusiones

La orientación de este trabajo permite concretar algunas de las premisas del constructivismo en lo que se refiere a la idea de aprender a aprender,

lo cual se traduce en desarrollar la capacidad de persistir en el proceso de aprendizaje, el cual requiere la adquisición de competencias fundamentales como alfabetización, la aritmética y las TIC. Con estas destrezas como base, el individuo puede acceder, ganar, procesar y asimilar nuevas habilidades y conocimientos.

Con este proyecto se busca generar los cimientos para el uso de Latex, como herramienta que ha de coadyuvar al ingeniero en el desarrollo de tareas a lo largo de su carrera.

El uso de Latex mejora el potencial en el aprendizaje del estudiante y su rendimiento, ampliando el uso de herramientas digitales en el desarrollo y formación profesional de profesores, además de los recursos que ya utiliza. Asimismo, contribuye a un cambio de paradigma en la educación tradicional hacia un aprendizaje por competencias.

Humaniza el aprendizaje de la matemática, suavizando la aversión que paradójicamente tienen los estudiantes hacia la ciencia de la matemática, aprovechando los beneficios del uso de Latex.

La concreción en la ejecución de la propuesta ha de permitir fijar las bases de un proyecto que puede ser replicado y amplificado de manera factible para su utilización en otras dependencias instituciones.

En este mismo orden de ideas es de resaltar que el impulso en el uso de aplicación de la herramienta Latex en otras dependencias, posibilitará la concreción de un proyecto más ambicioso como es la estructuración del laboratorio de Latex de la Facultad de Ingeniería.

#### 5. Referencias

- [1] C. Tünnermann Bernheim, “El constructivismo y el aprendizaje de los estudiantes,” *Universidades*, no. 48, pp. 21–32, 2011.
- [2] M. L. Rodríguez Palmero, M. A. Moreira, M. C. Caballero Sahelices, y M. G. Ileana, *La teoría del aprendizaje significativo en la perspectiva de la psicología cognitiva*. Editorial Octaedro, S.L., 2008.
- [3] R. Cantoral, “Enseñanza de la matemática en la educación superior,” *Sinéctica, Revista Electrónica de Educación*, no. 19, pp. 3–27, 2001.
- [4] B. D’Amore, “Interacciones constructivistas en el aprendizaje de los conceptos matemáticos: conceptualización, registros de representaciones semióticas y noética,”

en *Enseñanza y aprendizaje de las matemáticas: problemas semióticos, epistemológicos y prácticos*, 1<sup>era</sup> ed. Bogotá, Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2017, capítulo 3.

- [5] C. Mejías, A. Osman, P. Del Pino, y A. Zozaya, “Carta al editor: Entorno para la edición y redacción de trabajos especiales de grado de la Escuela de Ingeniería de Telecomunicaciones de la Universidad de Carabobo,” *Revista Ingeniería UC*, vol. 24, no. 1, pp. 1–11, 2017.
- [6] J. Jiménez, C. Vega, y A. Osman, “Letter to the editor: Use of template for the preparation of the articles in scientific journal,” *Revista Ingeniería UC*, vol. 25, no. 1, pp. 4–9, 2018.
- [7] R. Hernandez Sampieri, C. Fernandez Collado, y P. Baptista Lucio, *Metodología de la investigación*, 5<sup>ta</sup> ed. México: McGraw-Hill / Interamericana Editores, S.A., 2010.
- [8] J. Ordoñez, “Competencias matemáticas en ingeniería el reto de los nuevos tiempos,” en *Redes del conocimiento y emprendimiento*. San Diego, Carabobo, Venezuela: Universidad Arturo Michelena, 2019.

# Creating a structure to calculate the organizational and technological process control effectiveness during redeployment

Azariy Abramovich Lapidus \* ,

*Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia.*

**Abstract.-** According to the UN forecast, more than 60 % of the world's population will live in cities by 2035. Thus, the burden on the structure of housing and communal services, transport, security, health care, education, and other infrastructure components will increase as the number of residents. Many, especially old, industrial enterprises are unable to withstand competition and the economic dimension of their existence and are unable to provide an adequate environment. In this regard, the most rational and mutually beneficial solution is to transfer such enterprises beyond the line of cities, or to specially allocated industrial areas with the subsequent reassignment of the liberated territory for the needs of the city itself, construction of housing, or socio-cultural or business facilities. The main purpose of this article is to assess the relevance and timeliness of consideration of the problems of organizing production during the redevelopment of industrial territories of the urban environment. The basic prerequisites for the formation of a phenomenon such as redevelopment are discussed, and parameters that have a major impact on decision-making about methods for changing the functional purpose of urban industrial areas are also identified. Likewise, common trends are identified in the relocation of industrial areas in the urban environment in Russia and abroad. To implement such projects, it is necessary to form at the design stage a system of organizational decisions aimed at effectively addressing environmental issues, re-equipping production forces, and also solving social urban problems.

**Keywords:** construction control; redeployment of industrial facilities; redevelopment of industrial areas; scientific and technical renovation substantiation; urban development.

## Creación de una estructura de cálculo para el proceso de control de efectividad tecnológica y organizacional durante reubicaciones

**Resumen.-** Según la previsión de la ONU, más del 60 % de la población mundial vivirá en ciudades para 2035. Por lo tanto, la carga sobre la estructura de la vivienda y los servicios comunales, el transporte, la seguridad, la atención de la salud, la educación y otros componentes de infraestructura aumentará a medida que aumente el número de residentes. Muchas empresas industriales, especialmente antiguas, son incapaces de resistir la competencia y la dimensión económica de su existencia y son incapaces de proporcionar un entorno ambiental adecuado. En este sentido, la solución más racional y mutuamente beneficiosa es trasladar dichas empresas más allá de la línea de las ciudades, o a zonas industriales especialmente asignadas con la posterior reasignación del territorio liberado para las necesidades de la propia ciudad, construcción de viviendas o instalaciones socioculturales o empresariales. El objetivo principal de este artículo es evaluar la relevancia y oportunidad de considerar los problemas de organización de la producción durante la reurbanización de los territorios industriales del entorno urbano. Se analizan los requisitos previos básicos para la formación de un fenómeno como la reurbanización, y también se identifican los parámetros que tienen un impacto importante en la toma de decisiones sobre los métodos para cambiar el propósito funcional de las áreas urbanas industriales. Así mismo, se identifican tendencias comunes en la reubicación de las áreas industriales del entorno urbano en Rusia y en el extranjero. Para llevar a cabo este proyecto, es necesario formar en la etapa de diseño un sistema de decisiones organizativas destinadas a abordar eficazmente los problemas ambientales, reequipar las fuerzas de producción y también resolver los problemas urbanísticos sociales.

**Palabras clave:** control de construcciones; redistribución de instalaciones industriales; remodelación de zonas industriales; fundamentación científica y técnica de renovación; desarrollo urbano.

Received: March 02, 2020.

Accepted: April 20, 2020.

\* Correspondence author:  
*e-mail:* azariy.lapidus@yandex.ru (A. A. Lapidus)

### 1. Introduction

One of the most controversial issues in the re-profiling is the optimal direction of implementation of such projects, which should take into account

the complex issues of urban planning, functional, social, organizational, technical, economic, and environmental character. Cultural experts and historians are concerned about the preservation of ancient historical artifacts and *industrial heritage*, urban planners, and architects of new layout of these territories and their organic inclusion into the environment and infrastructure, developers and investors—development of such territory from the point of view of its conversion to more efficient use, which enhance its attractiveness, investment, successful development of the allocated funds, and increase the value of the land and constructed or reconstructed buildings.

Most often, industrial buildings are repurposed into creative clusters, office, and multifunctional complexes. Currently, the weaving factory on the Obvodny canal in St. Petersburg functions as a multifunctional cultural platform—creative space—*Weavers* (total area is 1.3000 m<sup>2</sup>), which includes both retail space and art galleries, offices, and exhibition space for cultural and educational processes. In the historical square within the Yekaterinburg plant, which now consists of a landscape Park on the right Bank of the Iseti river and a Museum complex on the left Bank, where many residents of the city spend their time, mass events are held. The former distillery in Tula, currently operates as a multifunctional complex *Likerka Loft*. The former industrial premises are repurposed for trade, entertainment area, supermarkets, offices, fitness centers, and schools, according to Table 1. In Lodz (Poland), the factory complex of Israel poznań was repurposed into a multifunctional cultural, commercial, sports, and entertainment center with a total area of 150.000 m<sup>2</sup>, of which 100.000 m<sup>2</sup> accounts for retail, 20.000 m<sup>2</sup> for hotels and offices, 21.000 m<sup>2</sup> for entertainment, 8.000 m<sup>2</sup> for museums, and 1.000 m<sup>2</sup> for children's play complex. However, the complex occupies an area of 30 Hectares and is a place of attraction of human flows, meeting the interests of local residents and tourists.

The re-profiling volumes of the urban areas clusters are constantly increasing; harmonious interaction of the state and private companies is important for successful PCGT and rational

use of the urban areas, since the re-profiling projects can be implemented only on the terms of acceptable profitability of all participants and investment attractiveness of objects. It is important to develop the scientifically-based methods that provide effective management decisions to develop residential and commercial real estate in the territories of old industrial enterprises.

The volumes of the re-profiling of the urban areas clusters are constantly increasing and thus harmonious interaction of the state and private companies is important in the successful and rational use of the urban areas because the re-profiling projects can be implemented only on the terms of acceptable profitability of all participants and investment attractiveness of objects. Organizational and technical processes during the construction and installation works in the course of the conversion of real estate and the use of industrial territory for a new purpose are of high importance.

Hence, it is necessary to have digital repurposing information systems (DRIS) that allow repurposing process participants to assess at each stage of decision-making the factors influencing the project forecasting and implementation. In this regard, DRIS is one of the key factors of decision-making by the re-profiling participants, both at the pre-investment stage and in the process of design, construction, operation of a new facility, and the factor of investment attractiveness of the territory, which reduce the risks of incorrect information and the respective problems. It is notable that the possibility of advanced organizational and technological modeling of construction and installation works (CIW) at the re-profiling facility will allow to take into account all key parameters and, thus, increase the overall efficiency in decision-making for both the investor and the potential customer. To do this, it is necessary to systematically study the main factors and processes in CIW in the repurposing of industrial facilities in order to form a methodology that will provide *smart* modeling of CIW. Such modeling is advisable to coordinate with the state program *Digital economy of the Russian Federation*, which treats the digital economy as a business activity, in which the

Table 1: Share of production clusters of urban areas in the structure of the Land Fund of the largest Russian and foreign cities, in 2018.

Russian cities	Share of urban industrial zones in city area, %	Foreign cities	Share of urban industrial zones in city area, %
Moscow (within the boundaries of old Moscow)	20	Paris	5
St. Petersburg	13	New York	4
Yekaterinburg	14	Boston	3
Nizhny Novgorod	12	Seoul	6
Perm	11	Singapore	3

key role is played by data in digital format and contributes to the formation of a single information space, development of information infrastructure in municipalities, economic sectors, and in the country as a whole. Thus, the digital economy should form a new technological basis for the entire socio-economic sphere.

In order to be successful and compete in a complex market, redevelopment should take place as one of the ecosystems, the operator of which at the top level should be the state and specific municipalities, which have full information about industrial areas as potential objects of redevelopment, and at the next levels, such ecosystems should be complemented around themselves by ecosystems such as an information system for redevelopment investors, supervisory and licensing authorities, realtors, architects, and design organizations, construction companies, real estate operators, real estate tenants, ecosystem of life-style services, and so forth. The leaders of ecosystem services in Russia are currently banks, which recently have been forming ecosystem sets around themselves and adding new sets of services to their business.

The structures listed above are not the construction organizations and these examples are united by a digital technological component. In fact, ecosystem participants prefer a digital business model and seek to use the digitized processes. Finally, participants interact with each other using a single digital platform for the community, which becomes a trusted environment for collaboration.

In order to get acquainted with the current state

of affairs in the issue under consideration, as well as to study the latest developments in the given field, it is necessary to refer to scientific publications by Russian and foreign scholars. The paper considers the articles by such authors as D.V. Topchiy, A.I. Meneylyuk, L.V. Lobakova, I. Abramov, A. Lapidus, S. Newton, V.A. Pukhkal, A.B. Mottaeva and others.

However, Zueva [1] argue that neither at the planning stage nor at the implementation stage in Russia there are no effective, scientifically based systems. To solve this problem, the authors consider the use of information complex interaction system consisting of a large number of different functional subsystems and modules that are investment, organizational, technological and information [2]. Meneylyuk and Lobakova [3] state that the technology of re-profiling or changing the purpose of the building is significantly different from new construction and has its own characteristics, which confirms the conclusions made in this work.

As the most general factors that influence the planning of the re-profiling process and have interrelation, such parameters as the cost of the project, the number of working shifts a day, the number of working days a week, the coefficient of combination of works, and financing conditions are specified. In [3] authors recommend to perform the relationship between these parameters by using the mathematical theory of experiment planning, which is a fundamental part of the theory of experimental and statistical modeling.

## 2. Methodology

The main regulatory document describing the construction control and its implementation is the town planning code of the Russian Federation. Article 53 of the Civil Code of the Russian Federation refers to the quality control goals, determines the responsible persons and describes the procedure for notifying the state construction supervision authorities about cases of emergencies in a capital construction project [2].

In general, the facilities under control are described [3]. Stages and composition of the construction control by the contractor and customer at the redeployed facility are performed in accordance with the decree of the Government of the Russian Federation of June 21, 2010 No. 468. Upon the analysis of this document, the composition may be briefly described, and the degree of regulatory work control is determined.

**Stage 1. Input control.** Quality control of the building materials, products, structures, and equipment supplied for the capital construction facility construction. When evaluating quality control measures, a point system must be used. In this case, the following procedures are regulated at this stage [4]:

1. Checking the availability and content of the suppliers' documents containing information about the quality of their products;
2. Its compliance with the requirements of working documentation, technical regulations, standards, and codes of practice. The stage is assessed with two points.

**Stage 2. Control of storage rules.** Verification of the compliance with the established standards and rules to store the used products [5]: identification of violations of the established norms and product storage rules. The stage is assessed with one point.

**Stage 3. Control of technological operations.** Verification of the compliance with the sequence and composition of technological operations during the capital construction facility construction [6]:

1. Compliance with the sequence and composition of technological operations.
2. Compliance with the technological operations in accordance with the requirements of technical regulations, standards, codes of practice, design documentation, engineering surveys, and urban planning of a land plot.
3. Correspondence of the quality of the technological operations and their results to the requirements of the design and working documentation based on it. The stage is assessed with three points.

**Stage 4. Control of the hidden work and critical structures.** Examination of the work hidden by the subsequent work and intermediate acceptance of the building structures erected affecting the safety of the capital construction facilities and sections of engineering networks together with the customer [7]:

1. Control of the ban on the premature execution of the subsequent work and preparation of an act on the hidden work examination.
2. Drawing up an intermediate critical structure control certificate. The stage is assessed with two points.

**Stage 5. Control of the work stages.** Acceptance of the finished work types (stages): drawing up a certificate on the control measure and its results. Filling out the general work log with the relevant acts attached. The stage is assessed with one point.

**Stage 6. Control of the documentation compliance.** Checking the compliance of a completed construction facility with the design requirements and working documentation based on it, the results of the engineering surveys, urban land plot development, plan requirements, and technical regulations together with the customer [1]: drawing up a certificate on the control measure and its results. The stage is assessed with one point.

According to the regulatory documentation, there are 10 points for construction control measures. The question about the number of

measures (the number of the construction and installation control degree points) at the redeployed facilities remains open. Since there is no normative document to redeploy the industrial facilities, a scientific study must be conducted with the aim of the development of a mathematical model determining the construction and installation quality control degree.

The points governing the implementation of various work control procedures during the redeployment represent various measures, among which there is, for instance, additional control during the construction phase, additional verification of the suppliers' documents containing information about the materials supplied, and additional control over the sequence and composition of technological operations.

The standard number of workers performing the construction control regarding the base price level transfer as of 1 January 2000 up to the 1st quarter of 2019 is 1 person for every 112 million rubles of the estimated cost according to the decree of No. 468 (Appendix 1) and the letter of the ministry of construction of the Russian Federation No. 1408-LS/09 of 22.01.2019 [8, 9].

Currently, redeployment of industrial buildings as one of the modern components of technological progress is the subject of several scientific studies. For example, control of the organizational and technological processes is one of the study areas in this direction.

### 3. Results

Life cycle of the capital construction facilities for industrial purposes, capital construction objects (including individual buildings, structures, and town-planning formations for industrial use) are classified as the construction products. Construction products in the format of buildings and structures for industrial purposes are the object environment of a long (long-term, determined by the service life) period of use. In fact, the degree of conformity of actual safety indicators and functional efficiency of the completed construction projects with the established design and regulatory values determines the quality of the construction

products [10]. The main feature of the construction products (especially unique and/or technologically complex industrial facilities) as a material subject of the productive and reproductive activity is also significant (e.g., duration, complexity, the amount of the costs required for its formation (construction) and subsequent operation). However, it is a complex job to ensure the functional quality of the construction products, the solution of which is implemented over a long period, during which there is a constant transformation of the properties and conditions of construction objects. Thus, the considered time is called the life cycle of the construction products (including industrial construction projects). Figure 1 shows the life cycle of a construction object in the form of a temporary logical structure, characterized by a sequential change in the states (stages, periods) included in the structure of the structure.

The life cycle of an industrial construction object has the form of a consistent, hierarchical, and strictly oriented structure and includes the following main stages or mandatory steps, including *Construction surveys*, *Design*, *Construction* (new construction, reconstruction, expansion), and *Exploitation*.

One of the features of the life cycle of the construction products is the fact that the efficiency of each subsequent stage is determined by the quality of the organizational and technological solutions implemented at the previous period [11].

Thus, the performance indicators of the production processes as well as the state of bearing and enclosing structural elements of the production building or structure are characterized by the quality of adoption and practical implementation of composite, structural organizational and technological solutions developed at the previous *design* and *construction* stages. Hence, efficiency of the decisions taken and implemented can be adequately assessed only at the end of all periods of its life cycle.

Moreover, the life cycle stage of the type *Construction Surveys* provides for a set of measures aimed at the analysis of the economic and engineering factors necessary for making a fundamental decision on the expediency of forming

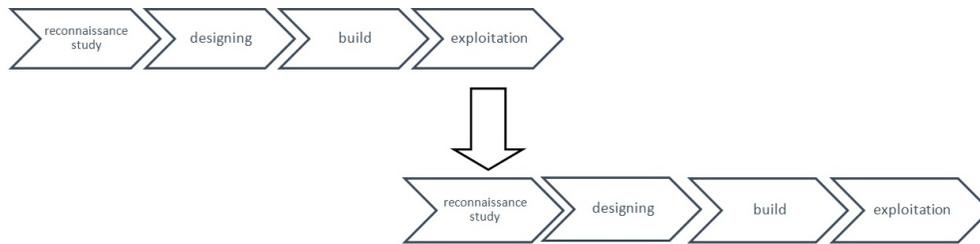


Figure 1: The life cycle of a construction object.

construction products of a certain functional purpose.

*Design* stage is a set of works and processes, during the implementation of which the design is developed, which shows the solutions necessary for preparation and construction of the construction facility under the construction site conditions. Design works are conducted based on the design task and depending on the complexity of the construction object are performed in one or two stages [12].

*Construction* stage defines the format of a practical implementation of the design solutions of the construction objects in one of the possible formats: new construction, reconstruction, expansion, and technical modernization.

*Operation* stage is intended to organize the operation of the facility for construction of industrial purpose under the established environmental conditions by complying with the regulated set of measures aimed at maintaining the quality of the facility completed by construction and its structural elements: reliable works of separate structural elements and object, in general; providing normal sanitary and hygienic conditions and parameters of internal space; ensuring implementation of the rules and standards of the fire safety; decrease or minimization of an environmental pressure from the technological processes and/or processes of activity, and restoration of the lost quality by a systematic observation and carrying out a planned repair work.

Operation of the erected construction facility is permitted if the actual characteristics correspond to the established values. In order to ensure the proper technical condition of the construction facility,

an operational monitoring and repair system is developed, which allows assessing and maintaining the technical condition, quality indicators, and reliability at the specified level [13].

In a significant majority of cases, it is the duration of service life that determines the life cycle of the construction object, and therefore it is an objective criterion or indicator of the quality of the design solutions and the quality of construction production.

#### 4. Discussion

The rational category of causes includes: signs of a satisfactory technical condition of the main structural elements; the features of the space-planning decisions allowing to realize modernization of initial function or provide conditions for new function of a production and/or non-productive look; the level of necessary technical and economic expenses at reconstruction of an object for production; existence of the status of *object of cultural and historical heritage*, and possible attraction of additional investments into the development of a town-planning situation due to the formation of new architectural objects of various functional purposes.

The emotional category of causes includes danger of loss of town-planning appearance and historical memory of the corresponding building; possible loss of the existing harmony and ways of visual interaction with the surrounding artificial and natural landscape, and threats to increase the environmental burden on the environment due to the dismantling of the existing construction site and new construction [14],[15].

The information model should provide prompt search, unambiguous identification, and comprehensive up-to-date characteristic of the technical condition of the structural elements, parts, and systems of the construction object. Formation of an information support to develop organizational and technological sequence of the reprofiling of a production facility is a complex, multi-stage process (especially with regard to the buildings and structures classified as objects of cultural and historical heritage and/or cultural and historical significance).

## 5. Conclusion

The field of practical activity related to the improvement of the quality of construction facilities is quite diverse and allows the use of modern (innovative) architectural concepts, construction materials, and technological techniques of construction.

Formation of the information model of the construction object, which differs as complete and reliable information as possible, allows optimizing the composition and efficiency of the organizational and technological solutions.

## 6. References

- [1] D. D. Zueva, E. S. Babushkin, D. V. Topchiy, and A. Y. Yurgaitis, "Construction supervision during capital construction, reconstruction and re-profiling," in *International Geotechnical Symposium "Geotechnical Construction of Civil Engineering & Transport Structures of the Asian-Pacific Region" (GCCETS 2018)*, S. Kudryavtsev, C. Yoo, and A. Zhussupbekov, Eds. MATEC Web of Conferences, Jul. 2019, vol. 265, pp. 1–8.
- [2] A. Lapidus and D. Topchiy, "Formation of Methods for Assessing the Effectiveness of Industrial Areas' Renovation Projects," in *Proceedings of the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 471, 2019, pp. 1–6.
- [3] A. I. Meneyluk and L. V. Lobakova, "Methodology for choosing effective models for the implementation of buildings reprofiling projects," *Bulletin of the Kharkov National Technical University. Series: Management Strategy, Portfolio Management, Programs and Projects*, vol. 1, pp. 76–81, 2016.
- [4] Z. Pezeshki and S. A. S. Ivani, "Applications of BIM: A Brief Review and Future Outline," *Archives of Computational Methods in Engineering*, vol. 25, pp. 273–312, 2018.
- [5] V. A. Pukhkal and A. B. Mottaeva, "FEM modeling of external walls made of autoclaved aerated concrete blocks," *Magazine of Civil Engineering*, vol. 81, pp. 203–212, 2018.
- [6] S. Newton, "The Being of Construction Management Expertise," *Construction Management and Economics*, vol. 34, pp. 7–8, 2016.
- [7] A. Jurgaitis, D. Topchiy, A. Kravchuk, and D. Shevchuk, "Controlling methods of buildings' energy performance characteristics," in *Topical Problems of Architecture, Civil Engineering and Environmental Economics (TPACEE 2018) electronic edition*. E3S Web of Conferences, 01 2019, vol. 91, p. 02026.
- [8] A. Volkov, V. Chulkov, R. Kazaryan, M. Fachratov, O. Kyzina, and R. Gazaryan, "Components and guidance for constructional rearrangement of buildings and structures within reorganization cycles," *Applied Mechanics and Materials*, vol. 580–583, pp. 2281–2284, Jul. 2014.
- [9] A. Volkov, A. Sedova, P. Chelyshkov, B. Titarenko, G. Malyha, and E. Krylov, "The theory of probabilities methods in the scenario simulation of buildings and construction operation," *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, vol. 7, pp. 2416–2420, 2016.
- [10] A. Ginzburg, "Sustainable building life cycle design," in *XV International conference "Topical problems of architecture, civil engineering, energy efficiency and ecology"*. MATEC Web of Conferences, 2016.
- [11] P. Chelyshkov, "Application of Computer Simulation to Ensure Comprehensive Security of Buildings," in *Abstract Volume, 14th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering (14th ICCCBCE)*, 2012, pp. 430–431.
- [12] A. Andreeva and P. Chelyshkov, "Management of parameters of the functioning of engineering systems of the building object based on algorithmic data analysis," in *Materials Science and Engineering*. IOP Conference Series, 2018, p. 022041.
- [13] P. Chelyshkov, "Use of BIM in Design of Standard Facilities," *International Journal of Applied Engineering Research*, vol. 12, pp. 15 119–15 121, 2017.
- [14] D. Lysenko and P. Chelyshkov, "The method of optimization of energy-efficient engineering solutions by varying criteria in CAD," in *Materials Science and Engineering*. IOP Conference Series, 2018, vol. 365, p. 022027.
- [15] A. Sedov, P. Chelyshkov, A. Afanasev, M. Vainstein, Y. Vilman, and Y. Grossman, "The analysis of expediency of daylight sensors using by application of the combined strategy of artificial lighting management," *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, vol. 7, pp. 1046–1053, 2016.

# Planning and design of urban bikelanes. Metropolitan Area of Valencia (AMV), Venezuela

Isandra Villegas \* , Betty Farias 

*Escuela Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela.*

**Abstract.-** This research addresses the problem of urban mobility in Venezuelan cities that have been going through their worst crisis, exacerbated by the political-economic scenario that has impacted one's basic services of first need: public transport. Citizens have had to opt for alternative means to be able to move, such as: trucks, pickup and motorbikes among others, putting their personal safety at risk. The city of Valencia does not escape this reality (high costs of passages, low wages and salaries, availability of cash, inaccessibility to fuel among others), so this research describes the process of implementing a non-motorized alternative mode of transport that incorporates a part of the affected users. The methodology includes: 1) Delimitation of the study area, 2) Field survey, 3) Demand study, 4) Selection of routes with the highest degree of feasibility, 5) Geometric design of the selected cycle network. The results showed a high acceptance of the bicycle as a mode of transport with details of the geometric design of a 64 km backbone network in the AMV. Concluding in this research that it is feasible to use bicycles as a means of sustainable transport in the city of Valencia.

**Keywords:** sustainable development; sustainable mobility; cycle network; transport; accessibility.

## Planificación y Diseño de ciclovías urbanas. Experiencia Área Metropolitana de Valencia (AMV), Venezuela

**Resumen.-** Esta investigación aborda la problemática de movilidad urbana en las ciudades venezolanas que han estado atravesando su peor crisis, agudizado por el escenario político-económico que ha impactado en uno de los servicios básicos de primera necesidad: el transporte público. Los ciudadanos han tenido que optar por medios alternativos para poder trasladarse, tales como: camiones, pickup y motos entre otros, poniendo en riesgo su seguridad personal. La ciudad de Valencia no escapa de esta realidad (altos costos de pasajes, bajos sueldos y salarios, disponibilidad de efectivo, inaccesibilidad al combustible entre otros), por lo que esta investigación describe el proceso de implantación de un modo de transporte alternativo no motorizado que incorpore a una parte de los usuarios afectados. La metodología incluye: 1) Delimitación del área de estudio, 2) Levantamiento de campo, 3) Estudio de demanda, 4) Selección de las rutas con mayor grado de factibilidad, 5) Diseño geométrico de la red troncal de ciclovías seleccionadas. Los resultados arrojaron una elevada aceptación de la bicicleta como modo de transporte con detalles del diseño geométrico de una red troncal de 64 km en el AMV. Concluyendo en esta investigación que es factible el uso de las bicicletas como medio de transporte sostenible en la ciudad de Valencia.

**Palabras clave:** desarrollo sostenible; movilidad sostenible; red ciclovías; transporte; accesibilidad.

Recibido: 05 de marzo, 2020.

Aceptado: 28 de abril, 2020.

durante la última década han demostrado que el ciclismo está creciendo en popularidad como medio de transporte y recreación.

### 1. Introducción

A nivel mundial el ciclismo desempeña un papel importante dentro de los sistemas de transporte de las comunidades. Estudios realizados en las principales ciudades latinoamericanas y europeas

En América Latina tanto Colombia como Brasil han sido los primeros países en promover el uso de la bicicleta como medio alternativo de transporte [1]. Hay relativamente pocos datos disponibles sobre el uso nacional de bicicletas. Sin embargo, según el Estudio Integral de Transporte y Tránsito del Área Metropolitana de Valencia (EITTAMV) aproximadamente entre 1 y 3 % de los viajes diarios

\* Autor para correspondencia:

Correo-e: Isandravillegas@gmail.com (I. Villegas)

se hacen en bicicleta y, el 20 % de la población manifestó utilizarla regularmente cada 15 días [2]. Por otra parte, el uso de bicicletas en algunas ciudades de la región está creciendo a una tasa de 3 a 5 % anual, por ejemplo según información de la Alcaldía Mayor de Bogotá, Secretaría General (2018), “más de 835.000 personas se mueven en bicicleta en Bogotá”, y en algunos casos alcanzando el 5,3 % del patrón de movilidad total de la ciudad según [3].

La intensidad de uso de la bicicleta varía de un lugar a otro bajo la influencia de los valores culturales, y los factores económicos, sociales, físicos y ambientales [4]. La bicicleta, como medio de transporte, ha sido asociada a la idea de pobreza por la sociedad desde el punto de vista económico, su bajo costo de adquisición y mantenimiento la hacen prácticamente el único vehículo al alcance de la mayoría de la población de escasos recursos económicos, producto de la incapacidad para adquirir un vehículo propio por el elevado costo de estos. Por su parte, la utilización indiscriminada del vehículo automotor ha tenido consecuencias ambientales, que sobrepasan los límites de aceptabilidad en amplias zonas de las regiones metropolitanas de la mayoría de las ciudades de tamaño grande y medio, generando como consecuencia la pérdida del carácter de uso urbanístico recreativo y cultural de las áreas centrales y desconcentración de la población a zonas de la periferia. Por lo que, el transporte eficiente de personas y mercancías cumple en las ciudades un rol esencial para el desarrollo de la economía y de sus necesidades sociales, ya que la demanda creciente de viajes en automóvil privado en las ciudades en el mediano plazo no serán posibles de satisfacer. En consecuencia, la mayoría de las autoridades de planificación de los sistemas de transporte, están frecuentemente evaluando la aplicación de medidas de administración del tránsito que puedan utilizarse para lograr un equilibrio aceptable entre las necesidades de transporte y de comunicación de las ciudades con una visión de sostenibilidad. Además, la búsqueda de una movilidad sostenible requerirá repensar la planificación urbana, con ciudades más densas y con zonas de uso mixto en las que

no sea necesario utilizar el vehículo particular, combinando diferentes modos de transporte, extensas redes para bicicletas y peatonalizar espacios que permitan volver al más antiguo sistema de desplazamiento humano, caminar.

Todo lo anterior se relaciona con la libertad de desplazamiento de los ciudadanos, la cual se encuentra estrechamente relacionada con el acceso a distintos medios de transporte [5]. En el espacio urbano, los ciudadanos deben disponer de diferentes medios de transporte para desplazarse. Sin embargo, no todos los que viven en la ciudad tienen las mismas posibilidades de uso de los medios de transporte. Circunstancias personales como el nivel de renta, la edad, el género o las capacidades mentales o físicas condicionan la competencia en la utilización de los diversos modos de desplazamiento, introduciendo con ello una nueva fuente de desigualdad en la ciudad [6].

Una serie de consideraciones diferencian al transporte en bicicletas de otros modos de transporte en el ámbito urbano, las cuales son fundamentales y deben ser tomadas en cuenta para planificarlo, promocionarlo y poder integrarlo a los otros modos existentes que operan en la red vial, procurando los aspectos que brinden siempre la seguridad y el confort de los usuarios [7]. Se deben tener en cuenta los aspectos favorables que se mencionan a continuación: bajo costo de adquisición y mantenimiento, eficiencia energética, contribución a la salud de los usuarios, bajo impacto ambiental, equidad inclusión social, flexibilidad, rapidez, menor uso de espacio público. Sin embargo, su uso presenta aspectos desfavorables tales como: radios de uso limitado, sensibilidad a pendientes altas y rampas, exposición a la intemperie y contaminación de aire, vulnerabilidad a accidentes de tránsito, seguridad contra la delincuencia entre otros.

## 2. Fundamentación

Uno de los sistemas alternos de transporte a proponer por lo novedoso y por la expectativa que despierta su implantación, es un programa que incentive el uso de vehículos no motorizados como la bicicleta, que es un medio de transporte

ecológico, económico, y de fácil acceso para la población de menores recursos. Sin embargo, a pesar de muchos esfuerzos realizados en la planificación de este modo de transporte por diferentes autoridades locales e instituciones académicas a nivel nacional durante los últimos 10 años, hasta la presente fecha en las ciudades venezolanas se aprecia que el uso de este servicio es muy incipiente como modo factible de desplazamiento urbano [8]. Tampoco se han creado programas de transporte no motorizado con el objetivo de difundir e implementar el uso masivo de la bicicleta como medio alternativo de transporte popular, estudiantil y laboral; conociendo que el uso de la bicicleta es beneficiosa para la salud y significa economía para los usuarios, la bicicleta es un modo de desplazamiento seguro, eficaz y competitivo frente a otros modos de desplazamiento [9].

La posibilidad de movilizarse depende en gran medida el acceso de los habitantes a las oportunidades que ofrece la ciudad en materia de empleo, educación, salud, esparcimiento, entre otras cosas. Los últimos años, el sistema de transporte público se presenta como un elemento clave que limita el desarrollo humano de la población venezolana y el desarrollo económico de la ciudad, [10]. El escenario político-económico venezolano ha agudizado una crisis en diversos sectores de la vida urbana, siendo uno de los servicios básicos de primera necesidad más afectados el transporte, impactado severamente el ritmo de vida urbano de la ciudadanía, hasta el punto que una parte de la población ha tenido que recurrir a medios inseguros e inhumanos para poder desplazarse y la otra a abandonar el derecho a realizar sus actividades en la ciudad.

Los costos operativos para prestar el servicio de transporte público en las ciudades venezolanas son insostenibles, los choferes tienen un ingreso regulado por las tarifas fijas, mientras que los gastos de mantenimiento son impredecibles debido a que la economía del país se mueve, en muchas áreas, con divisas a precios del mercado negro. Mientras la población padece los efectos de esta crisis con un pasaje inestable, la carencia de dinero en efectivo para cancelar la tarifa está presente y ha tendido a

agravar la situación por los conflictos diarios entre conductores y usuarios, padeciendo largos tiempos de espera para trasladarse; mediciones recientes estiman que la situación tenderá a empeorar, [11].

Esta situación que está atravesando el transporte público en las ciudades venezolanas se ve reflejada en la ciudad de Valencia, capital del estado Carabobo, donde los hogares más pobres de la ciudad se asientan generalmente en la periferia ya que allí los gastos de vivienda y servicios son más bajos; pero en contraposición, deben asumir un alto e imprescindible costo del transporte. Todo está generando consecuencias insostenibles de convivencia urbana impidiendo a sus ciudadanos las libertades de desplazamiento para realizar sus actividades básicas y cubrir sus necesidades primarias para su desarrollo, siendo en los momentos actuales una de las más importantes la búsqueda de alimentos, por lo que se considera que tal situación atenta contra los postulados de los Objetivos de Desarrollo Sostenible [12], ya que la falta de medios de transporte limita de forma directa el derecho a la ciudad como derecho humano.

Los traslados diarios representan al mes aproximadamente entre un 40 % a 50 % del salario mínimo integral. El fenómeno se agudiza día a día, por su parte la dirección de transporte del Instituto Autónomo De Transporte y Tránsito (IAMTT) de Valencia, informa el abandono del servicio de aproximadamente un 60 % de unidades de transporte público, por lo que el problema ahora no es solo aumentar la tarifa [13].

Por lo que, implantar la modalidad de desplazamiento en bicicletas podría ser parte de la solución a la problemática del transporte. Sin embargo, la falta de una infraestructura óptima (ciclovías) para la circulación de los ciclistas pone en peligro la seguridad de estos [14], debido a que actualmente tendrían que compartir las mismas vías de circulación con vehículos a motor, tales como: vehículos particulares, motos, camiones, entre otros, y al no tener formalmente establecidos los espacios, señales y dispositivos de control de tránsito para los modos no motorizados de transporte corren el riesgo de ser arrollados. Por esto, los posibles usuarios atraídos de este medio

de transporte, no saldrían si las condiciones de la infraestructura no les brindan seguridad, por lo que algunos ciclistas que circulan actualmente optan por no circular en vías principales con un flujo elevado de vehículos a motor, otros circulan a riesgo. Es por esto que implantar este modo de transporte requerirá un tratamiento técnico-político y la formulación de una política pública local que planifique, gestione y regule el uso de este modo de transporte alternativo.

### 3. Materiales y métodos

El desarrollo de la investigación describe y analiza las etapas de la planificación para el uso de ciclovías dentro de un contexto multidisciplinario, donde intervienen aspectos institucionales, legales, de ingeniería, ambientales, educativos y divulgativos, planteados en el diagrama metodológico.

En la Figura 1 se presenta el Diagrama Metodológico para la Planificación de Transporte No Motorizado (TNM).

La investigación se desarrolla en cinco (5) etapas: en la etapa I, se delimitó el área de estudio, en la etapa II, se realizó un proceso de revisión y recopilación de información básica documental, levantamiento de campo (recorridos de vías urbanas, generadores de viajes en bicicletas, capacidad vial, accidentalidad) y de planes de transporte locales existentes, en la etapa III, se realizó el estudio de demanda utilizando herramientas cuantitativas de análisis estadístico aplicadas en trabajo de campo, en la IV etapa se procedió a seleccionar las rutas con mayor grado de factibilidad de implantación a través de una matriz que evaluó cuatro (4) aspectos: conectividad, factibilidad física, nivel de riesgo, accidentalidad y continuidad; por último en la etapa V, se elaboró el diseño geométrico de la red troncal de ciclovías seleccionadas.

#### 3.1. Delimitación del área de estudio

El ámbito geográfico del área de estudio está representada por los Municipios: Valencia, Los Guayos, y Naguanagua que forman parte del Área Metropolitana de Valencia-AMV, se

encuentra situada en la Región Central de Venezuela, aproximadamente 160 kilómetros al oeste de la capital de la República, en el centro del estado Carabobo. Los mismos están conurbados y presentan buena conectividad a través de corredores viales existentes, los cuales son atractores de viajes en transporte público y peatonal. Los aspectos a considerar para el desarrollo de una red troncal de transporte no motorizado, tomó en consideración las etapas de crecimiento futuro de la Línea 1 y 2 del Sistema de Transporte Masivo con metro ligero, su red de rutas troncales alimentadoras, para desarrollar un sistema de pistas para bicicletas en la ciudad, que surge de la necesidad de facilitar y hacer más segura la creciente movilización de grupos sociales de usuarios potenciales de escasos recursos, que requieren de un sistema confiable e inclusivo de transporte, el cual pudiera integrarse con los sistemas modales existentes y planificados a futuro.

#### 3.2. Levantamiento de campo

En esta fase se hizo una revisión exhaustiva de toda la información disponible, además de un reconocimiento preliminar del área de estudio mediante recorridos de vías urbanas, localización de los principales generadores de viajes en bicicletas, consultas en la comunidad y estudio del mercado de las bicicletas, además de capacidad vial, accidentalidad, y de planes de transporte locales existentes.

#### 3.3. Estudio de la demanda

En esta etapa se realizaron entrevistas que permitieron conocer los usuarios potenciales de la bicicleta. La aplicación de una encuesta en el domicilio o lugar de residencia (O/D) representó uno de los principales medios de levantamiento de información básica para el conjunto de herramientas de planificación y estimación de las principales características socioeconómicas y de movilidad. En términos generales, la encuesta en el domicilio tuvo como objetivo fundamental, investigar las interrelaciones entre los aspectos socioeconómicos con las actividades que se desarrollan dentro de los espacios geográficos objeto del área de estudio, con el propósito de



Figura 1: Diagrama Metodológico para la Planificación de Transporte No Motorizado, (TNM)

determinar el comportamiento de indicadores de transporte y su relación con el resto del entorno urbano.

### 3.4. Evaluación de alternativas

En esta etapa se procedió a seleccionar las rutas con mayor grado de factibilidad de implantación a través de una matriz que evaluó cuatro (4) aspectos: conectividad, factibilidad física, nivel de riesgo, accidentalidad y continuidad.

Así mismo, se desarrollaron los criterios para la planeación y selección de los ejes que conformaron la red de vías para uso de bicicletas. Se planeó un sistema compuesto de una red principal (Troncal) y una secundaria (Alimentadora), estas permitirán a los usuarios movilizarse y conectarse a modos de transporte alternativo y complementario al sistema de transporte convencional (autobuses, metro). El trazado requirió de recorridos y observaciones de campo que sirvieron para evaluar los niveles operativos del trazado, prever y minimizar los riesgos a los ciclistas en tramos rectos entre otros aspectos.

Se dio tratamiento especial en las intersecciones, así como en zonas vulnerables conflictivas o críticas, contemplando todos los aspectos de seguridad vial y los posibles polos generadores de ocurrencia de accidentes o puntos negros del

sistema vial, lo que permitió considerar medidas para mitigar los posibles impactos al poner en servicio una vía para ciclistas. Las rutas ciclísticas preliminares seleccionadas se clasificaron en tres tipologías de ejes:

- a) ejes principales troncales,
- b) ejes secundarios alimentadores,
- c) ejes secundarios recreativos.

### 3.5. Diseño geométrico de la red seleccionada

En esta etapa se procedió a realizar la evaluación solo de los ejes principales a través de una matriz, lo que permitió seleccionar los ejes que conformaron la Red Troncal. La matriz definió las prioridades que facilitaron la selección y definición de ejes preliminares propuestos en la red troncal cicloviaria evaluada, los criterios adoptados midieron cuatro factores o aspectos relevantes: conectividad, factibilidad física o espacio, nivel de riesgo o accidentalidad, continuidad de acceso. En áreas residenciales y comerciales, se estableció un nivel de valores para cada condición de ocurrencia, alto, medio y bajo de cada factor, lo que facilitó la toma de decisión para la selección de los ejes troncales. Se elaboró el diseño geométrico de la red troncal de ciclovías seleccionadas y sus elementos básicos de ingeniería de tránsito:

- a) Clasificación de vías según su volumen,
- b) Anchos de diseño recomendados,
- c) Tipo pistas y canales para ciclistas,
- d) Tratamiento a las intersecciones y paradas de transporte público,
- e) Terminales y estacionamientos,
- f) Paisajismo,
- g) Pavimentos.

#### 4. Presentación y discusión de resultados

Los resultados del estudio de la demanda a través de la implementación de las encuestas origen y destino (O/D) determinaron varios aspectos del patrón del viaje, siendo uno de los más resaltantes, el elevado porcentaje de aceptación (más del 50 %) de la población hacia la implantación de ciclovías como medio de transporte complementario en el AMV, además, esta aceptación por parte de los usuarios estuvo condicionada en construir las mismas segregadas y con elementos de protección para su uso.

En la Tabla 1 se presentan los resultados de esta fase.

Tabla 1: Resultados del estudio de demanda del uso de bicicletas

Zonas / Año	Número de hogares	% Aceptación de uso de bicicletas
Área Metropolitana Valencia, 2016 (1)	1000	42
Municipio Valencia Rafael Urdaneta, 2016 (2)	250	92

Fuente:

(1) Estudio IAMTT, Plan de Naciones Unidas para el Desarrollo-Fondo Medio Ambiente Mundial (PNUD-GEF).

(2) Briceño R.

##### 4.1. Evaluación de alternativas

La evaluación solo de los ejes principales a través de una matriz, permitió seleccionar los ejes que conformaron la Red Troncal. Los resultados obtenidos de los factores evaluados conectividad, factibilidad física o espacio, nivel de riesgo o accidentalidad, continuidad de acceso áreas residenciales y comerciales se valoraron de acuerdo

a las condiciones de ocurrencia alto, medio y bajo de cada factor.

La Tabla 2 representa los resultados obtenidos para el factor conectividad o conexión de zonas referido al grado o bondad que tiene una vía para acceder hacia áreas específicas o puntos de generación de viajes.

Tabla 2: Resultados del estudio de conectividad o conexión a zonas generadoras de viajes

Nivel	Escala	Observación	Valor
Bajo	B	Desplazamiento deficiente en tramos.	1
Medio	M	Desplazamiento interrumpido en tramos	2
Alto	A	Desplazamiento continuo en todo el tramo	3

La Tabla 3 representa los resultados obtenidos para la factibilidad física para implantación referida a la capacidad de anchos disponibles en retiros o laterales de la vía, en la isla central, o en laterales de la calzada existente que facilite la implantación de ciclovía.

Tabla 3: Resultados del estudio de factor factibilidad física para implantación

Rango de valores obtenidos	Factibilidad de implantación
4 – 6	Baja Factibilidad (B)
7 – 10	Media Factibilidad (M)
11 – 12	Alta Factibilidad (A)

La Tabla 4 representa los resultados obtenidos para el factor de riesgo, el cual evalúa la tasa de ocurrencia de accidentes por año.

La Tabla 5 representa los resultados obtenidos para el factor continuidad referida como la capacidad de un eje vial de permitir al usuario, el desplazamiento continuo en red, entre igual o diferentes tramas viales, hacia áreas específicas, residenciales, comerciales y educativas

En la Tabla 6 se presentan las 11 rutas seleccionadas las cuales arrojaron valores más altos a partir de 8 puntos de factibilidad de implantación.

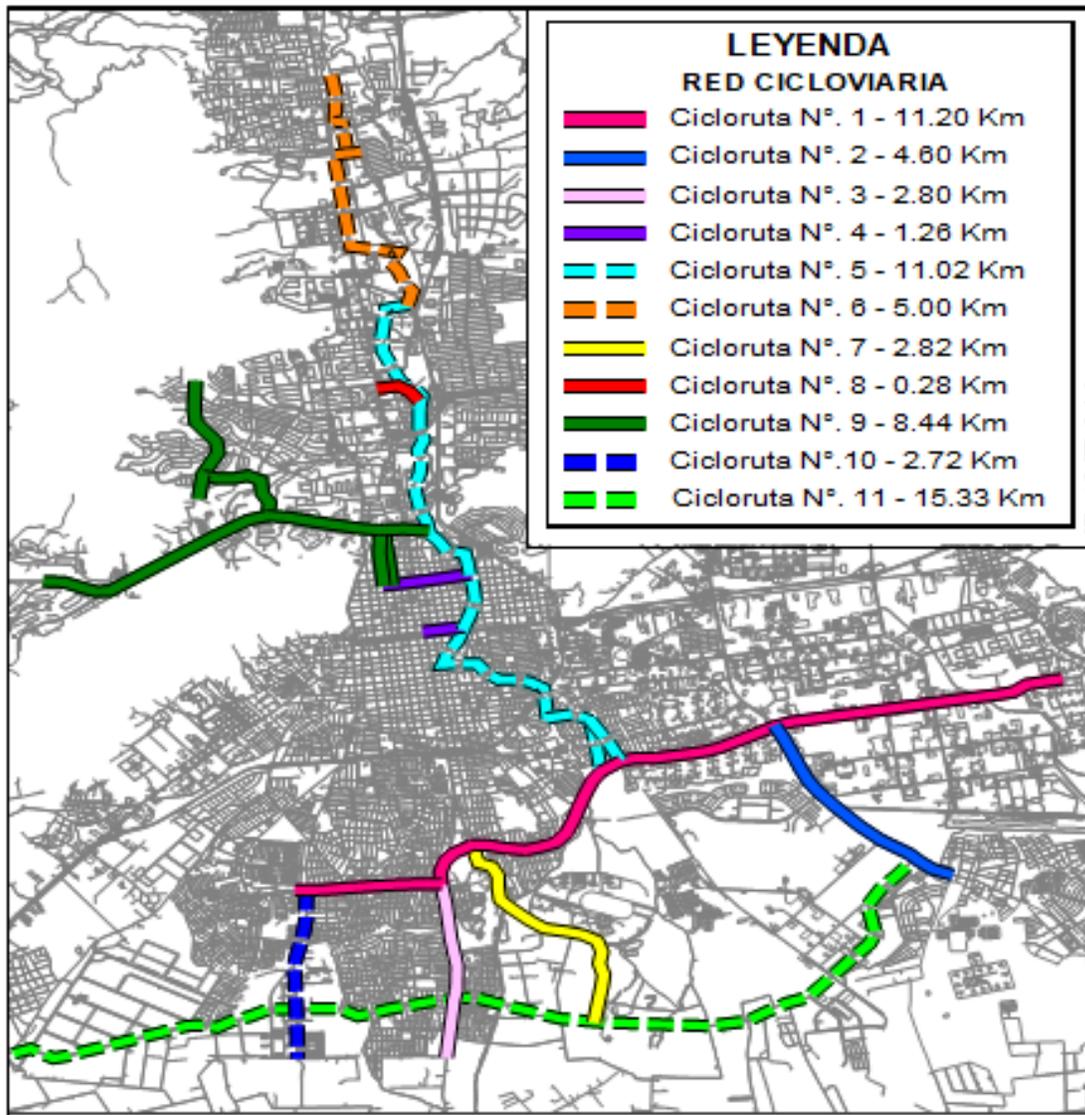


Figura 2: Red Troncal de 11 ciclovías propuestas en el AMV

Tabla 4: Resultados del estudio del nivel de riesgo y accidentalidad

Nivel	Escala	Observación	Valor
Bajo	B	Ocurrencia de al menos 1 accidente.	3
Medio	M	Ocurrencia entre 2 y 4 accidentes.	2
Alto	A	Ocurrencia de 5 o más accidentes.	1

Tabla 5: Resultados del estudio de continuidad

Nivel	Escala	Observación	Valor
Bajo	B	Grado de conexión bajo	1
Medio	M	Grado de conexión medio	2
Alto	A	Grado de conexión alto	3

Este proceso de valoración de factores permitió seleccionar.

La Figura 2 muestra el planteamiento del diseño

geométrico de la red troncal de 64 km de ciclovías.

Una vez evaluados y totalizados los 4 factores para cada eje troncal, de procedió a definir los rangos de valores que determinan la factibilidad de

Tabla 6: Matriz de ponderación para la selección rutas en el AMV

Ruta	Conectividad	Factibilidad física	Accidentalidad	Continuidad	Valor
1	A = 3	A = 3	M = 2	A = 3	11
2	M = 2	A = 3	M = 2	M = 2	9
3	M = 3	M = 2	M = 2	M = 2	9
4	M = 2	M = 2	M = 2	M = 2	8
5	A = 3	A = 3	M = 2	A = 3	11
6	A = 3	A = 3	M = 2	M = 2	11
7	A = 3	A = 3	B = 3	B = 1	11
8	A = 3	A = 3	B = 3	A = 3	12
9	A = 3	A = 3	B = 3	A = 3	12
10	M = 2	B = 2	B = 3	A = 3	10
11	A = 3	A = 3	B = 3	A = 3	12

implantación para la toma de decisiones y selección de estos.

La Tabla 7 presenta los resultados para los rangos de valores obtenidos para la implantación.

Tabla 7: Resultados del estudio de rangos de valores de implantación

Nivel	Escala	Observación	Valor
Bajo	B	Sin capacidad	1
Medio	M	Capacidad calzada existente	2
Alto	A	Capacidad en retiros / isla central / calzada	3

#### 4.2. Diseño geométrico de la red Troncal

Los resultados arrojados de la clasificación de vías según su volumen se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8: Clasificación de ciclovías según su volumen

Cantidad de bicicletas /día	Volumen
0-120	Bajo
121-250	Medio
250 o más	Alto

La clasificación de anchos de diseño recomendados se muestran en la Tabla 9.

Los resultados según el tipo de pistas y canales para ciclistas son los siguientes: el trazado contempla dos tipologías de ejes en el sistema

Tabla 9: Anchos de diseño recomendados

Ciclovías o ciclo pistas (fuera de calzada)			
Unidireccionales			
AMR (Ancho Mínimo Recomendable)			
1 pista		2 pistas	
AMR	Ancho ideal	AMR	Ancho Ideal
1,00	1,20	2,00	2,20
Ciclocanal o ciclo carril (dentro de calzada)			
Unidireccional			
1 pista		2 pistas	
AMR	Ancho ideal	AMR	Ancho Ideal
1,00 + 0,25 rayado	1,2 + 0,25 rayado	1,8+0,25 rayado	2,0+0,25 rayado

- 1) Ciclovía o Ciclopista, en el caso de que se implante en espacio físico en los laterales del Corredor, fuera de la calzada o, dentro de espacios en la isla central de la vía, construyéndose un canal exclusivo independiente y separado del tránsito automotor. Las Figuras 3 y 4 muestran estos resultados.



Figura 3: Eje 2. Vía Flor Amarillo (Lo06)

- 2) Ciclocanal o ciclocarril en el caso de que la implantación sea en un canal delimitado y demarcado dentro de la calzada. La Figura 5 muestra este resultado.

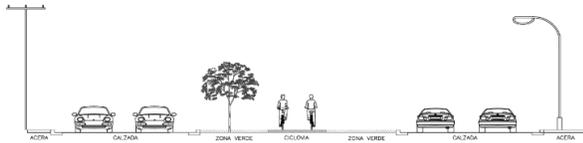


Figura 4: Eje 7. Av. Principal Hipódromo enlace Plaza de Toros

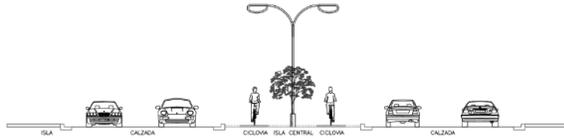


Figura 5: Eje 1. Sesquicentenario-Av. Libertador

En ambas tipologías aunque el canal sea segregado, se debe contar con los elementos mínimos de seguridad a fin de resguardar y preservar la integridad del ciclista.

En la ciudad de Valencia se logró vincular e integrar centros de generación de viajes de los sectores populares residenciales tales como los sectores al sureste de Flor Amarillo, Ciudad Plaza, zonas alrededores Parque Recreacional e Hipódromo, al suroeste en Av. Libertador-Sesquicentenario–Av. Aránzazu con las zonas de atracción de viajes comerciales, industriales y educativas que constituyen los viajes origen – destino de mayor frecuencia en la red. La Figura 6 presenta este caso.

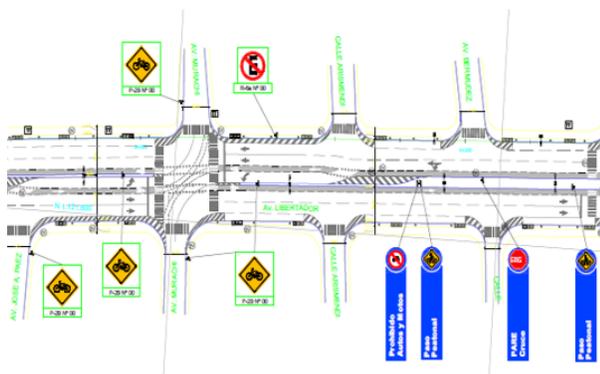


Figura 6: Eje 4. Tramo de Av. Libertador enlace Plaza de Toros, esquema funcional

Para el tratamiento a las intersecciones y paradas de transporte público, el diseño en las intersecciones consideró criterios de seguridad y

confort para los ciclistas, tomando en cuenta el tipo de vía y las caracterizaciones del tráfico. Los criterios son los siguientes: Excelente visibilidad recíproca, es decir, que el ciclista pueda ver cualquier vehículo con tiempo suficiente para detenerse, y uso apropiado de las señalizaciones horizontales y verticales. Se puede observar esta situación en la Figura 7.

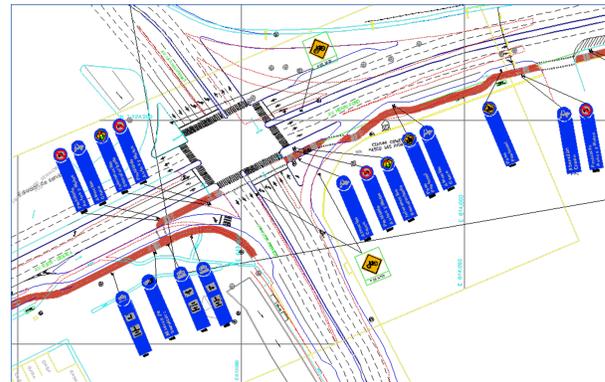


Figura 7: Intersección Henry Ford con Humberto Celli, Zona Industrial Norte

En cuanto a los terminales y estacionamientos se diseñó la infraestructura necesaria para crear las condiciones operativas que estimulen el viaje modo dual, donde se atraiga a la gente a combinar los viajes de bicicleta con el transporte público y el metro, esto permitiría aumentar el rango del recorrido en bicicleta. Un gran porcentaje de la población de escasos recursos está residenciada en la zona sur de la ciudad y la mayoría trabajan a distancias aceptables para cicloandantes (7 a 15 km). Por lo que se diseñó una biciestación con capacidad para 120 paraciclos y 12 bicitaxis, ubicada en la adyacencia de la estación del metro Plaza de Toros, cuya finalidad es ofrecer unidades en alquiler, servicios de bicitaxis y estacionamiento de resguardo de bicicletas. Este diseño se muestra en la Figura 8.

El paisajismo y servicios son imprescindibles por la importancia de un ambiente agradable y atractivo a la vista es un factor que se considera motivador a los usuarios de este medio de transporte. El ciclista se siente más identificado y comprometido con el medio o entorno de las ciclovías. La ornamentación y la vegetación en concordancia con el ambiente de la ciudad hacen

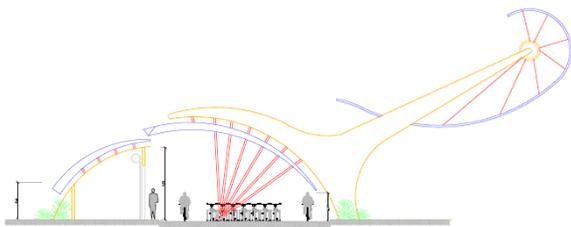


Figura 8: Biciestación Plaza de Toros-Metro Valencia, Arq. J.M Fernández

más habitables las zonas urbanas y potencia el uso de las ciclovías. El proyecto contempló la siembra de 4000 arbustos, donde solo se sembraron 150 en el tramo construido en el eje troncal 1 de la red. En cuanto los pavimentos para una ciclovía deben poseer una superficie uniforme, impermeable, antideslizante y de aspecto agradable. Por no estar sometidos a grandes esfuerzos su estructura no requerirá de diseños exigentes. Lo que es muy importante es que la ciclovía produzca una diferencia visual a las otras vías adyacentes, lo que permitirá a esto ser el mayor recurso para su señalización. Los pavimentos propuestos fueron en su mayoría de asfalto y pocos tramos en concreto, el uso de adoquines no es recomendable ya que su uso produce vibraciones a los cicloandantes.

## 5. Conclusión

La experiencia presentada en la investigación, demuestra que la planificación de ciclovías requiere de la elaboración de proyectos por parte de expertos donde no solo se debe evaluar la demanda potencial usuaria, sino su factibilidad de implantación que permita determinar las condiciones de viaje seguro y confortable con facilidades de interconexión e integración a otros modos de transporte en la ciudad, por lo que la ingeniería de tránsito juega un papel importante en el proceso.

En el AMV se planificó y diseñó una de Red Troncal de Ciclovías de Longitud aproximada de 64 km con ingeniería de detalle de la cual solo se construyeron 7 km, los que actualmente operan en forma deficiente ya que no se construyó la biciestación que permitiría la integración operativa

con otros modos de transporte (metro, autobús) en la estación del metro Plaza de Toros.

De lograr posicionar la bicicleta como medio de transporte en la ciudad de Valencia, se contemplan beneficios: ambientales como mejoras a la calidad de aire y reducción de gases de efecto invernadero y otros contaminantes, económicos como el ahorro de combustible, sociales como el ahorro del tiempo de viaje y, beneficios urbanos como el mejoramiento del espacio público lo que se traduce en mejorar la calidad de vida de los ciudadanos.

Construir infraestructura no es suficiente para motivar a los ciudadanos a utilizar este medio de transporte. Brindar la seguridad que exige el ciclista urbano se mide en términos de integridad personal, pero también en la certeza de contar con infraestructura adecuada para un tránsito seguro en toda la red, que incluye estacionamientos para bicicletas, ubicados en los espacios públicos y en las edificaciones gubernamentales, académicas, centros comerciales entre otros.

## 6. Recomendaciones

Es necesario ofrecer a las comunidades programas educativos y normas el uso de bicicletas como medio de transporte, además las autoridades deben proporcionar las condiciones para un viaje seguro y cómodo en bicicleta, logrando un nivel de mantenimiento y servicio satisfactorio en la red propuesta. La correcta segregación de las pistas destinadas a la bicicleta es el punto principal para transitar seguro en cualquier parte donde exista una ciclovía. Utilizar un criterio unificado para el diseño de ciclovías y ciclocanales (señales, color de la banda, semáforos) en el AMV, esto facilitaría el desplazamiento de los ciclistas y la interacción de estos con otros medios de transporte. Reducir la demanda de viajes en general o en determinados lugares por la implementación de una política de precios, estrategias de uso de la tierra, la política de estacionamiento o las restricciones a la capacidad del sistema (tarificación urbana).

La exclusión de la circulación de automóviles de la ciudad o de los centros urbanos favoreciendo las zonas comerciales peatonales (peatonalizar corredores viales o construir ejes verdes). Dedicar

espacios viales a usuarios específicos, por ejemplo, canales para uso exclusivo para autobuses (BRT), flotas de bicitaxis o bicicletas, ejes verdes peatonales.

## 7. Referencias

- [1] M. Díaz, “La bicicleta en la movilidad cotidiana: experiencias de mujeres que habitan la Ciudad de México,” *Revista Transporte y Territorio*, vol. 16, pp. 112–126, 2017.
- [2] Instituto Autónomo Municipal de Tránsito y Transporte Valencia (IAMTT), *Estudio Integral de Transporte Público del Área Metropolitana de Valencia (EITTAMV, expandido 2005-2019)*, Carabobo, Venezuela, 2019.
- [3] Banco Interamericano de Desarrollo (BID), “Ciclo-inclusión en América Latina, guía para impulsar el uso de la bicicleta como transporte urbano,” Reporte técnico, 2015.
- [4] V. A. Muñoz Sotomayor, “Diseño de Ciclovías para Ciudades Intermedias, una propuesta para Loja, Guayaquil, Universidad Internacional del Ecuador,” *INNOVA Research Journal*, vol. 1, no. 12, pp. 11–22, 2016.
- [5] G. Isunza, *Movilidad Urbana: Dimensiones y Desafíos*. México: Editorial Colofón, 2017.
- [6] C. Miralles, *Transporte y Ciudad El binomio imperfecto*. Barcelona: Ariel Geografía, 2002.
- [7] A. Jakovcevic, P. Franco, M. Visona, D. Pozzaa, y R. Ledesma, “Percepción de los beneficios individuales del uso de la bicicleta compartida como modo de transporte,” *Suma Psicológica*, vol. 23, no. 1, pp. 33–41, 2016.
- [8] Y. Dávila, Z. Bolívar, y C. Criollo, “Caracas a Pedal: Aportes para un Cambio en la Movilidad Urbana Caraqueña,” en *Ciudad y Sociedad (CS-18), Trienal de Investigación, FAU UCV 2017*, Caracas, Venezuela, 2017.
- [9] Centro de Estudios sobre Redes, Transportes, Urbanismo y Construcción Pública CERTU, “Los esquemas de ciclovías y la intermodalidad bicicletas y transportes públicos,” en *Boletín FAL, Facilitación del Transporte y el Comercio en América Latina y El Caribe*, 317 ed. CEPAL, Enero 2013, no. 1.
- [10] I. Villegas, “Movilidad Sostenible Eficiencia Social y Desarrollo,” Tesis Doctoral en Desarrollo Sostenible, Universidad Simón Bolívar, Caracas, Venezuela, 2016.
- [11] I. Villegas, “¿Existe en Venezuela un transporte público que satisfaga los derechos humanos?” en *XX Congreso Latino Americano de Transporte Público Urbano (CLATPU)*, Medellín, Colombia, 23-26 de julio 2018.
- [12] Organización de Naciones Unidas, *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América y el Caribe (LC/G.2681-P/Rev. 3)*, Santiago, 2018.
- [13] Dirección de Transporte, Instituto Autónomo Municipal de Tránsito y Transporte Valencia, *Inventario de flota de transporte*, 2018.
- [14] Instituto Nacional de Transporte Terrestre, *Manual Venezolano de Dispositivos Uniformes para el Control de Tránsito (MVDUCT), capítulo 9, ciclovías*, (INTT), 2011.

# Evaluation of the influence of annealing time on the mechanical, electrical and microstructural properties of aluminum alloy AA-8176

Leonel Salazar <sup>a</sup> , Kelvyn Matute <sup>a</sup> , Luís Sidorovas <sup>\*,b</sup> 

<sup>a</sup>Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela.

<sup>b</sup>Centro de Investigación de Materiales CIM, Facultad de Ingeniería Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela.

**Abstract.-** Aluminum, an excellent material for electrical applications (almost all high voltage wiring is made from aluminum alloys). It has a high relationship between resistance and weight, corrosion resistance, high electrical conductivity, reflectivity, formability, machinability, non-toxic, and non-magnetic. Due to the current circumstances (Venezuela Country Situation), it is not possible to import raw materials for the manufacture of high quality electrical conductors; therefore it is obtained from a national but lower quality aluminum supplier. A large number of imperfections were observed: metallic (Fe) and non-metallic inclusions ( $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $CaCO_3$  and Si), porosities that affect quality, then it is melted and add alloying elements to obtain an alloy adjusted to the quality specifications for the manufacture of electrical conductors. The experimental procedures were carried out according to ASTM B 800-05 and ASTM B standards for the evaluation of annealing on mechanical, electrical and microstructural properties. The material after each annealing time (6, 8, 10 and 12 hours) was characterized, through mechanical and metallographic tests, to determine the influence of the annealing time on the alloy. The longer the annealing, the material became more ductile and its grain size increases. It was established that the alloy must be better refined to obtain a better final product.

**Keywords:** microstructure; annealing; ultimate effort; elongation; electrical conductivity.

## Evaluación de la influencia del tiempo de recocido sobre las propiedades mecánicas, eléctricas y microestructurales de la aleación de aluminio AA-8176

**Resumen.-** El aluminio, excelente para aplicaciones eléctricas (casi todo el cableado de alto voltaje se fabrica con aleaciones de aluminio), posee una alta relación entre la resistencia y el peso, resistencia a la corrosión, elevada conductividad eléctrica, reflectividad, formabilidad, maquinabilidad, no-tóxico, ni-magnético. Debido a las actuales circunstancias (Situación País Venezuela), no es posible la importación de materia prima en bobinas de alambre de diámetro  $d=9,5$  mm para la fabricación de conductores eléctricos de alta calidad, por lo tanto se obtiene de un proveedor nacional la aleación de aluminio AA 8176 en lingotes, pero con una gran cantidad de imperfecciones: inclusiones metálicas (Fe) y no metálicas ( $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $CaCO_3$  y Si), y porosidades que afectan la calidad, luego se funde y se le agregan elementos aleantes para obtener una aleación según las normas de fabricación de conductores eléctricos, con una menor cantidad de imperfecciones, inclusiones y porosidad. A continuación se procesa por deformación plástica y se presenta en rollos de alambre de 9,5 mm de diámetro y al final se le aplica el recocido de 6, 8, 10 y 12 horas y se caracterizó mediante ensayos mecánicos y metalográficos, para determinar la influencia del tiempo del recocido sobre la aleación. A mayor tiempo del recocido el material se hizo hasta un 30 por ciento más dúctil y un crecimiento del tamaño de grano de  $30 \mu m$  hasta  $200 \mu m$  para el recocido de 12 horas. Se estableció que debe refinarse mejor la aleación para obtener un mejor producto final.

**Palabras clave:** microestructura; recocido; esfuerzo ultimo; elongación; conductividad eléctrica.

Recibido: 10 de febrero, 2020.

Aceptado: 10 de abril, 2020.

### 1. Introducción

Las propiedades que favorecen la selección del aluminio y sus aleaciones son su alta relación entre la resistencia y su peso, su alta resistencia a la corrosión de productos químicos, su elevada conductividad eléctrica, reflectividad,

\* Autor para correspondencia:

Correo-e:lsidorovas@gmail.com (L. Sidorovas)

formabilidad y maquinabilidad, además no son magnéticos ni tóxicos. Los usos principales del aluminio y de sus aleaciones son la fabricación de contenedores y empaques (latas y hojas de aluminio), edificios y otros tipos de construcciones, en el transporte, herramientas portátiles, productos duraderos y aplicaciones eléctricas (conductor económico y no magnético). Casi todo el cableado para transmisión de alto voltaje se fabrica con aluminio [1].

Según Fernández [2] el aluminio y sus aleaciones solo pesan aproximadamente un tercio de volúmenes iguales del hierro, acero o cobre. Con temple apropiados, algunas aleaciones de aluminio igualan o superan la resistencia de algunos aceros. Las aleaciones de aluminio fuerte pueden ser más resistentes que el acero. Del mismo modo Espinoza [3] afirma que el peso tiene mucha importancia en la transmisión de electricidad de alto voltaje a larga distancia, y actualmente se usan conductores de aluminio para transmitir electricidad a potenciales de 700.000 voltios. La producción de cables y alambres a partir de la aleación de aluminio AA-8176, se fundamenta en estándares de calidad: conductividad eléctrica, resistencia a la tensión y porcentaje de alargamiento). Para minimizar la variación en las especificaciones se le aplica un tratamiento térmico de recocido que mejora sus propiedades mecánicas y eléctricas.

La resistencia a la tensión es el esfuerzo ingenieril calculado cuando la carga aplicada alcanza su valor máximo, también se le denomina última resistencia a la tensión (TS) y junto con la fluencia son dos importantes propiedades para el diseño y la manufactura de los materiales. El porcentaje de alargamiento se relaciona con la deformación que sufre el material antes de fallar. Groover [4] lo define como la cantidad de deformación que el material puede soportar antes de romperse, es también una propiedad mecánica de interés en muchos procesos de manufactura. La medida común de esta propiedad es la ductilidad, que es la capacidad de un material para deformarse plásticamente sin fracturarse. Esta medida puede tomarse ya sea como elongación o como reducción de área.

Como lo enseña Callister [5] en relación a la

conductividad eléctrica, este término se utiliza para especificar el carácter eléctrico de un material. Es simplemente el recíproco de la resistividad, indica la facilidad con que un material es capaz de conducir corriente eléctrica. Por otro lado la norma Covenin 452-89 [6] indica que la Resistividad es el valor que expresa el producto de la resistencia eléctrica de un material metálico por su sección transversal, dividido entre su longitud. Así como también, la resistividad volumétrica es el valor que expresa el producto de su resistencia eléctrica por su sección dividido entre su longitud y, finalmente la resistividad de masa es el producto de la resistividad volumétrica por la densidad del metal.

Destaca Fernández [2] que el aluminio es un gran sustituto como conductor en reemplazo del cobre, por las características que presenta y además representa un negocio rentable, también determinó en su estudio que las aleaciones tipo 1350 y la serie 8000 son las que poseen mejor conductividad, por esto son las más idóneas para la fabricación de conductores de aluminio de hasta 2000 voltios. Tal vez por estas razones se ha incrementado tanto la fabricación de conductores eléctricos a base de la aleación de aluminio AA-8176.

Mangonon [7] define el recocido como un tratamiento térmico del material con el propósito de aliviar los esfuerzos después del trabajo en frío o en caliente, y para ablandar el material al eliminar el endurecimiento por deformación. La recuperación se aplica para producir alambres de aluminio de alta resistencia para líneas de transmisión eléctrica. La recuperación devuelve la conductividad eléctrica, pero conserva la alta resistencia mecánica que se obtuvo en el trabajo en frío.

La presente investigación se realizó con la finalidad de mejorar la calidad de los conductores eléctricos fabricados con la aleación de aluminio AA-8176, donde se evaluó el efecto del tiempo del tratamiento térmico de recocido, para garantizar las propiedades eléctricas y mecánicas. Los resultados permitieron interpretar, discutir y analizar los datos obtenidos para establecer un tiempo de recocido que permita alcanzar la especificación de la norma ASTM B 800-05 y con el mejor tiempo de recocido, mejorar el proceso de fabricación y disminuir los costos implícitos de producción. Esto permitirá

la fabricación de los conductores eléctricos con un alto estándar de calidad con la materia prima que se consigue en el ámbito nacional, esto incide en la utilidad económica de la empresa y en la política de sustitución de importaciones de materia prima (aleación de aluminio) con lo cual la empresa se posiciona mejor en el mercado nacional e internacional de los productores de conductores eléctricos de esta aleación de aluminio.

## 2. Desarrollo de la investigación

La investigación se inicia con una revisión de los fundamentos teóricos que guían este proceso. A continuación se desarrollan las siguientes etapas: adquisición, reformulación y estudio de recocido del material utilizado en la producción de conductores eléctricos.

### 2.1. Adquisición del material

Como consecuencia de múltiples factores que interactúan entre ellos, como la disponibilidad de dólares para comprar la materia prima importada, asimismo la eficiencia administrativa del Estado y hasta un pretendido bloqueo económico que se enmarcan en la realidad país actual, no se puede obtener la materia prima importada, por lo tanto la empresa se ve en la necesidad de adquirirla de un proveedor nacional, esta aleación es usada para múltiples aplicaciones. El material llega a la empresa en forma de lingotes de aleación de aluminio AA-8176, pero con una gran cantidad de imperfecciones: inclusiones metálicas y no metálicas e impurezas no deseadas, por lo que se funde para ser reformulada para obtener una aleación ajustada para la fabricación de conductores eléctricos.

### 2.2. Reformulación del Material

El proceso de producción de conductores eléctricos comienza cuando se recibe la materia prima original según el certificado de calidad. Esta es fundida y se le adicionan algunos elementos aleantes como: chatarra (recortes, escoria, producto rechazado, entre otros) y aleantes (boro, hierro, magnesio, silicio, entre otros), esto se justifica porque la materia prima de una calidad limitada

debe ser refinada para disminuir el porcentaje de impurezas, porosidades, imperfecciones mecánicas y no mecánicas con el objetivo de obtener una aleación con una formulación propia de calidad mejorada, reformulándola hasta obtener una aleación de aluminio AA-8176 ajustada a los parámetros de la empresa dentro de las especificaciones nacionales e internacionales.

Posteriormente a esta reformulación el material pasa por un proceso de colada continua para después realizar un proceso de fabricación (deformación plástica), donde la barra de aluminio entra con una sección trapezoidal al laminador, pasando por 10 estaciones de laminación en caliente (5 horizontales y 5 verticales) con un baño de trefilina con una concentración mayor al diez por ciento, saliendo con sección circular para luego pasar por un túnel de enfriamiento con agua y aire donde al final el recogedor se encarga de enrollar el alambón formando la bobina de material, que se presenta en forma de rollo de alambón con un diámetro de 9,5 mm, en bobinas de 2 toneladas y una densidad a 20 °C de 2,71 g/cm<sup>3</sup> (Figura 1).



Figura 1: Presentación de alambón de aluminio AA-8176.

En esta fase, al material sin tratamiento térmico de recocido, se le toma la muestra de la punta interna (PI) al inicio del rollo de alambón y de punta externa (PE) al final del rollo, con una longitud de 35 cm para asegurar que la sección medida entre las mordazas para las muestras sea de

25 ± 1 cm para obtener las propiedades mecánicas (carga de rotura y porcentaje de alargamiento). A continuación se fabricaron las probetas para la aleación AA-8176 en su estado original (Sin tratamiento Térmico de Revenido) para los ensayos de conductividad eléctrica, esfuerzo y elongación según las especificaciones.

Se fabricaron las probetas en su condición inicial para el ensayo de tracción y de resistencia eléctrica, para la medición del diámetro de la probeta de tracción (9,5 mm) se utilizó un tornillo micrométrico digital Marca: Mitutoyo. Modelo: TM-500. Las probetas para los ensayos se pesaron en una balanza digital, marca: FAIRBANKS, modelo: FLM 0402, Capacidad: 5 kg. Apreciación de 0.001g. A continuación con estos datos se realizaron los cálculos pertinentes. La resistencia eléctrica se midió en un puente Kelvin (Figura 2).



Figura 2: Puente Kelvin Marca: Aesa Cortaillod, Modelo 7106.

Luego mediante el ensayo de tracción según la norma ASTM B 557 [8], en una máquina universal de tracción marca: YUE HUA TEC, modelo YH (Figura 3), previamente se determina el diámetro promedio según procedimiento interno. Del mismo modo se tomaron las muestras del material no tratado para determinar las propiedades eléctricas (conductividad o porcentaje de IACS) según el procedimiento interno de la empresa fundamentado en las Normas ASTM B 557 y B193-02 [9], que consiste en tomar una muestra con una longitud de 156 ± 1 cm para ser montada en un equipo puente de Kelvin marca: AESA CORTAILLOD, modelo 7106 (Figura 2)

La composición química de la aleación aluminio AA-8176 se obtuvo mediante un espectrómetro marca: SPECTROLAB, modelo: M6375 (Figura 4), tipo emisiones ópticas, programa: software



Figura 3: Máquina universal de tracción marca: YUE HUA TEC, modelo YH.

1.20, este equipo permite obtener el porcentaje en masa de cada uno de los metales presentes.



Figura 4: Equipo de espectrometría de emisiones óptica Spectrolab.

Se asume el aluminio AA-8176 como un material homogéneo en toda la longitud del

rollo de alambroón que se somete al tratamiento térmico de recocido, donde los resultados de sus características: esfuerzo último, elongación y conductividad eléctrica entre las muestras de la punta externa (PE) y la punta interna (PI) presentan una leve variación en los valores, se puede considerar que el material es uniforme.

### 2.3. Estudio de Recocido

El material se somete a un tratamiento térmico de recocido para garantizar los estándares de calidad del producto nacional y de exportación. Las especificaciones del aluminio AA-8176 se muestran en las Tablas 1, 2, 3 y 4. El tratamiento consistió en colocar cuatro bobinas del material dentro de un horno Marca: CANEFCO. Modelo: 3 a una temperatura entre los 500-520 °C, donde se realizó el tratamiento térmico de recocido con periodos de tiempo correspondientes a 6, 8, 10 y 12 horas respectivamente; después del recocido se tomaron las muestras en cada uno de los rollos para ser caracterizadas y determinar las propiedades mecánicas y eléctricas en sus diferentes tiempos de recocido.

Tabla 1: Composición química de la aleación de aluminio AA-8176 [8].

Material	Porcentaje en peso
Silicio	0,03 – 0,15
Hierro	0,40 – 1,0
Cobre	-
Magnesio	-
Zinc	0,10
Boro	-
Otros elementos	0,15
Aluminio	Resto

Tabla 2: Propiedades atómicas del aluminio [10, 9].

Número atómico	13,0000
Estructura cristalina	FCC
Peso atómico	26,9815 g/mol
Valencias indicadas	3,0000

Se asumen las especificaciones de calidad del producto de la empresa fabricante de conductores

Tabla 3: Propiedades Eléctricas [11].

Conductividad Eléctrica a 20 °C	35 mΩ <sup>-1</sup> mm <sup>-2</sup>
Resistividad eléctrica a 20 °C	0,0286 μΩ mm <sup>2</sup> m <sup>-1</sup>
Coefficiente de temperatura de la resistencia eléctrica entre 1 y 100 °C	0,0040 K <sup>-1</sup>
Densidad de corriente límite	102 A/mm <sup>2</sup>
Densidad de corriente de fusión	1910 A/mm <sup>2</sup>
Densidad del Al	2,7 g/cm <sup>3</sup>

Tabla 4: Propiedades Mecánicas Promedios [12].

Módulo de Elasticidad (E)	71,7 GPa
Módulo de Rigidez (G)	26,8 GPa
Razón de Poisson (ν)	0,34

eléctricos por ser las características que definen el producto a partir del aluminio AA-8176. Los criterios de calidad del producto se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5: Criterios de calidad del producto.

	Diámetro (mm)	Conductividad eléctrica. (%IACS)	Esfuerzo último (kgf/mm <sup>2</sup> )
Antes	9,5 ± 0,5	N/A	10 – 12
Despues	9,5 ± 0,5	60,6 Mínimo	6,0 – 8,5
Exportación	9,5 ± 0,5	> 60	6,0 – 9,0

#### 2.3.1. Microscopia óptica y electrónica de barrido

La Microscopia Óptica y Electrónica de Barrido fue realizada en el Laboratorio de Metalografía de la Universidad Simón Bolívar (USB), los procedimientos para la preparación de las probetas como desbaste, pulido y ataque se realizaron según las normas ASTM E3-01 [13] y ASTM E 407-07 [14]. Se dispusieron las muestras y estas fueron embutidas en baquelita para el ensayo de metalografía. Para el desbaste grueso de las

probetas se utilizó una desbastadora gruesa marca: LECO, modelo: BG-30 con lija de banda de 80 grit y en el desbaste fino se procedió a lijar con desbastadora fina marca: LECO, modelo: DS-20 con lijas de: 240, 320, 400 y 600 grit. (Figura 5)



Desbaste grueso

Desbaste fino

Figura 5: Pulidora de desbaste.

Finalmente se le realizó un pulido tipo espejo con lija rotatoria (1200 grit), y un acabado con pasta de diamante (1 micrón) en una pulidora marca: BUEHLER, modelo: Beta - Twin Variable Speed Grinder Polisher. Como reactivo se usó ácido fluorhídrico al 24 por ciento durante 30 segundos de exposición.

Para el estudio de microscopía óptica, se utilizó un microscopio óptico marca: OLYMPUS, modelo: PMG3 y para la microscopía electrónica de barrido un microscopio electrónico de barrido Marca: JEOL, Modelo: JSM-6390, con ampliaciones desde 100X a 8000X (Figura 6).



Microscopio óptico



Microscopio electrónico de Barrido

Figura 6: Microscopio utilizados.

### 3. Análisis y discusión de los resultados

La composición química de la aleación aluminio AA-8176 reformulada sin procesar, se obtuvo mediante espectrometría de emisiones óptica en

un equipo marca SPECTROLAB (Figura 4), arrojando los resultados, según Tabla 6.

Tabla 6: Composición química del aluminio AA-8176 (Colada 1098).

Porcentaje en peso				
Si 0,083	Fe 0,41	Cu 0,001	Mn 0,005	Mg 0,006
Ti+V 0,002	Ca <0,0001	Ga 0,007	Li -	Na <0,0001
Cr <0,0001	Ni 0,003	Zn 0,006	Ti 0,002	B 0,002
Pb 0,002	Sn 0,002	Sr -	V 0,0006	Al 99,47

En la Tabla 7 se presenta la comparación de la composición química del producto con la composición requerida por la norma ASTM B 800-05 y por la norma interna de la empresa y su respectiva correspondencia [15].

Tabla 7: Comparación de la composición química.

Elemento	Porcentaje en peso		
	Producto	ASTM B800-05	Norma Interna
Si	0,083	0,03-0,15	0,03-0,10
Mg	0,006	-	-
Fe	0,41	0,40-1,0	0,40-0,42
Ga	0,007	0,03 Max	0,02 Max.
Ti+V	0,002	*	0,02 Max.
B	0,002	-	-
Cr	< 0,0001	*	0,003 Max.
Zn	0,006	0,10	0,03 Max.
Mn	0,005	*	0,006 Max.
Ni	0,003	*	0,02 Max.

La sumatoria de las composiciones químicas restantes, marcadas con un asterisco \* no debe sobrepasar el 0,15 por ciento de la composición total.

Caicedo y Murgía [16] concluyeron en su investigación que el proceso de producción (colada, trefilación y tratamiento térmico) se inicia en el monitoreo y control de las variables, mantener los factores significativos en los rangos propuestos asegura el proceso uniforme. El control de proceso como un objetivo de calidad, con acciones preventivas, correctivas y/o de mejoramiento antes de que originen problemas en el producto final es de vital importancia. Se requiere un excelente

refinado y también el control del proceso que minimice las pérdidas y el reproceso (producto no conforme) para asegurar la calidad del producto en el tratamiento térmico.

Los resultados obtenidos para las muestras sin tratamiento térmico de recocido se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8: Resultados obtenidos de las muestras sin tratamiento.

	PE	PI
Carga Última (kgf)	826,60	847,78
Alargamiento (mm)	39,90	38,69
Resistencia Eléctrica ( $\Omega$ /km)	0,41	0,40
Diámetro (mm)	9,47	9,50
Masa (g)	296,96	299,47

Los resultados obtenidos para la punta interna y la punta externa del esfuerzo último, elongación y conductividad eléctrica se presentan en la Tabla 9.

Tabla 9: Datos promedios de los ensayos mecánicos y eléctricos.

	PE	PI
A ( $\text{mm}^2$ )	70,24	70,84
$\sigma_U$ ( $\text{Kgf}/\text{mm}^2$ )	11,77	11,97
$\delta$ (%)	15,28	15,80
CE (% IACS)	60,52	60,51

### 3.1. Tratamiento térmico de recocido

Los resultados obtenidos se muestran en las Tablas 10, 11 y 12.

Tabla 10: Datos obtenidos de los instrumentos.

Tiempo recocido (Horas)	Carga Última (kgf)		Alargamiento $\delta$ (mm)	
	PE	PI	PE	PI
6	569,72	634,32	91,58	78,67
8	559,80	597,03	94,49	94,91
10	567,27	571,64	99,07	101,99
12	536,04	566,1	97,41	107,40

Tabla 11: Datos obtenidos de los instrumentos.

Tiempo recocido (Horas)	Resistencia Eléctrica ( $\Omega$ /km)	
	PI	PE
6	0,3940	0,3927
8	0,3967	0,3940
10	0,3827	0,3914
12	0,3939	0,3906

Tabla 12: Diámetro y peso de las probetas.

Tiempo recocido (Horas)	Diámetro (mm)		Peso (gf)	
	PE	PI	PE	PI
6	9,63	9,53	296,02	295,60
8	9,48	9,61	295,28	300,00
10	9,63	9,49	302,48	298,50
12	9,59	9,54	302,49	300,52

Después del tratamiento de recocido en los diferentes tiempos de exposición, con los datos obtenidos de los instrumentos se calcula el área de sección (A), el esfuerzo último ( $\sigma_U$ ), la elongación ( $\delta$ ) y la conductividad eléctrica (CE) en la PE y PI mostrada en la Tabla 13.

De igual manera se representan las diferencias alcanzadas después del tratamiento térmico a diferentes tiempos de las propiedades eléctricas (conductividad eléctrica) al esfuerzo de rotura y al porcentaje de elongación con respecto a material sin tratamiento térmico, según la Tabla 14.

El comportamiento del material sometido a tratamiento térmico de recocido es consistente con los fundamentos teóricos que rigen la recuperación del material con endurecimiento y de las tensiones internas por deformación que aparecen durante el proceso de fabricación, que pudieran afectar las especificaciones del producto.

De la misma manera como Orsi [17] en un estudio observó al caracterizar dos aleaciones de aluminio, que el aumento de la tensión de fluencia y de rotura está relacionado al endurecimiento por deformación que presentan ambos materiales durante el trefilado, en la Figura 7 se observa como disminuye el esfuerzo último al incrementarse el tiempo de exposición, por la recuperación

Tabla 13: Datos Obtenidos para Tratamiento de Recocido (6, 8, 10 y 12 Horas).

Tiempo recocido	6 Horas		8 Horas		10 Horas		12 Horas	
	PE	PI	PE	PI	PE	PI	PE	PI
A (mm <sup>2</sup> )	70,02	69,92	69,85	70,96	71,55	70,61	71,55	71,09
$\sigma_U$ (Kgf/mm <sup>2</sup> )	8,14	9,07	8,01	8,41	7,93	8,10	7,49	7,96
Elongación (%)	26,20	22,50	27,00	27,10	29,10	28,30	29,10	30,30
CE (%IACS)	62,50	62,70	62,20	61,70	62,40	62,70	62,80	62,10

Tabla 14: Diferencias entre material sin recocido y material después del tratamiento térmico (6, 8, 10 y 12 Horas).

Tiempo recocido	6 Horas		8 Horas		10 Horas		12 Horas	
	PE	PI	PE	PI	3,77	3,84	4,08	4,01
$\sigma_U$ (Kgf/mm <sup>2</sup> )	3,70	2,69	3,73	3,71	14,0	13,1	13,1	15,0
$\delta$ (%)	10,4	6,9	11,7	11,3	1,8	2,1	2,4	1,7
CE (%IACS)	2,0	2,1	1,7	1,1	3,77	3,84	4,08	4,01

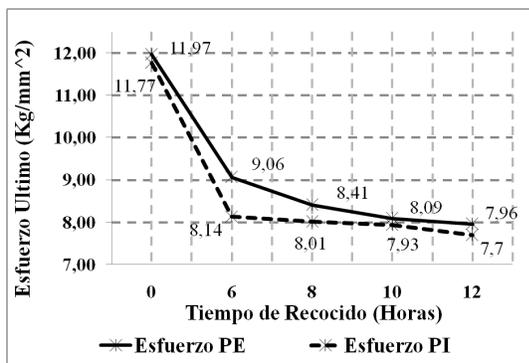


Figura 7: Esfuerzo último vs tiempo de recocido.

del endurecimiento por deformación que sufre el material en el proceso de fabricación, haciéndose más dúctil. En función a lo antes expuesto se debe establecer un tiempo específico de recocido del material con las características más favorables de este ante el recocido.

Se destacó que para todas las etapas del recocido cumple por encima de su promedio ponderado con la especificación de calidad más exigente del esfuerzo último para el caso de exportación (6–9 kg/mm<sup>2</sup>).

El comportamiento de la elongación es consistente con el aumento de la ductilidad, presentando una tendencia de crecimiento de alrededor a 45° y un promedio de R<sup>2</sup> aproximadamente de 0,80 de

acuerdo con la Figura 8.

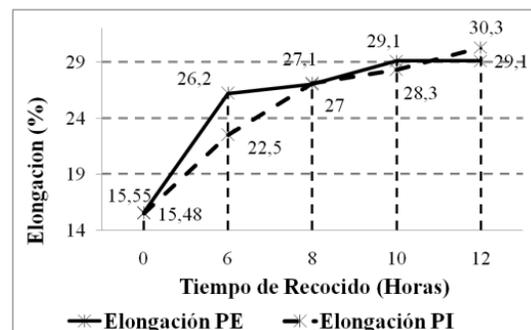


Figura 8: Elongación vs tiempo de recocido.

Como Jiménez [18] lo expone, “La deformación es el resultado del movimiento de defectos microscópicos a través del cristal (interacciones entre el campo de deformación y las dislocaciones), al correlacionar las propiedades mecánicas con las características microestructurales”, concluye que el incremento del esfuerzo de fluencia, resistencia a la tracción y la microdureza evidencian que el material se ha endurecido. En el caso de la aleación AA-8176 también se endurece por deformación plástica en el proceso de fabricación y recupera sus propiedades en el tratamiento de recocido (Figura 9), donde se denota que a mayor tiempo de recocido disminuye el esfuerzo último y aumenta la elongación.

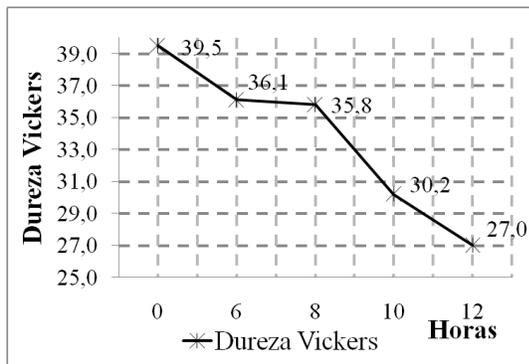


Figura 9: Dureza Vickers vs tiempo de recocido.

Se destaca la importancia del tratamiento térmico de recocido para alcanzar las especificaciones del producto requeridas tanto para consumo interno o de exportación.

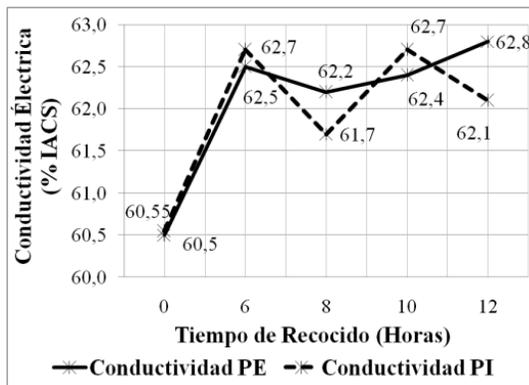


Figura 10: Conductividad eléctrica vs tiempo de recocido.

En la Figura 10 se observa como la conductividad eléctrica del material fue afectada levemente por el aumento del tiempo de recocido, se observó una pequeña oscilación en los valores en las PE y PI, esto podría indicar una relación de la conductividad con el endurecimiento o envejecimiento y tal vez esta pudiera estar más relacionada con la pureza de la aleación, asociada con las inclusiones metálicas o no metálicas (óxidos, inclusiones metálicas o no metálicas e impurezas).

Garzón et al. [19] realizaron un tratamiento de homogenización de dos horas a una temperatura de 570 °C, más un enfriamiento rápido y un tratamiento de envejecimiento de 0-18 horas. Concluye que debido al envejecimiento se producen

los procesos de nucleación y crecimiento de los precipitados (difusión de los granos), lo que permite un cambio en la conductividad eléctrica de la aleación AA 8176 y el tiempo de envejecimiento cambia el carácter morfológico de la aleación AA-8176, es decir, cambia la microestructura y mejora su conductividad eléctrica. En este estudio el procedimiento fue un recocido de 6, 8, 10 y 12 Horas a una temperatura entre 500-520 °C, esto pudo haber inducido un efecto de envejecimiento que favoreció la microestructura y la conductividad del material por los resultados que se observan en la Figura 10.

Como lo indican Jablonski et al. [20] en un conductor real, el cual posee defectos producto de las imperfecciones de la red: la movilidad y velocidad de las cargas eléctricas depende críticamente del número y tipo de defectos estructurales, a mayor número de defectos de la red, menor distancia entre colisiones, menor movilidad y menor conductividad eléctrica. Los electrones se desplazan por el material como ondas electromagnéticas que permiten ajustar su periodicidad a la red cristalina. Esto valida que la conductividad se ve afectada por las imperfecciones del material, por lo que la aleación de aluminio debe ser muy bien refinada para minimizar en lo posible el número de estas imperfecciones para obtener un buen conductor eléctrico.

### 3.2. Ensayo de Microdureza.

Se realizó el ensayo de dureza a las muestras y se presentan los resultados obtenidos en la Tabla 15.

Tabla 15: Resultado del ensayo microdureza.

Tiempo Recocido (Horas)	D1 (mm)	D2 (mm)	Dureza (HV)
0	0,0488	0,0482	39,5
6	0,0516	0,0498	36,1
8	0,0514	0,0504	35,8
10	0,0536	0,0572	30,2
12	0,0585	0,0587	27,0

Se observó que a medida que se incrementa el tiempo de exposición del recocido el material

se hace más dúctil, esto se demostró como una disminución constante del valor de dureza del material (Figura 9). Se apreció un crecimiento de grano desde  $30\ \mu\text{m}$  hasta alcanzar un tamaño promedio de  $200\ \mu\text{m}$  para el recocido de 12 horas, así como también la disminución de la dureza.

Cuando los granos están libres de deformación desaparece el reforzamiento creado por el trabajo en frío y eso explica la disminución de la resistencia y la dureza.

### 3.3. Microestructura antes y después del tratamiento térmico

Se realizó el procedimiento a las muestras para ser visualizadas a través de microscopía óptica y microscopía electrónica de barrido.

*Ensayo de microscopía óptica.* En la microscopía se observa para el estado inicial sin revenido una microestructura característica de la aleación de aluminio AA-8176 con algunas imperfecciones y porosidades que se revelaron en la microscopía electrónica de barrido.

En la Figura 11 se muestran las micrografías del material para un tiempo de revenido de: 0, 6, 8, 10 y 12 horas, en estas imágenes se puede observar que a medida que aumenta el tiempo de revenido el tamaño del grano hay un crecimiento del tamaño de grano de  $30\ \mu\text{m}$  para 6 Horas hasta  $200\ \mu\text{m}$  para el recocido de 12 horas. Así como también las fases comienzan a desaparecer, presentándose un proceso de nucleación y crecimiento. También que se revelan mejor las imperfecciones, que presentan formas redondeadas.

### 3.4. Ensayo de Microscopía Electrónica de Barrido

Las fotomicrografías para un tiempo de revenido de: 0, 6, 8, 10 y 12 horas mostradas en la Figura 12, donde se observaron inclusiones como formas o puntos oscuros que resaltan de manera brillante con una forma poco uniforme, asimismo las porosidades se detallan como líneas alargadas o puntos claros opacos más pequeños que las inclusiones. Se demostró la presencia de un alto índice de imperfecciones como inclusiones metálicas y no metálicas, presencia de óxido de

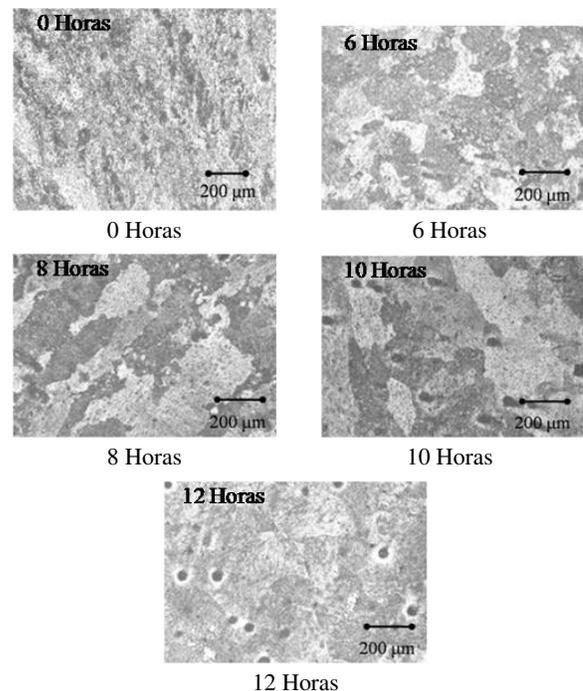


Figura 11: Fotomicrografía del material con revenido de 0, 6, 8, 10 y 12 horas.

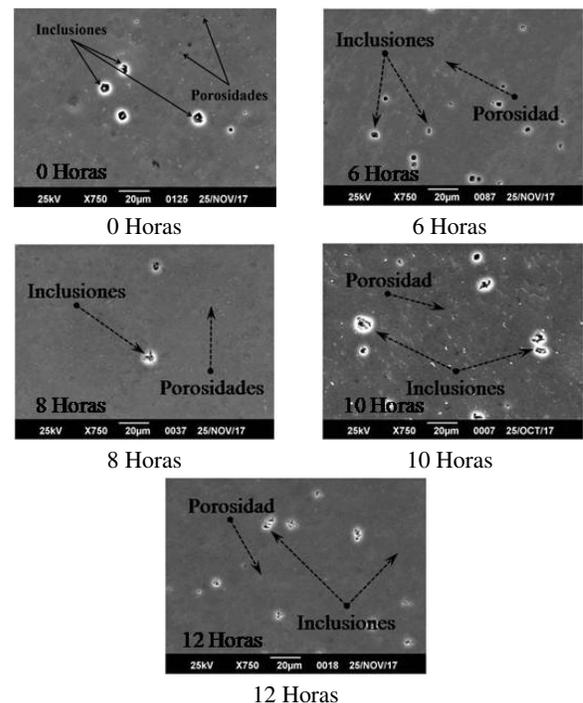


Figura 12: Fotomicrografía con MEB para 0, 6, 8, 10 y 12 Horas.

aluminio y carbonatos, así como también muchas porosidades en una matriz rica de aluminio.

En el estudio del Detector de Energía Dispersiva de Rayos X (EDS) junto con el mapeo de las muestras analizadas se observaron los precipitados compuestos por elementos como hierro, cobre, silicio y las fases  $Al_{16}(Fe, Cu)$  y el resto matriz de aluminio. Con una composición química constituida por oxido de aluminio  $Al_2O_3$  (alúmina), dióxido de silicio  $SiO_2$ , hierro en diferentes fases Fe, carbonatos de calcio  $CaCO_3$  y la presencia de gases como oxígeno ( $O_2$ ) que constituyeron en la porosidad presente de la aleación AA-8176 (Figura 13). Se considera que las inclusiones de Fe y Si presentes son las que predominan y tienen un tamaño promedio aproximado de  $15\mu m$ .

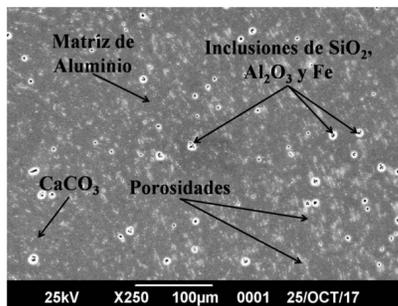


Figura 13: Algunas imperfecciones del Material.

En las Figuras 14, 15, 16, 17 y 18 se presentan las micrografías del ensayo de MEB con un aumento de 2000X, en donde se muestran algunas de las muchas imperfecciones e inclusiones metálicas o no metálicas presentes en el material, las cuales se revelaron en todas las etapas de recocido. La aleación base presenta gran cantidad de porosidades e inclusiones metálicas y no metálicas, que se deben depurar porque no contribuyen con la calidad del producto y afectan las propiedades del material.

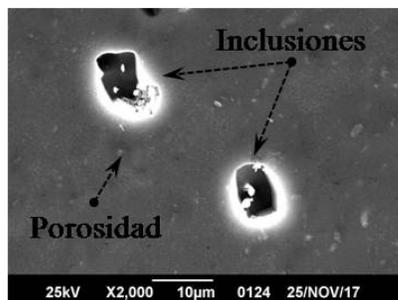


Figura 14: Material en condición original.

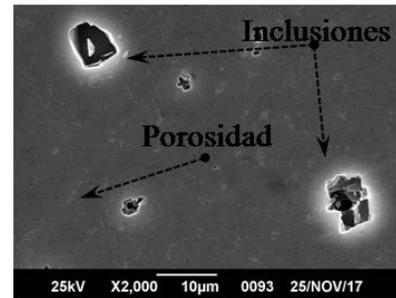


Figura 15: Con recocido de 6 horas.

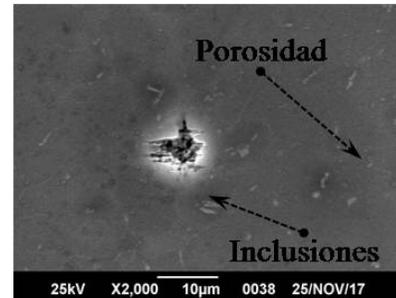


Figura 16: Con recocido de 8 horas.

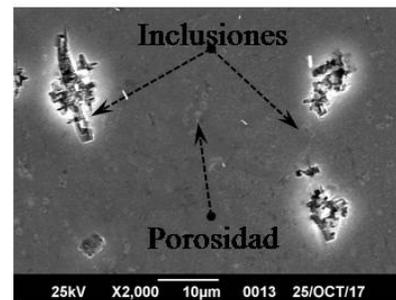


Figura 17: Con recocido de 10 horas.

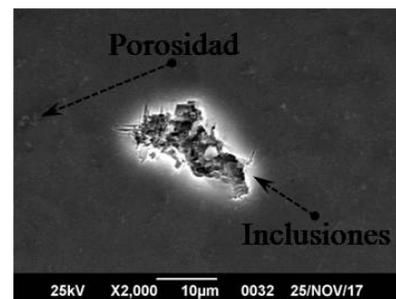
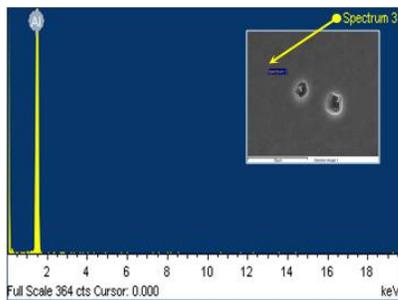


Figura 18: Con recocido de 12 horas.

El EDS (Energy Dispersive Spectrometer) reveló la microestructura típica del aluminio, se observaron inclusiones y precipitaciones y se determinó la composición química de estos puntos observados en la muestra, así como también

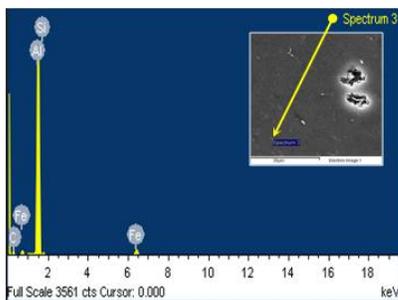
cualquier otro elemento de la matriz de aluminio. Para ello, en las Figuras 19, 20, 21 y 22 se presentan los puntos seleccionados para el análisis de las muestras de la aleación AA-8176.

Para la Figura 19, en el punto seleccionado se obtuvo como resultado una composición de 100 por ciento de aluminio. Por lo que se considera que solo hay aluminio en este punto.



Elemento	Porcentaje en peso	Porcentaje en peso atómico
Al K	100,00	100,00
Total	100,00	100,00

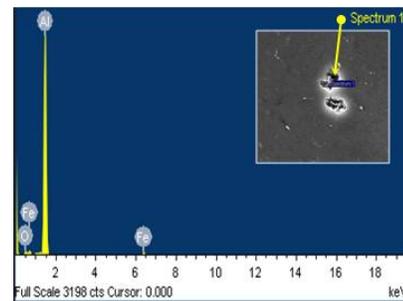
Figura 19: Ensayo de EDS 1.



Elemento	Porcentaje en peso	Porcentaje en peso atómico
C K	28,83	48,85
Al K	62,76	47,34
Si K	2,05	1,49
Fe K	6,36	2,32
Total	100,00	100,00

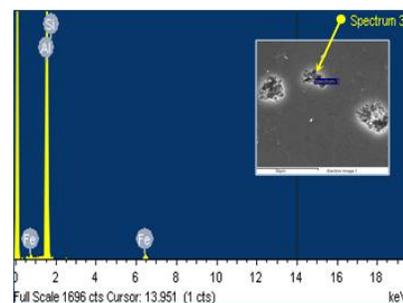
Figura 20: Ensayo de EDS 2.

En la micrografía mostrada en las Figuras 20, 21 y 22 se encontraron concentraciones de carbono y algo de silicio, oxígeno, hierro y por supuesto la matriz de aluminio en los puntos estudiados, lo cual indica que la aleación presenta componentes que producen porosidades, y precipitados de Fe, Si y otros elementos que disminuyen las propiedades y la conductividad de los conductores eléctricos fabricados con la aleación de aluminio AA 8176.



Elemento	Porcentaje en peso	Porcentaje en peso atómico
O K	11,98	19,04
Al K	83,83	79,05
Fe K	4,19	1,91
Total	100,00	100,00

Figura 21: Ensayo de EDS 3.



Elemento	Porcentaje en peso	Porcentaje en peso atómico
Al K	92,66	95,34
Si K	2,06	2,03
Fe K	5,28	2,63
Total	100,00	100,00

Figura 22: Ensayo de EDS 4.

Como lo indica Garzón et al [19], cualquier aumento en la conductividad tiene un impacto directo en la reducción de la pérdida de energía en líneas eléctricas, con sus respectivas consecuencias económicas, técnicas y ambientales. Esto determina que al mejorar la calidad del material y mantener el control del proceso de producción para obtener un conductor eléctrico con un nivel mínimo de imperfecciones o inclusiones que le permitirán una mejor eficiencia eléctrica en beneficio del ambiente.

#### 4. Conclusiones

Se reconoce como una política acertada la sustitución de importaciones, cuando la importación

es complicada o los costos implícitos son altos, así como también en general.

Se debe mejorar al inicio el refinado de la aleación AA-8176 para disminuir las imperfecciones e inclusiones metálicas o no metálicas, el porcentaje de gases, dióxido de silicio, carbonatos de calcio e impurezas para obtener un mejor producto final.

A medida que se incrementa el tiempo de exposición del tratamiento térmico de revenido el material se hace más dúctil y su tamaño de grano aumenta.

Los resultados de las propiedades mecánicas y eléctricas de la aleación AA-8176 obtenidos con el tratamiento térmico de recocido en todas sus etapas de 6, 8, 10 y 12 horas se ajustan a las normas ASTM B800-05 y a las especificaciones técnicas de la empresa.

Se estableció el revenido de 8 horas como el más favorable en función de la especificación del producto y de la optimización del tiempo, en relación al esfuerzo de ruptura, conductividad, elongación y al crecimiento del grano, que inciden directamente en las propiedades del material.

## 5. Referencias

- [1] S. Kalpakjian y S. Schmid, *Metales y aleaciones no ferrosas: producción, propiedades generales y aplicaciones*, 5ta ed. México: Manufactura, Ingeniería y Tecnología, 2008.
- [2] J. Espinoza, *Manual práctico de carpintería metálica*. Editorial Visión Libros, 2013.
- [3] M. Jiménez, “Análisis técnico económicos de la fabricación y utilización de conductores eléctricos de aluminio aislados hasta 2000 voltios,” Trabajo especial de grado, Escuela Politécnica Nacional de Ingeniería, Ecuador, 2003.
- [4] M. Groover, *Fundamentos de manufactura moderna*. México: Pearson Editores. Prentice Hall Hispanoamericana S.A., 1997.
- [5] W. Callister, *Propiedades eléctricas*, 1era ed., serie Ciencia e ingeniería de los materiales. España: Reverté, S.A., 2007.
- [6] CODELECTRA, *COVENIN 452-89, Determinación de la resistividad de materiales metálicos conductores eléctricos*, COVENIN, COVENIN Standard COVENIN 452-89, 1989.
- [7] P. Mangonon, *Ciencia de materiales selección y diseño*. Atlacomulco, México: Pearson Educación México, 2001.
- [8] ASTM, *ASTM B 557. Standard Test Methods for Tension Testing Wrought and Cast Aluminum- and Magnesium-Alloy Products*, ASTM International, 2015.
- [9] ASTM, *ASTM B 193-02. Método estándar para la prueba de resistividad de materiales conductores eléctricos*, ASTM International, 2002.
- [10] E. Avallone y T. Baumeister, *Manual del Ingeniero Mecánico*, 9th ed. México: McGraw-Hill/Interamericana de México, S.A., 2004, vol. tomo 1.
- [11] F. Morral y E. Jimeno, *Metales ligeros*, 1era ed. España: Reverté, S.A., 2004.
- [12] R. Norton y E. Jimeno, *Propiedades de materiales*. México: Pearson Education, S.A., 2011, ch. Apéndice E, pp. 986–987.
- [13] *ASTM E3-01. Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens*, ASTM International, 2002.
- [14] ASTM, *ASTM E 407-07. Standard Practice for Microetching Metals and Alloys*, ASTM International.
- [15] ASTM, *ASTM B 800-05. Método estándar para la prueba de resistividad de materiales conductores eléctricos*, ASTM International, 2002.
- [16] N. Caicedo y R. Pons, “Optimización del Proceso de fabricación de Alambres de Aleación 6201 T-81,” *INGE CUC*, vol. 7, no. 1, pp. 207–216, 2011.
- [17] I. Orsi, “Evolución de defectos en el trefilado de alambros de aluminio,” *ALUAR*, Argentina, Reporte técnico, 2019.
- [18] H. Jiménez, “Comportamiento mecánico y microestructural de la aleación AlMgSi para conductores eléctricos,” *Revista UIS Ingenierías*, vol. 18, no. 2, pp. 199–212, 2019.
- [19] D. Garzón, E. García, y H. Sánchez, “Influencia del tiempo de envejecimiento en la conductividad eléctrica de aleaciones de aluminio serie 8000 AA-8176,” *Revista Información Tecnológica*, vol. 30, no. 6, pp. 101–110, 2019.
- [20] M. Jablonski, T. Knych, and B. Smyrak, “Effect of iron addition to aluminium on the structure and properties of wires used for electrical purposes,” *Material Science Forum*, no. 54, pp. 459–462, 2011.

## Índice de materias

### A

accesibilidad, 91  
aguas de producción petrolera, 20  
algoritmos criptográficos, 29  
análisis-Q, 29  
arcilla, 20

### C

caudales sintéticos, 54  
centrales hidráulicas, 54  
centrales térmicas, 54  
coalescencia, 20  
CommonKADS, 69  
competencia digital, 78  
conductividad eléctrica, 102  
construction control, 84

### D

desarrollo sostenible, 91

### E

elongación, 102  
esfuerzo último, 102  
evaluación no invasiva, 41

### F

FCE, 69  
filtros, 20

### J

Jiménez, Jesús, 78

### L

Latex, 78

### M

Matute, Kelvyn, 102  
meta-modelo cibernético, 29  
microestructura, 102  
movilidad sostenible, 91

### O

OODA, 69

### P

PARMA, 54  
PERSEO, 54  
plan estratégico, 78  
preferencias de usuario, 6

### R

recocido, 102  
red ciclovías, 91  
redes de sensores, 69  
redes sociales, 6  
rendimiento académico, 78  
rodamientos, 41

### S

sistemas de recomendación, 6

### T

tecnología semántica, 6  
transporte, 91

### V

vibraciones, 41

## Subjects index

### A

academic performance, 78  
accessibility, 91  
annealing, 102

### B

bearings, 41

### C

clay, 20  
coalescence, 20  
CommonKADS, 69  
construction control, 84  
cryptography algorithms, 29  
cybernetic meta-model, 29  
cycle network, 91

### D

digital competition, 78

### E

electrical conductivity, 102  
ELF, 69  
elongation, 102

### F

filters, 20

### G

grid computing, 69

### H

hydropower, 54

### L

Latex, 78

### M

microstructure, 102

### N

non invasive assesment, 41

### O

oils production water, 20

OODA, 69

### P

PARMA, 54  
PERSEO, 54

### Q

Q-analysis, 29

### R

recommender systems, 6  
redeployment of industrial facilities, 84  
redevelopment of industrial areas, 84

### S

scientific and technical renovation substantiation,  
84  
semantic technology, 6  
sensor networks, 69  
social networks, 6  
strategic plan, 78  
sustainable development, 91  
sustainable mobility, 91  
synthetic flows, 54

### T

thermoelectric power, 54  
transport, 91

### U

ultimate effort, 102  
urban development, 84  
user preferences, 6

### V

vibrations, 41

## Índice de autores (*Author index*)

### A

Albornoz, Andrés, 41  
Almarza-Morales, Ángel, 4  
Aref, Mohammad, 29

### B

Bakhtiari, Sedighe, 69  
Bullón, Johnny, 20

### F

Farias, Betty, 91  
Fesharaki, Mehdi N., 69  
Flores, Enrique, 41

### G

García Sánchez, Francisco, 6  
Guevara-Pérez, Edilberto, 54

### K

Khadem-zadeh, Ahmad, 69

### L

López, Erwin, 41  
Lapidus, Azariy A., 84

### M

Mejía-Marcacuzco, Abel, 54  
Mousalli, Victoria, 20

### N

Norouzzadeh-GilMolk, Ali, 29

### O

Ordoñez, Joan, 78

### P

Pazahr, Ali, 6  
Prato, Jesús David, 20

### R

Ramazani-Khorshiddoust, Reza, 29  
Rennola, Leonardo, 20  
Román, Yanitza, 78  
Romero, Jorge, 41

### S

Salazar, Franklin, 20  
Salazar, Leonel, 102  
Samper Zapater, José Javier, 6  
Sarango-Julca, Douglas, 54  
Sidorovas, Luis, 102

### V

Villegas, Isandra, 91

# Apéndices

## Línea editorial

### Misión científica

Revista Ingeniería UC es el principal organismo de difusión científica y tecnológica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo.

El objetivo de Revista Ingeniería UC es la difusión de trabajos científicos tecnológicos en todas las áreas de la ingeniería, así como también ciencias afines aplicadas a la ingeniería.

Revista Ingeniería UC está adscrita a la Dirección de Investigación de la Facultad de Ingeniería. Es considerada por todos sus profesores como uno de los patrimonios más importantes de la Facultad de Ingeniería. Su primer volumen aparece en diciembre de 1992. Fundada por el Dr. Edilberto Guevara en 1992 (actualmente Editor Honorario).

### Cobertura temática

Revista Ingeniería UC considerará para su difusión trabajos *originales e inéditos* (Los autores deben enviar la carta de compromiso), en español e inglés. Manuscritos en las áreas de la ingeniería de todas sus especialidades, pero en particular en las áreas de industrial, eléctrica, mecánica, civil, química y telecomunicaciones; así como de las ciencias básicas aplicadas a la ingeniería: matemáticas, física, química, computación, biología, ciencias ambientales, bioingeniería, biotecnología, estadística, etc.

### Foro de Revista Ingeniería UC

La audiencia a la cual está dirigida consta de todos los investigadores en las áreas de ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas. En particular a los investigadores, profesores y estudiantes de Doctorado, Maestría y pregrado en las áreas de ingeniería y ciencias básicas afines. Esta audiencia es extendida a los gerentes de las áreas de innovación y desarrollo tecnológico del sector industrial. El foro cubre las comunidades a nivel

local, Universidad de Carabobo y sus estados de influencia; nivel nacional, toda Venezuela; así como a nivel internacional.

Todos los artículos son revisados por el Comité Editorial y arbitrados, a doble ciego, por el Comité Técnico y por especialistas en la materia.

Revista Ingeniería UC es publicada cada cuatro meses.

## Editorial line

### Scientific mission

Revista Ingeniería UC is the main body for scientific and technological diffusion at Engineering Faculty of Carabobo University.

The Revista Ingeniería UC objective is the diffusion of scientific – technological works in all areas of engineering, as well as related sciences applied to engineering.

Revista Ingeniería UC is subscribed to Research Direction of Engineering Faculty. It is considered by all its professors as one of the most important patrimonies of the Faculty of Engineering. Its first volume appears in December of 1992. Founded by Dr. Edilberto Guevara in 1992 (currently Honorary Editor).

### Thematic coverage

Revista Ingeniería UC will consider for its diffusion original and unpublished works (The authors must send the commitment letter), in Spanish and English. Manuscripts in engineering areas of all its specialties, but particularly in the areas of industrial, electrical, mechanical, civil, chemical and telecommunications; as well as the basic sciences applied to engineering: mathematics, physics, chemistry, computation, biology, environmental sciences, bioengineering, biotechnology, statistics, etc.

### Revista Ingeniería UC forum

The target audience is made up of all researchers in the areas of science, technology, engineering and mathematics. In particular the researchers, professors and students of Doctorate, Master's and undergraduate in the areas of engineering and related basic sciences. This audience is extended to innovation and technological development areas managers of the industrial sector. This forum has covers local communities, University of Carabobo

and their state of influence; national level, all of Venezuela; as well as international level.

All articles are reviewed by Editorial Committee and refereed, double-blinded, by Technical Committee and by specialists in the field.

Revista Ingeniería UC is published every four months.

## Políticas de ética y publicación

### Introducción

Revista Ingeniería UC, como publicación científica cuatrimestral incluye tres números (Abril-Agosto-Diciembre) por cada volumen en un año, alcanza la generación continua de contenidos como principal organismo de difusión académica, científica y tecnológica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo. El idioma principal de la revista es el español, manejando el inglés como segundo idioma y todos los artículos incluyen el título, resumen y las palabras clave en ambos.

Comprometidos en mantener los más altos estándares éticos, se efectúan acciones en contra de cualquier práctica anti-ética o por negligencia profesional. El plagio está estrictamente prohibido y nuestros autores y demás investigadores expresan formalmente que sus trabajos son originales, inéditos, y no están siendo sometidos a proceso de arbitraje en otras revistas, por otra parte, queda expresamente prohibida la copia o el plagio, parcial o en su totalidad, de otras obras. Todo trabajo para ser publicado cuenta con la exigencia de manera explícita a sus autores de la normativa ética de la Revista que se plasma en una *Carta de Compromiso*.

### Prácticas anti-éticas y negligencia profesional

Por considerar tanto aspectos científicos como tecnológicos, se debe tomar en cuenta la necesidad de velar por la veracidad de toda información suministrada incluyendo datos técnicos, diagramas, tablas y figuras, diseños experimentales, metodologías, entre otros, siendo de vital importancia la cita a las referencias respectivas indicando con los estándares habituales cuando la información es tomada textualmente. Se consideran como faltas graves que conllevan un proceso disciplinario sancionatorio las siguientes:

- a) **Copias o plagio:** presentar datos o ideas como propios, de manera parcial o en su totalidad, provenientes de otras obras.
- b) **Falsificación o adulteración:** la modificación y cambio de datos presentados, omitir información de forma tal que la investigación no esté completamente presentada.
- c) **Presentación de datos no verídicos:** fabricación, manipulación y presentación de información que no se desprende de datos reales derivados de la investigación.
- d) **Segmentación de la investigación:** implica la fragmentación de un estudio en diversas partes con la intención de generar más de un producto con el mismo trabajo para su publicación, incluso en diferentes revistas, sin reconocer la fuente original.
- e) **Alteración de autor y coautores:** la inclusión de algún miembro que no ha participado en la investigación, así como la exclusión de alguno que si lo ha realizado. De igual forma, cualquier modificación relacionada con cambios en autores y coautores, debe estar debidamente justificada; luego de finalizado el proceso de edición no será considerada.
- f) **Alteración del proceso de arbitraje:** cualquier intento que afecte el proceso de arbitraje por pares a doble ciego. Se prohíbe de manera explícita la comunicación entre un árbitro y los autores del artículo.

### Proceso de revisión y arbitraje

Los autores serán guiados a través de cuatro fases que conllevan la revisión preliminar, el proceso de arbitraje por pares doble ciego, el proceso de edición y montaje y por último, corrección de redacción y estilo. El contenido completo de todos los manuscritos será sometido a un proceso

de revisión objetiva por parte de expertos en el área, quienes siguiendo para ello las pautas del Formato de Evaluación comunicarán los resultados obtenidos, permitiendo al Editor-Jefe conocer las recomendaciones formuladas y el veredicto respectivo. Además, el proceso de revisión es de carácter estrictamente confidencial, y los revisores no deben tener conflicto de intereses.

La revisión de los manuscritos permitirá evaluar la calidad técnica de estos en base a su originalidad y presencia de avances significativos en el campo de la ingeniería y ciencias afines, atendiendo a la pertinencia del contenido, el enfoque metodológico, los hallazgos obtenidos y a las referencias que, con respecto a contribuciones anteriores, se presentan. Tomando como premisa la debida organización de la estructura del manuscrito y el cumplimiento de las normas de presentación.

De acuerdo a los resultados de la revisión, se propone al Editor-Jefe:

- Publicación, sin cambios.
- Publicación, después de cambios menores, quedando comprometidos los autores a realizar los ajustes respectivos de acuerdo a la evaluación.
- Publicación, después de cambios mayores, quedando comprometidos los autores a realizar los ajustes y modificaciones requeridas según los resultados de la evaluación, sujeto a una nueva revisión.
- Publicación de una versión corta del manuscrito como Nota Técnica, en cuyo caso los autores serán notificados y ejecutarán las modificaciones a que tuviera lugar.
- Publicación en otra revista, en cuyo caso se realizará la recomendación a los autores.
- Rechazo del manuscrito para su publicación, en cuyo caso no se recibirán nuevas versiones.

Una vez concluida la revisión, el manuscrito se someterá al proceso de edición, en donde con la intención de asegurar la calidad de la publicación se podrá solicitar la condensación,

supresión o incorporación de tablas, figuras, y ecuaciones, teniendo en cuenta que el comité editorial se reserva el derecho de efectuar las modificaciones pertinentes sin afectar el contenido, así como también la potestad de decidir respecto a su publicación si los autores no responden satisfactoriamente a las observaciones planteadas. El manuscrito editado, será remitido a los autores para su aprobación.

### De la responsabilidad de los autores

Los autores que envían sus manuscritos para su publicación en Revista Ingeniería UC, deben someterlos a un proceso de revisión y arbitraje por pares doble ciego, y están obligados a:

- Firmar la *Carta de Compromiso*, manifestando que el contenido del trabajo enviado a la revista es original e inédito: no ha sido publicado, no es duplicado ni redundante, además no está siendo sometido simultáneamente a arbitraje para su publicación por ningún otro medio de difusión, y por último que los datos presentados son originales y verídicos. Adicionalmente, el autor y los coautores ceden los derechos patrimoniales a la Revista Ingeniería UC, pero mantienen sus derechos como autores intelectuales.
- Deben evitarse o reconocerse los envíos anteriores del manuscrito a otras revistas o publicaciones, en el caso de haber sido enviado es necesario la presentación de una comunicación de la otra publicación donde se deje sin efecto el proceso de arbitraje y las motivaciones consideradas.
- Respecto a materiales/datos citados o utilizados de otras investigaciones deben documentarse cuidadosamente y citarse como referencia e indicar cuando son tomados textualmente. No es permitida la duplicación de trabajos anteriores.
- Especificar de manera clara la información relativa a las fuentes de financiamiento para el desarrollo de la investigación.

- Responder de manera oportuna a las comunicaciones que tenga lugar con el Comité Editorial.
- Cuando un error sea detectado, el autor está obligado a retractarse y efectuar las correcciones pertinentes.
- Respecto a la identificación de autores, se debe indicar el nombre tanto del autor como de los coautores, que hayan contribuido significativamente en la investigación y que estén involucrados con esta, evitando incluir personas que no estén vinculadas a la misma. Siendo además miembros de una institución de educación superior o de una estructura de investigación reconocida, suministrando información detallada relacionada con su filiación, correo electrónico de contacto y cualquier otro elemento que permita su identificación.

### **De la responsabilidad de los revisores-árbitros**

Una vez recibido el manuscrito, acompañado de las Normas de Publicación y el Formato de Evaluación previsto por Revista Ingeniería UC, los árbitros están en la obligación de informar de manera expedita, si se acepta o rechaza la revisión del mismo explicando los motivos. En el caso de que los árbitros tengan interés intelectual o material relacionado al manuscrito bajo revisión, estos deberán inhibirse de manera voluntaria evitando así Conflicto de Intereses.

Los árbitros deberán rechazar la revisión de manuscritos, cuando estos estén fuera de su área de experticia o de especialización técnica y científica. Por otro lado, los árbitros o revisores deben completar debidamente el Formato de Evaluación previsto así como también realizar las observaciones que considere pertinentes sobre el manuscrito evaluado, lo cual incluye todas aquellas propuestas tendentes a mejorar cuando sea el caso aspectos metodológicos, la presentación y análisis de resultados y la incorporación de investigaciones de referentes de importancia que hayan sido omitidos por los autores o que debieran ser tomados en consideración, tomando en cuenta que el envío

de dicha información al Editor-Jefe es de carácter obligatorio y estrictamente confidencial.

### **De la responsabilidad de los miembros del Comité Editorial**

El Editor-Jefe de Revista Ingeniería UC, realizará una revisión preliminar al recibir el manuscrito, atendiendo a las características de la línea editorial correspondiente. Una vez superada dicha revisión, se procederá a proponer a los revisores o árbitros de acuerdo al área de conocimiento.

El Editor-Jefe será el responsable de enviar las comunicaciones respectivas a los autores, con respecto a las observaciones emitidas por los árbitros o revisores, y conducir el proceso para que se tomen medidas correctivas. Así mismo, decidirá sobre la aceptación o no del manuscrito en atención a los comentarios de los árbitros o revisores designados. El Comité Editorial tratará la información relacionada con los artículos con criterios de estricta confidencialidad.

El Comité Editorial velará por el cumplimiento de las prácticas de ética. Además realiza un esfuerzo por identificar e impedir la publicación de artículos que involucren malas conductas durante la investigación. De igual manera, se debe tratar cualquier tipo de acusación o señalamiento de manera responsable y dar inicio al proceso de sustanciación del expediente con las averiguaciones a las que se tenga lugar y se decidirá si es necesario un proceso disciplinario que conlleva:

- Amonestación: se envía a los autores una carta con las conclusiones del proceso disciplinario.
- Artículo retractado: se incluirá una carta de exposición de motivos con las conclusiones del proceso disciplinario, y el artículo será marcado con una nota de retractación.
- Suspensión: se le notifica a los autores que no serán recibidos manuscritos para su publicación mientras dure la sanción correspondiente.

El Comité Editorial es responsable de la publicación de cualquier nota, crítica razonable, fe de errata o disculpas con respecto a los manuscritos publicados en números anteriores.

### **Preservación digital**

Revista Ingeniería UC utiliza para la preservación digital de sus artículos, el resguardo con archivo comprimido en formato  $\text{\LaTeX}$ , además a través de Marcalyc 2.0 realiza el marcaje obteniendo archivo XML según estándar JATS.

### **Licencia Creative Commons**

Licencia de Creative Commons Reconocimiento  
– No Comercial – Sin Obras derivadas 4.0  
Internacional



## Ethics and Publication Policies

### Introduction

Revista Ingeniería UC, as a quarterly scientific publication includes three issues (April-August - December) for each volume in a year, reaches the continuous generation of contents as principal media of diffusion academic, scientific and technological of the Faculty of Engineering at Carabobo University. The primary language of the journal is Spanish, managing English as a second language, all articles include title, abstract and keywords in both.

Also, committed to maintain the highest ethical standards, are performed actions against any anti-ethics practice or professional negligence. Plagiarism is strictly forbidden and our authors and other researchers must express formally that their manuscripts are original, unpublished, and not have been submitted to arbitration process in other journals simultaneously. In the other hand, is expressly forbidden the copying or plagiarism, partially or in its entirety, of other works. An article to be published has as requirement knowledge by the authors of the ethic policies, that are reflected in the signing of “*Compromise Letter*”.

### Anti-ethics practices and professional negligence

Due scientific and technological aspects, Revista Ingeniería UC needs to ensure the veracity of all information provided including technical data, diagrams, tables and figures, experimental designs, methodologies, among others, being vital the cite of the respective references indicating with the usual standards when the information is taken verbatim. Considering as serious faults involving a disciplinary process:

a) **Copy or plagiarism:** present data or ideas as own, partially or entirety, from other works.

b) **Falsification or adulteration:** modification or change presented data. Omitting information in such way that the investigation is not completely presented.

c) **Presentation of untrue data:** manufacturing and handling of presented information that does not arise from real data derived from research.

d) **Research segmentation:** fragmentation of a study in different parts with the intention of generating more than one product with the same work for publication, even in different journals, without recognizing original source.

e) **Alteration of author and coauthors:** Exclusion of members participating in the investigation or inclusion of members without a direct role. Also, any alteration of author-coauthors, must be justified and will not be considered after has been closed edition process.

f) **Alteration of arbitration process:** any attempt that affects the arbitration process (double blind peer-review). Communication between an arbitrator and authors of manuscript, is strictly prohibited.

### Review process and arbitration

The authors will be guided through four phases including a preliminary review, arbitration process (peer-review, double blind), final edition and assembly and correction of style and redaction. All the content will be sent to an objective reviewing process by experts in knowledge field, who following the guidelines of the Evaluation Format will communicate the results obtained, allowing the Editor-Chief to know the recommendations made and the respective verdict. In addition, the review

process is strictly confidential, and the reviewers should not have interest conflict.

The revision of the manuscripts will allow to evaluate technical quality based on originality and presence of significant advances in the field of engineering and related sciences, considering the relevance of content, methodological approach and findings obtained and references to previous contributions. Taking as a premise organization of the structure of manuscript and compliance with presentation rules.

Based on review process results, is proposed to the Editor–Chief:

- Publication, without changes.
- Publication, after minor changes, the authors are committed to make the respective adjustments according to the evaluation.
- Publication, after major changes, the authors are committed to make the adjustments and modifications required according to the evaluation results, subject to a new revision.
- Publication of a short version of the manuscript as a *emphTech Note*, in which case the authors will be notified and will execute the modifications that may take place.
- Publication in another journal, in which case the recommendation to the authors will be made.
- Rejection of the manuscript for publication, in which case new versions will not be received.

Once the review is completed, the manuscript will be elevated to the editing process, where with the intention of ensuring the quality of the publication, may be requested condensation, deletion or incorporation of tables, figures, and equations, considering that the editorial committee could make relevant modifications without affecting the content, as well as would decide about publication if the authors do not respond satisfactorily to the comments made. The edited manuscript will be submitted to the authors for approval.

## About the responsibility of authors

Authors who submit their manuscripts for publication in *Revista Ingeniería UC*, are in knowledge that them will be subjected to a double-blind peer review and arbitration process, and are obliged to:

- Sign the “*Compromise Letter*”, stating that the content of manuscript sent to the journal is original and unpublished: it has not been published, it is not duplicated or redundant, it is not being simultaneously submitted to arbitration for publication by another means of diffusion, and finally that the data presented are original and true. Furthermore, the author and coauthors yield patrimonial rights to the journal, but maintain their rights as intellectual authors.
- Previous submits of the manuscript to other journals should be avoided or recognized, and it is necessary to present a communication from the other journal where the arbitration process are left without effect and the motivations considered.
- Should be carefully documented and cited as references, all materials/data used from other research, indicating when they are taken verbatim. Duplication of previous works is not allowed.
- The authors must clearly specify the information related to sources of financing for the development of research.
- Authors should respond timely all communications of Editorial Committee.
- When an error is detected, the author is obliged to retract and make the appropriate corrections.
- Respect to the identification of authors, should be indicated the name of author and coauthors, that have significantly contributed on the research and have been involved in its development, avoiding to include persons who

are not linked to it. The authors and coauthors must be members of a higher education institution or a recognized research structure, providing detailed information related to their filiation, contact email and any other element that allows their identification.

### **About the responsibility of reviewers – arbitrators**

Once upon the manuscript is received, with the Normative of Publication and Evaluation Format of Revista Ingeniería UC, reviewers are obligated to inform immediately, if accept or refuse review the document and must explain the motives about it. In the event that arbitrators have intellectual or material interest related to the manuscript under review, must be voluntarily inhibited them, thus avoiding Conflict of Interest.

The reviewers must reject the revision of manuscripts, when they are outside their area of expertise or technical and scientific specialization. In other hand, the arbitrators or reviewers must complete the expected Evaluation Form, as well as make the observations that they consider pertinent about the manuscript evaluated, which includes, as the case may be, all those proposals aimed at improving the presentation and analysis of results, and the incorporation of investigations of relevant referents, taking into account that the sending of information to the Editor-Chief is mandatory and strictly confidential.

### **About the responsibility of Editorial Committee members**

The Editor-Chief of Revista Ingeniería UC, will carry out a preliminary review upon receiving the manuscript, considering the characteristics of the corresponding editorial line. Once this revision has been completed, it will proceed to propose the reviewers or arbitrators according to the area of knowledge.

The Editor-Chief will be responsible for sending the respective communications to the authors, with respect to the observations issued by the reviewers or arbitrators, and conduct the process

to corrective measures are taken. Likewise, it will decide on the acceptance or not of the manuscript in response to the comments of the appointed arbitrators or reviewers. The Editorial Committee will manage the information related to the articles with confidentiality criteria.

The Editorial Committee will ensure compliance with ethical practices. In addition, the editorial committee makes an effort to identify and prevent the publication of articles that involve misconduct during the investigation. At the same time, any type of accusation must be treated responsibly, initiate the inquiries for the substantiation file, through which it will be decided if a disciplinary process is necessary, that implicates:

- Admonish: a letter with the conclusions of the disciplinary process is sent to the authors.
- Retracted article: it will include a letter of explanation of the reasons with the conclusions of the disciplinary process, and the article will be marked with a retraction note.
- Suspension: the authors are notified that manuscripts will not be received for publication during the corresponding sanction.

The Editorial Committee is responsible for the publication of any note, reasonable criticism, erratum or apology regarding the manuscripts published in previous issues.

### **Digital preservation**

Revista Ingeniería UC uses to digital preservation of its articles, saving zip file with L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X format, also via Marcalyc 2.0 makes marked file generating XML JATS file.

### **License Creative Commons**

License de Creative Commons Attribution – No Commercial – No derivatives. 4.0 International



## Normas para la presentación de artículos

### Generales

#### Línea editorial

Revista Ingeniería UC, considerará para su difusión trabajos *originales e inéditos* en ingeniería, en particular las áreas de industrial, eléctrica, mecánica, civil, química y telecomunicaciones; así como de las ciencias afines.

#### Tipos de trabajos

- a Artículos de investigación inéditos con un máximo de veinte (20) páginas.
- b Notas técnicas con un máximo de cinco (5) páginas.
- c Artículos de actualización científica que resuman el Estado del Arte de un área específica de la ingeniería con un máximo de doce (12) páginas.
- d Artículo invitados especiales con un máximo de veinte (20) páginas.
- e Cartas al editor.
- f Artículos de tendencia tecnológica, estudios de prospectiva de I+D+i a medio y largo plazo de alta utilidad en el campo industrial.

Al enviar un artículo a Revista Ingeniería UC, el autor está comprometido formalmente con que el trabajo consignado es original e inédito, de igual manera manifiesta su conocimiento de las normas de la revista y acepta que sea sometido al proceso de arbitraje.

#### Estilo

La redacción de los trabajos puede realizarse en idioma castellano o inglés. El trabajo original debe ser redactado en formato  $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$  o en su defecto en Microsoft Word.

Los trabajos en Word deben emplear una fuente de la familia Times, estar almacenado en disco compacto (CD) o en su defecto enviarse por vía electrónica al correo de la revista [revistaing@uc.edu.ve](mailto:revistaing@uc.edu.ve).

Los trabajos en  $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$  deben incluir los archivos pdf, tex y una carpeta comprimida con las figuras en eps (o png)

#### Figuras

Las figuras pueden ser en escalas de grises claros o a color, en formato vectorializado preferiblemente png o eps (también se admiten los formatos CompuServe gif o jpg, si estas son de alta calidad y trabajó en word) deben añadirse en archivos independientes y numeradas. Las leyendas o descripciones de la figuras no pueden estar embutidas en éstas, deben ser incluidas en el texto del trabajo.

#### Tablas:

Las tablas no pueden ser resaltadas por ningún tipo de color. Solamente los textos a resaltar mediante “negritas”.

Toda tabla y/o figura deben ser numerada en arábigo (1, 2, ...), citada y suficientemente comentada en el texto del trabajo. La cita sería en la forma: “en la Figura 3”, “en la Tabla 2”, por ejemplo (sin abreviar). Toda tabla o figura debe tener un ancho máximo de 17,5 cm.

No es estilo de la revista frases como: “en la Figura siguiente” o en la “Tabla anterior”

El orden a seguir para la redacción del trabajo es el siguiente:

1. Portada.

2. Introducción.
3. Metodología o Desarrollo de la investigación.
4. Análisis y discusión de resultados.
5. Conclusiones.
6. Referencias.

La portada debe contener:

- Título del trabajo en castellano y en inglés, con un máximo de 20 palabras.
- Nombre(s) del autor(es) y su dirección(es) institucionales completa(s), dirección postal, correo electrónico del autor para correspondencia (sólo será publicado el correo electrónico del autor para correspondencia).
- Resumen del trabajo en castellano y en inglés (Abstract) con una extensión máxima de 200 palabras.
- Al final tanto del resumen como del abstract debe agregarse entre tres (3) a cinco (5) palabras clave.

Los encabezamientos de cada sección se escriben tipo título, mayúsculas sólo en la primera letra.

#### *citas*

Las citas de referencias en el texto, contendrán el nombre del autor principal seguido de corchetes con el número correspondiente a la referencia, por ejemplo: Engelbrecht [11], o simplemente el número de la referencia bibliográfica [11], sin citar al autor.

#### *Referencias*

Para los artículos en  $\text{\LaTeX}$  se usará el estilo de bibliografía “IEEEtran”.

Las referencias bibliográficas se escribirán en orden de citación, deben ser completas y contener todos y cada uno de los datos para identificarla.

Se pueden citar:

- Artículos de revistas.
- Artículos de memorias de congresos.
- Artículos en colecciones.
- Capítulos de libro.
- Memorias de congresos.
- Libros
- Tesis doctorales
- Trabajos especiales de grado.
- Informes técnicos.
- Manuales técnicos.

No se permiten direcciones electrónicas ni páginas web.

En el caso de artículos de revista contendrán:

- Autor(es) (Inicial del nombre y Apellido).
- “Título”.
- *Nombre de la revista*,
- volumen,
- número,
- páginas y
- año de publicación

Por ejemplo:

- [1] F. Chen, Z. Ji, and Q. Qi, “Effect of pore size and layers on filtration performance of coalescing filters with different wettabilities,” *Separation and Purification Technology*, vol. 201, no. 7, pp. 71–78, 2018.

En caso de libros ha de incluirse: Autor(es), *título*, lugar de publicación : editorial, año de publicación.

Por ejemplo:

- [2] P. Mangonon, *Ciencia de materiales selección y diseño*. Atlacomulco, México: Pearson Educación México, 2001.

En caso de colección editada: Autor(es), “Título”, en *título*, Editor(es), año, Eds., editorial, año de publicación, volumen, capítulo, número de páginas.

Por ejemplo:

- [3] T. Thanapalasingam, F. Osborne, A. Birukou, and E. Motta, “The Semantic Web – ISWC 2018,” in *17th International Semantic Web Conference, Monterey, CA, USA, October 8–12, 2018, Proceedings, Part II*, D. Vrandečić, K. Bontcheva, M. C. Suárez-Figueroa, V. PresuttiIrene, I. Celino, M. Sabou, L.-A. Kaffee, and E. Simperl, Eds. Springer, 2018, vol. 11137 LNCS, ch. Ontology-based recommendation of editorial products, pp. 341–358.
- [4] D. Nilesh and M. Nagle, “The new cryptography algorithm with high throughput,” in *2014 International Conference on Computer Communication and Informatics*, Coimbatore, 2014, pp. 1–5.

Se recomienda a los autores tener en cuenta las normas internacionales de nomenclatura para la utilización de símbolos, unidades y abreviaturas. Adicionalmente, el uso de coma (,) como separador decimal

## Notas Finales

Los artículos serán sometidos al proceso de arbitraje, doble ciego por pares, previo a su publicación. La Revista Ingeniería UC como órgano de difusión y divulgación de las actividades científicas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo siempre se ha pronunciado por un Acceso Abierto No comercial (AANC), siendo una institución sin fines de lucro.

## Authors Information

### General

#### Editorial line

Revista INGENIERÍA UC will consider for publication original and unpublished contributions in engineering, in particular areas of industrial, electrical, mechanical, civil, chemical and telecommunications, and applied science.

#### *Type of Manuscripts:*

- a Unpublished research articles with a maximum length of twenty (20) pages.
- b Technical Notes, with a maximum of five (5) pages.
- c State of the Art Articles (Update Articles) of a specific engineering field (maximum of twenty (20) pages).
- d Articles sent by invited guests, maximum of twenty (20) pages.
- e Letter to Editor.
- f Technological trend articles, medium and long-term R & D + i prospective studies of high utility in the industrial field.

Submitting an article to Revista Ingeniería UC, the author is formally committed to the consigned paper is original and unpublished, he manifest his knowledge of Revista Ingeniería UC standards and that his work will be refereed.

#### *Article style*

Articles may be sent either in Spanish or English. The original work should be written using  $\text{\LaTeX}$  or in Microsoft WORD.

The Microsoft WORD works must employ font of Times family, to be stored in compact

disk (CD) or send electronically by email to [revistaing@uc.edu.ve](mailto:revistaing@uc.edu.ve).

The works in  $\text{\LaTeX}$  must include the files pdf, tex and a folder with the figure in png, eps or pdf.

The figures can be in gray scale, or color, preferable in format png or eps (also admit the formats CompuServe gif or jpg if these are of high quality) must to be added in records separated and numbered. Figures caption or descriptions can not be into these, must be includes in the text of the work and in a apart file called Figure Caption.

The table can not be protruded by any type of color. Only the texts to be produced by means of "bold type". Also must to be included in others files numerated and it is necessary to include a file with table caption.

All table and/or figure must be numbered in arabic (1, 2, 3, . . . ) and cited in the text of the work. The quote would be in the manner: "In Figure 3", "in Table 2", for example (without abbreviating). All board or figure must have a wide maximum of 17,5 cm.

The writing sequence for the articles shall be as following:

1. Title page.
2. Introduction.
3. Methodology or Research development.
4. Analysis and Discussion of results.
5. Conclusions.
6. References.

The Title page should contain:

- Title of the work in Spanish and English, maximum 20 words.
- Full name(s) of author(s) with Full Institutional Address(es) (Address, Telephone, Email).

- Summary of the work in Spanish and in English (Abstract) with a maximum of 200 words for Unpublished, State of the Art articles and Technical Notes.
- At the end of the Summary in Spanish and Abstract in English three to five (3 to 5) Key Words should be added.

Text references must contain the name of the main author followed by the corresponding number of reference; for example: Engelbrecht [11], or simply [11] with no author name.

For  $\text{\LaTeX}$  work will use bibliography style “IEEEtran”.

References will be written in order of citation, complete and should contain: author(s) (in caps and lower case), “full title”, *journal*, volume, number, pages and year of publication. For example:

- [1] F. Chen, Z. Ji, and Q. Qi, “Effect of pore size and layers on filtration performance of coalescing filters with different wettabilities,” *Separation and Purification Technology*, vol. 201, no. 7, pp. 71–78, 2018.

In the case of Books: Author(s) (in caps and lower case), *title*, place: publisher and year of publication should be included. For example:

- [2] P. Mangonon, *Ciencia de materiales selección y diseño*. Atlacomulco, México: Pearson Educación México, 2001.

Work in an edited collection: Author(s) (in caps and lower case), “title,” in: *booktitle*, Editor(s) (in caps and lower case), publisher, year, volume, chapter and pages. For example:

- [3] T. Thanapalasingam, F. Osborne, A. Birukou, and E. Motta, “The Semantic Web – ISWC 2018,” in *17th International Semantic Web*

*Conference, Monterey, CA, USA, October 8–12, 2018, Proceedings, Part II*, D. Vrandečić, K. Bontcheva, M. C. Suárez-Figueroa, V. PresuttiIrene, I. Celino, M. Sabou, L.-A. Kaffee, and E. Simperl, Eds. Springer, 2018, vol. 11137 LNCS, ch. Ontology-based recommendation of editorial products, pp. 341–358.

- [4] D. Nilesh and M. Nagle, “The new cryptography algorithm with high throughput,” in *2014 International Conference on Computer Communication and Informatics*, Coimbatore, 2014, pp. 1–5.

It is recommended to the authors to follow the International Nomenclature Norms (symbols, units and abbreviations). Additionally, use comma(,) as decimal separator.

## Final Notes

Articles will be submitted for the reviewing process before they can be published. Revista Ingeniería UC as an organ of diffusion and divulgation of scientific activities of Engineering Faculty at Carabobo University, has always been pronounced for Open Access Non-Commercial policy, being a non-profit institution.

## Carta de compromiso

Envíe junto con su trabajo la siguiente carta al Comité Editorial de Revista Ingeniería UC:

Ciudadanos  
Director Editor en jefe y demás  
Miembros del Comité Editorial  
Revista INGENIERÍA UC  
Presente.

Por medio de la presente envío a Ud.(s) el manuscrito del trabajo titulado:

para que sea sometido a evaluación para la publicación.

Manifiesto que:

Este trabajo es original e inédito: no ha sido publicado, no es duplicado, ni redundante; no está siendo sometido simultáneamente a arbitraje para su publicación por ningún medio de difusión, que los datos son originales y verídicos.

El autor y los coautores ceden los derechos de autor a la Revista INGENIERÍA UC, pero mantienen sus derechos como autor intelectual.

El trabajo, tanto en su texto como las tablas y figuras ha sido elaborado de acuerdo a las Instrucciones para los Autores publicadas por Revista INGENIERÍA UC, y que las referencias están directamente relacionadas con el trabajo.

Se designa como autor de correspondencia al autor o coautor que lo indique, con quien el Comité Editorial mantendrá comunicación a través del correo electrónico revistaing@uc.edu.ve, quien será responsable ante autores y coautores y dará respuesta rápida a los requerimientos del Comité Editorial.

No se conocen conflictos de intereses, y de haberlos los autores y coautores están obligados a indicarlo en el original, junto a la fuente de financiamiento.

Firma:

Nombre y apellido:

El autor para correspondencia:

## Compromise letter

Send together with your paper the following letter to Editorial Committee:

Citizens  
Director, Chief Editor and other  
Members of Editorial Committee  
Revista INGENIERÍA UC  
Present.

I hereby send you the manuscript of the work entitled:

to be submitted for evaluation to publication.

I declare that:

This work is original and unpublished: it has not been published, it is not duplicated, nor redundant; it is not being simultaneously submitted to arbitration for publication by any diffusion means, that the data are original and truthful.

The author and coauthors assign the copyright to Revista INGENIERÍA UC, but maintains their rights as an intellectual author.

The work, in its text as the tables and figures has been elaborated according to the Authors Instructions published by Revista INGENIERÍA UC, and that the references are directly related to the work.

The author or coauthor who indicates it is designated as correspondence author, with whom Editorial Committee will maintain communication via email [revistaing@uc.edu.ve](mailto:revistaing@uc.edu.ve), who will be responsible for the authors and coauthors, and will respond quickly to the requirements of the Editorial Committee.

There are no known interest conflicts, and if there are the authors and coauthors are obliged to indicate in the original, next to funding source.

Signature:

First name and surname:

Correspondence author:

## Índices de Revista Ingeniería UC

Revista Ingeniería UC está indizada en:



# Universidad de Carabobo

## Autoridades

**Jessy Divo de Romero**

Rectora

**Ulises Rojas**

Vicerrector Académico

**José Ángel Ferreira**

Vicerrector Administrativo

**Pablo Aure**

Secretario

## Autoridades de la Facultad de Ingeniería

**Prof. José Luis Nazar <sup>†</sup>**

Decano

Prof.<sup>a</sup> Carmen Guédez  
Directora Esc. Ing. Industrial

Prof. Manuel Elías Jiménez Bahri  
Asistente al Decano

Prof. Reny Marin  
Director Consejo Facultad

Prof.<sup>a</sup> Ledy Guerra  
Directora Esc. Ing. Eléctrica

Prof. Carlos Brito  
Director de Asuntos Estudiantiles

Prof.<sup>a</sup> Lissette Jiménez  
Directora de Postgrado

Prof.<sup>a</sup> Vanessa Hurtado  
Directora Esc. Ing. Mecánica

Prof. Edson Martínez Oberto  
Director Esc. Ing. Civil

Prof. Luis E. Di Stefano  
Director de Administración

Prof.<sup>a</sup> Ixmit López  
Directora Esc. Ing. Química

Prof. Carlos Cochiarella  
Director de Asuntos Profesorales

Prof. Pablo Baricelli  
Director del Centro de Investigaciones  
Químicas

Prof. Ángel D. Almarza M.  
Director de Investigación y Producción  
Intelectual

Prof.<sup>a</sup> María Teresa Cruz  
Directora de Docencia y Desarrollo Curri-  
cular

Prof. César O. Seijas Fossi  
Director del Centro de Procesamiento de  
Imágenes

Prof. César Cuperto Ruiz P.  
Director Esc. Ing. de Telecomunicaciones

Prof.<sup>a</sup> Lin Hurtado  
Directora Estudios Básicos

Prof.<sup>a</sup> Marlin Gómez  
Directora de Extensión

Prof. Jesús J. Jiménez Grimán  
Director del Instituto de Matemática y  
Cálculo Aplicado

Prof. David E. Duarte G.  
Director de Tecnologías de la Información y  
Comunicación

Prof. Donato Magarelli  
Director de Biblioteca

## **REVISTA INGENIERÍA UC**

La Revista Ingeniería UC es una publicación periódica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo, adscrita a la Dirección de Investigación. Es arbitrada, indizada en REVENCYT (Venezuela) ; Actualidad Iberoamericana (CIT-Chile); IET/INSPEC (Unitec Kingdom UK); LATIDEX-Catálogo (México); REDALYC (México); Periódica (México) y está incluida en Ulrich's International Periodical Directory (USA), de Publicación Internacional; Emerging Sources Citation Index, Thomson Reuters. MIAR-Matriz de información para el análisis de revistas.

Se publica cada cuatro meses bajo los auspicios del Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad de Carabobo (CDCH-UC). Se aceptan trabajos en Castellano e Inglés. Todos los trabajos son revisados por el Comité Editorial, Arbitrados por el Comité Técnico y por especialistas en la materia.

Dirección postal: Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Bárbula-Valencia, Código Postal 2008, estado Carabobo, Venezuela.

Correo-e: [revistaing@uc.edu.ve](mailto:revistaing@uc.edu.ve)

Correo-e: [revistaing@gmail.com](mailto:revistaing@gmail.com)

Página Web: <http://servicio.bc.uc.edu.ve/ingenieria/revista/>; <https://www.redalyc.org/revista.oa?id=707/>

**Revista Ingeniería UC, ISSN 1316–6832**  
**Enero–Diciembre 2019, Volumen 26**  
**Números 1 – 3**

---

---

**Revista Ingeniería UC se encuentra indizada en:**  
**Revencyt (Venezuela) – índice de revistas venezolanas de ciencia y tecnología;**  
**Actualidad Iberoamericana (Chile) CIT;**  
**IET/INSPEC (United Kingdom); Latindex (México); Redalyc (México);**  
**Periódica (México);**  
**Emerging Sources Citation Index, Thomson Reuters.**  
**MIAR–Matriz de información para el análisis de revistas.**

---

---

**Contenido general: páginas V y IX.**



**Revista INGENIERÍA UC**  
**Impreso en Publicaciones de la**  
**Facultad de Ingeniería de la**  
**Universidad de Carabobo,**  
**Campus de Bárbula,**  
**Venezuela**