



Vol. 1  
n.º 6

JULIO 2020

"LA EXCELENCIA ACADÉMICA AL SERVICIO DE LA SOCIEDAD"

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE LERDO



# CIENCIA, INGENIERÍA Y DESARROLLO TEC LERDO

REVISTA DIGITAL UNIVERSITARIA. ISSN: 2448-623X. PUBLICACIÓN ANUAL.

## ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN



revistacid@itslerdo.edu.mx  
<http://revistacid.itslerdo.edu.mx>

L í d e r e s   I n n o v a n d o   a l   M u n d o

## **Título de la revista:**

**CIENCIA, INGENIERÍA Y DESARROLLO TEC LERDO**

**Julio 2020, volúmen: 1, año: 6, número: 6**

## **Editor:**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE LERDO**



Revista Ciencia, Ingeniería y Desarrollo Tec Lerdo, Julio 2020, Volumen 1, Número 6. Publicación electrónica universitaria nacional anual editada por el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. Av. Tecnológico s/n Col. Periférico, c.p. 35150, Ciudad Lerdo, Durango, México. Teléfono: (+52) 871 725 23 71, ext. 134. Correo electrónico: [revistacid@itslerdo.edu.mx](mailto:revistacid@itslerdo.edu.mx), página web: "<http://revistacid.itslerdo.edu.mx>". Editor responsable: César Ríos Marmolejo. No. de reserva de derechos al uso exclusivo: 04-2017-052914581300-203, ISSN: 2448-623X, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derechos de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Departamento de Centro de Cómputo: Ing. Marcos Morales Esparza. Edificio H. Av. Tecnológico s/n, Col. Periférico, C.P. 35150. Ciudad Lerdo, Durango, México. La opinión expresada en los artículos firmados es responsabilidad del autor. Se autoriza la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes, siempre y cuando se cite la fuente y no sea con fines de lucro. No nos hacemos responsables por textos no solicitados. Fecha de última actualización: 31 de Julio de 2020.



# INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE LERDO

## CONSEJO EDITORIAL

PRESIDENTE:

ISRAEL CASTRO MUÑOZ

SECRETARIO GENERAL:

JOSÉ ÁNGEL MÉNDEZ ORTEGA

SECRETARIO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y DESARROLLO:

JESÚS ALEJANDRO VALDÉS NIEBLAS

EDITOR RESPONSABLE:

CÉSAR RÍOS MARMOLEJO

<http://revistacid.itslerdo.edu.mx>

<https://www.lerdo.tecnm.mx/>



## COMITÉ EDITORIAL

### EDITOR RESPONSABLE:

CÉSAR RÍOS MARMOLEJO

#### SUPERVISOR EDITORIAL:

KARLA VERÓNICA RODRÍGUEZ LOZANO

#### PÁGINA WEB:

MARÍA GUADALUPE FLORES LUÉVANOS

#### ARTE, DISEÑO, Y SUPERVISIÓN TÉCNICA:

JUAN MARTÍN ARZOLA MONREAL

#### DISEÑO DE PORTADA:

JOSÉ ÁNGEL GARCÍA ESCOBEDO

#### SUPERVISIÓN DE REDACCIÓN:

ELDA MORENO NÚÑEZ

#### WEB MASTER:

MARCOS MORALES ESPARZA

SILVIA ADRIANA VIDAÑA MARTÍNEZ

TANIA ELIZABETH VELÁSQUEZ CHÁVEZ

ADRIANA REYNOSO SEGOVIA

#### COMITÉ REVISOR:

Adriana Reynoso Segovia, Antonio Mendoza Ruelas, Cecilia Inés Calderón Ibarra, César Octavio Márquez Aguirre, Elda Moreno Núñez, Elena Tzetzangary Aguirre Mejía, Erika Alejandra Meraz Salazar, Felipa de Jesús Rodríguez Flores, Francisco Huerta Valenzuela, José Ángel Candelas Saucedo, Juan Manuel Martínez Burrola, Juan Martín Arzola Monreal, Karla Verónica Rodríguez Lozano, Luis Amado González Vargas, María Guadalupe Flores Luévanos, Noé Alvarado Tovar, Omar Fabián Rivera Cenicerros, Silvia Adriana Vidaña Martínez, Tania Elizabeth Velásquez Chávez, Víctor Edi Manqueros Avilés.

*e-mail:* [revistacid@itslerdo.edu.mx](mailto:revistacid@itslerdo.edu.mx)



# ÍNDICE

## Artículos de investigación

01. Construcción de un humedal para la fitorremediación de agua residual en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo.....	02
» <i>A. Viramontes-Acosta; M. Hernández-López; T. E. Velasquez-Chavez; R. Mendez-Almaraz.</i>	
02. Diseño, construcción y automatización de una máquina de coordenadas de cuatro grados de libertad X, Y, Z, A, para materiales blandos.....	08
» <i>H. J. Martínez-Sandoval; L. A. González-Vargas; H. Martínez-Hernández.</i>	
03. Análisis de un regulador PID lineal para el control de robots manipuladores .....	16
» <i>M. I. Nava-Bustamante; J. L. Meza-Medina.</i>	
04. Robot solucionador de laberintos usando procesamiento digital de imágenes .....	22
» <i>J. Sifuentes-Mijares; F. H. Hiram-Brahim; J. E. Márquez-Acosta; J. L. Santillán-Ávila.</i>	
05. Identificación de cáncer de mama en imágenes termográficas mediante redes neuronales convolucionales.....	29
» <i>D. Morales-Venegas; S. Tello-Mijares.</i>	
06. Características químicas y microbiológicas de vermicomposta producida en el ITSL .....	35
» <i>M. Hernández-López; S. A. Vidaña-Martínez; T. E. Velasquez-Chavez.</i>	
07. Desarrollo de una aplicación móvil para el seguimiento de los eventos de un congreso MICONINCI (3.0) .....	40
» <i>K. V. Rodríguez-Lozano; E. Moreno-Núñez; M. G. Flores-Luévanos; J. M. Arzola-Monreal; V. B. González-Chávez.</i>	
08. Caracterización del agua procedente de la planta purificadora del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo .....	47
» <i>J. P. Castillo-Quiñone; M. Hernández-López; A. Viramontes-Acosta; T. E. Velásquez-Chávez; J. M. Martínez-Burrola.</i>	
09. Aspectos técnicos sobre la certificación en la norma ISO-50001 sistemas de gestión de la energía del I.T. Laguna.....	53
» <i>F. S. Sellschopp-Sánchez; M. A. Lira-Sifuentes; L. Lozano-Cuellar; J. M. De La Fuente-Guerrero.</i>	
10. Caracterización del consumo de energía eléctrica del gimnasio-auditorio del TecNM/ITLaguna .....	60
» <i>F. S. Sellschopp-Sánchez; J. M. De La Fuente-Guerrero; N. Mercado-Mora.</i>	
11. Implementación de diseño “tensionador” en maquinaria con alto índice de scrap. ....	66
» <i>R. K. Martínez-Chong; E. C. Ávila-Salomón; K. A. Nájera-Muro; I. R. Martínez-Díaz.</i>	
12. Estudio de absorción y densidad de la laja tipo salmón procedente de San José de Gracia, Molcaxac, Puebla. México .....	70
» <i>A. M. Morales-Tassinari; E. Gómez-Alonso; M. Zárate-Reyes.</i>	
13. Crecimiento de nanoalambres para aplicaciones en celdas solares .....	76
» <i>I. Barker-Garza; A. Dutt; G. Santana-Rodríguez; C. Álvarez-Macias; A. Esmeralda-Gomez.</i>	
14. Sistema de control difuso Ball&Plate mediante PDI.....	81
» <i>J. Sifuentes-Mijares; F. Camacho-Villalobos; M. A. Lara-Molina; K. A. Heredia-Mendoza.</i>	



15.	Efecto de la utilización del diseño de experimentos sobre la producción del polvo útil de zinc .....	88
	» <i>J. F. Magallanes-Armendariz; R. A. Herrera-García; E. D. Chiw-Gramillo; L. I. Chairez-Acosta; B. Carrera-Barraza.</i>	
16.	Control de inventario de máquinas expendedoras de productos usando IoT .....	95
	» <i>J. I. Vega-Luna; M. A. Lagos-Acosta; G. Salgado-Guzmán; J. F. Cosme-Aceves; F. J. Sánchez-Rangel; V. N. Tapia-Vargas.</i>	
17.	Sistema de autenticación basado en botones multicolores.....	101
	» <i>J. I. Vega-Luna; M. A. Lagos-Acosta; G. Salgado-Guzmán; J. F. Cosme-Aceves; F. J. Sánchez-Rangel; L. López-Aparicio; V. N. Tapia-Vargas.</i>	
18.	Análisis y síntesis de una señal cardíaca humana.....	107
	» <i>A. Rodríguez-Franco; C. Ríos-Marmolejo; J. De la Torre-Cantú.</i>	
19.	Estudio del tráfico de datos de redes comunitarias en San Pedro, Coahuila con herramientas como BigData y Data Analytics .....	114
	» <i>U. Martínez-Rodríguez; I. Ruiz-Arroyo; P. U. González-Jaquez; E. Valdivia-Lugo; S. D. Gómez-Salazar.</i>	
20.	Cambio de lámparas fluorescentes por luz led con uso de paneles solares en un ITS.....	120
	» <i>E. C. Ávila-Salomón; R. K. Martínez-Chong; P. López-Martínez; J. M. Mendoza-Rodríguez.</i>	
	<i>Índice de autores</i> .....	125
	<i>Guía para autores</i> .....	126



# **ARTÍCULOS DE LA REVISTA CIENCIA, INGENIERÍA Y DESARROLLO TEC LERDO**

# Construcción de un Humedal para la fitorremediación de agua residual en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo

A. Viramontes-Acosta<sup>1</sup>, M. Hernández-López<sup>1\*</sup>, T.E. Velasquez-Chavez<sup>1</sup>, R.Mendez-Almaraz<sup>1</sup>

**Resumen**— La descarga de aguas residuales al alcantarillado causa una pérdida considerable de recursos hídricos ya que aproximadamente se vierten 60,000 L al día, por lo cual se busca una forma más eficiente y sustentable para recuperar agua para su reúso en el ITSL, para esto se llevó a cabo la construcción del humedal artificial con planta de carrizo (*Phragmites australis*), la cual ha mostrado resultados positivos en investigaciones previas para tratamiento de aguas, y así cumplir con los parámetros establecidos por la NOM-003-SEMARNAT-1996.

Los resultados obtenidos y los porcentajes de remoción de los parámetros de agua residual tratadas, DQO: 66 mg/L; quitando el 93.20%. SST: 12 mg/L eliminando el 91.30% de éstos, y coliformes fecales: 0 NMP/100ml obteniendo el 100% de eficiencia. Huevos de helminto:  $\leq 1$ . Con un tiempo de retención a 7 días, resultados dentro de los límites máximos permisibles de la normatividad vigente.

Se puede concluir que la implementación del humedal artificial como técnica alternativa de fitorremediación, es una excelente opción cuando un flujo mínimo de caudal, en cambio no sería viable su utilización o implementación en una planta tratadora de aguas residuales.

**Palabras claves**— fitorremediación, humedal artificial, carga contaminante,

**Abstract**— The wastewater discharge to sewerage red causes loss of water resources, around to 60,000 L per day, thus we found to more efficient and sustainable ways of water treatment to recover water to reuse in the ITSL. In this study, we use reed plants (*Phragmites australis*) to build an artificial wetland, due to has shown positive results in previous research and thus comply with the parameters established by the NOM -003-SEMARNAT-1996.

The obtained results and percentages of removal in seven days or retention time were COD: 66 mg / L; removing 93.20%. SST: 12 mg / L eliminating 91.30% of these, and fecal coliforms: 0 NMP / 100ml obtaining 100% efficiency, helminth eggs:  $\leq 1$ . All within the maximum permissible limits of current regulations.

In conclusion, the implementation of artificial wetland such as alternative phytoremediation technique is an excellent

option to minimal flow cases, instead, it would not be feasible to use or implement a wastewater treatment plant

**Keywords**— phytoremediation, artificial wetland, polluting load.

## I. INTRODUCCIÓN

Podemos afirmar que en los últimos años ha crecido la demanda por el agua para las diferentes actividades y necesidades humanas alrededor del mundo. En algunos países es tan crítico el nivel de agua restante que se han tomado medidas extremas para conservarla y en contraste, muchos otros la desprecian y contaminan de manera desproporcionada sin tomar precauciones para el futuro [1].

Podemos resaltar que las aguas residuales producidas por diferentes actividades humanas, (principalmente domésticas e industriales) representan un problema de magnitud y que va incrementando dependiendo de los países donde se esté hablando. El riesgo de estas aguas es que desemboquen en lugares donde se encuentre una población cercana y se emplee para actividades cotidianas o económicas, desencadenando enfermedades y problemas [2].

Así que la búsqueda de fuentes alternativas para abastecer a la población de agua es una acción que se debe tomar como prioridad.

Los humedales son zonas de transición entre el medio ambiente terrestre y acuático y sirven como enlace dinámico entre los dos. El agua que se mueve arriba y abajo del gradiente de humedad, asimila una variedad de constituyentes químicos y físicos en solución. Proveen sumideros efectivos de nutrientes y sitios amortiguadores para contaminantes orgánicos e inorgánicos. Esta capacidad es el mecanismo detrás de los humedales artificiales para simular un humedal natural con el propósito de tratar las aguas residuales. Logran el tratamiento de las aguas residuales a través de la sedimentación, absorción y metabolismo bacteriano. Además que interactúan con la atmósfera. [3].

## PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

### A. Localización del sitio

El presente estudio se llevó a cabo en un espacio asignado dentro del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, situado en Av. Tecnológico No. 1555 sur Periférico

<sup>1</sup> Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. Av. Tecnológico 1555 sur, Periférico Gómez. Lerdo 35150. Cd. Lerdo, Durango, México.  
\*([moni\\_herlop@hotmail.com](mailto:moni_herlop@hotmail.com))

Gómez-Lerdo Km. 14.5 de Cd. Lerdo Dgo (Figura 20). Su ubicación geográfica se encuentra 25° 46" de latitud norte y 103° 31' de latitud oeste. Colinda al norte con los municipios de Mapimí y Gómez Palacio; al sur con el municipio de Cuencamé; al oriente con el municipio de Gómez Palacio y el estado de Coahuila y al poniente con los municipios de Mapimí y Nazas.

El clima predominante es el seco. Tiene una altura sobre el nivel del mar de 1,355 y una temperatura media anual de 24°C.

### B. Construcción del Humedal

Una vez seleccionado el lugar, se procedió a realizar una limpieza del terreno y una nivelación del mismo. Se colocaron tres hileras de block con dimensiones de 30 de largo por 20 de alto y 15 cm de ancho obteniendo de esta forma un humedal artificial (HA) de 90 cm<sup>2</sup>, los block fueron pegados con cemento y se le colocó plástico negro para evitar filtraciones de agua al suelo.

Como se puede observar en la Figura 1, una vez colocado el plástico en la totalidad del humedal, se colocó un tubo de PVC de diámetro de 4 in con perforaciones de diámetro de 0.5 cm de diámetro para la captación del agua clarificada. Posterior a esto se colocaron tres capas de sustrato, las cuales fueron: arena, grava y arena con 20 cm de altura cada una de las capas.

### C. Selección de la especie emergente

La planta utilizada es carrizo, el cual tiene una gran propiedad de remoción de Sólidos suspendidos totales y de ciertos contaminantes, debido a que la penetración de las raíces ocasiona una gran absorción de estos elementos, y la generación de carga microbiológica que incorporan al humedal aumenta en consideración la remoción de materia orgánica presente en el agua residual.

### D. Establecimiento de las especies fitorremediadoras y riegos

Una vez establecido el HA se procedió a plantar las macrófitas utilizadas en la investigación las cuales fueron *Phragmites australis* (Carrizo) y *Typha latifolia* (Junco). El volumen aplicado como riego fue de 120 litros y se manejaron tres tratamientos los cuales fueron: T1 = 3 días, T2=5 días, T3=7 días y se manejaron alrededor de 5 repeticiones por tratamiento.

### E. Análisis del agua residual y agua filtrada

El análisis del agua residual se realizó al inicio del proyecto, tomando una muestra representativa de 500 ml y de la cual se realizaron los siguientes análisis: demanda

bioquímica de oxígeno (DQO) (Método de reflujo abierto NMX-AA-030-SCFI-2001), Sólidos suspendidos totales (NMX-AA-034-SCFI-2001), Coliformes totales y fecales (NOM127 y NMX43, pH, Temperatura y Conductividad Eléctrica (método potenciométrico).

### F. Variables analizadas en el cultivo de carrizo

El análisis de las especies se realizó al finalizar el proyecto, tomando todas las plantas utilizadas en éste, dando un total de 12 plantas por m<sup>2</sup>. Las plantas se extrajeron en su totalidad para medir la altura con un flexómetro, el grosor del tallo se midió con vernier, el número de hojas por planta. Se determinó materia orgánica por el método de calcinación y el porcentaje de carbono orgánico utilizando el factor 1.724 de Van Bemmelen.

La determinación de Nitrógeno se llevó a cabo utilizando el método Kjeldahl [4].

### G. Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó en el programa MiniTab 18, con el cual se realizaron los análisis de varianza correspondientes utilizando un anova de un solo factor con comparación en parejas de Tukey ( $\alpha=0.05$ ).

## II. RESULTADOS

En la Figura 1 se puede observar cómo se colocaron y pegaron las pilas de block para construir el HA, colocándose después el plástico negro para evitar las filtraciones del agua. También se pueden observar en la Figura 1 los sustratos utilizados los cuales fueron arena y grava.



Figura 1. Elaboración del Humedal y colocación de sustratos

En la Figura 2 se muestra la incorporación de las plantas fitorremediadoras y la aplicación del agua residual con la finalidad de eliminar el contenido de materia orgánica, olores y microorganismos presentes en dicho efluente.



Figura 2. Incorporación de las plantas de carrizo y juncos, con saturación de agua corriente en el sustrato inerte.

Este apartado permite presentar los resultados de la investigación científica.

### A. Variables evaluadas en el Agua Residual

Algunos de los parámetros evaluados en el agua residual fueron pH, temperatura y conductividad eléctrica, dando un promedio de 7.11 para pH considerado como un valor neutro y una temperatura de 20.2°C y conductividad eléctrica de 2170.5 µs/cm encontrándose estos parámetros dentro de los ideales para el desarrollo de cualquier cultivo siendo similar a la temperatura encontrada por [5], favoreciendo el crecimiento del carrizo empleado en el humedal

### B. Análisis Químico del Agua residual

En el Cuadro I, se puede observar que la DQO se encuentra por encima de los 900 mg·L<sup>-1</sup> encontrándose estos valores por encima de los obtenidos por [6], los cuales son de 350 mg·L<sup>-1</sup> de DQO. Mientras que para SST se tienen valores de 138 a 141.8 mg·L<sup>-1</sup>, encontrándose también por encima de los valores encontrados por [7] con <20 ppm de SST. En el caso de nitrógeno los valores también están por encima de los obtenidos por [8] obteniendo un valor de 55 % y nuestra agua con valores por encima de 72 %, en el caso de fosforo con valores de 31 mg·L<sup>-1</sup> son similares a los obtenidos por [8] con promedios de 30 mg·L<sup>-1</sup>.

Tratamiento	DQO mg·L <sup>-1</sup>	SST mg·L <sup>-1</sup>	N %	P mg·L <sup>-1</sup>
T1	971.75	138.5	72.375	31.875
T2	980.4	141.8	79.4	33

T3	973.5	138	78.5	33
T1= 3 días, T2= 5 días, T3 = 7 días, DQO = Demanda Química de Oxígeno, RDQO = Remoción de Demanda Química de Oxígeno, SST= Sólidos Suspendidos Totales, RN = Remoción de Nitrógeno, P= Fosforo, CT= Coliformes Totales. * Letras distintas en la misma columna son estadísticamente significativas (Tukey 0.05)				

### C. Análisis Químico del Agua tratada

En el Cuadro II se muestran los resultados químicos del agua tratada mostrando una remoción mayor en el tratamiento 3 para DQO con una entrada de 971 mg·L<sup>-1</sup> Cuadro I y salida de 66 mg·L<sup>-1</sup> Cuadro II logrando una remoción del 93.20 % Cuadro II, quedando por debajo un 1.8% que los porcentajes de remoción encontrados por Romero *et al.*, 2009 el cual encontró valores de 164 - 7 mg·L<sup>-1</sup>. Lo que significa una remoción de 95.73 %. En SST en el Cuadro II, se encontraron porcentajes 91.30 % estando estos valores por encima de los encontrados por Luna y Ramírez 2009, los cuales obtuvieron 90.2%. Para nitrógeno se obtuvieron porcentajes de remoción 42.85% quedando por debajo de los encontrados por [9], que obtuvieron un 53% de remoción. Para Fosforo (ver Cuadro II), se obtuvo un porcentaje de remoción 42.85 % valor ligeramente mayor del encontrado 40.35 % [6].

T	DQO mg·L <sup>-1</sup>	RDQO %	SST mg·L <sup>-1</sup>	N %	RN %	P mg·L <sup>-1</sup>
T1	378.84b*	61.02c	16.5 a	49.5 b	31.58 b	22.6 <sup>a</sup>
T2	84.8 <sup>a</sup>	91.35 b	16.8 a	45.60 b	42.12 b	22 <sup>a</sup>
T3	67 <sup>a</sup>	93.11 <sup>a</sup>	16 a	29.0 a	63.06 a	19.5a

T=tratamiento, T1= 3 días, T2= 5 días, T3 = 7 días, DQO = Demanda Química de Oxígeno, RDQO = Remoción de Demanda Química de Oxígeno, SST= Sólidos Suspendidos Totales, RN = Remoción de Nitrógeno, P= Fosforo, CT= Coliformes Totales. \* Letras distintas en la misma columna son estadísticamente significativas (Tukey 0.05)

### D. Análisis microbiológicos

En el Cuadro III se muestran los resultados de coliformes totales, encontrando que para agua residual se obtuvo un promedio de 1280.53 NMP/100 ml quedando por encima de lo permisible de la NOM-003-SEMARNAT-1996 [10], que establece un límite de 240 NMP/100 ml. Una vez obtenida el agua tratada con nuestro sistema de humedal, se obtuvo un valor de 8 NMP/100 para los tres tratamientos, en los cuales no existió diferencia significativa, sin embargo si se logró obtener un porcentaje alto de remoción de coliformes por encima del 99.9 para los tres tratamientos. Esto se atribuye a la capacidad depuradora de las especies en especial juncos (*Typha latifolia*) que es capaz de remover hasta el 99.99% de coliformes y bacterias, encontrado en los resultados obtenidos por [11].

CUADRO III  
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA RESIDUAL Y DEL AGUA TRATADA

Tratamiento	CTE NMP/100 ml	CTS	RCT %
T1	1276.5	8 a*	99.9 a
T2	1295.2	8 a	99.9 a
T3	1283.5	8 a	99.9 a
Promedio	1285.06		

T1= 3 días, T2= 5 días, T3 = 7 días, CTE = Coliformes Totales de Entrada, CTS= Coliformes Totales de Salida, RCT= Remoción de Coliformes Totales. \* Letras distintas en la misma columna son estadísticamente significativas (Tukey 0.05).

*E. Análisis Químicos de las plantas de carrizo obtenidas del HA*

En el Cuadro IV se muestra el rendimiento de las especies utilizadas en el HA. Se encontró los porcentajes de Materia Orgánica 49.93% por debajo de los encontrados por [12] que reporto porcentajes del 45.7%. Así mismo se encontraron porcentajes de Carbón orgánico 29.0%bajos comparados con los encontrados por el mismo autor que fueron 58%. Nitrógeno total se presentaron valores bajos de 1.21% en comparación con los del autor que fueron 24%. (Estos parámetros fueron analizados por el autor a la especie ornamental *cryrus papyrus*). Se encontró que las plantas en promedio contenían un promedio de MO= 49.93 %. CO= 29 % N= 1.21 %

CUADRO IV  
ANÁLISIS QUÍMICO EN PLANTAS DE CARRIZO UTILIZADAS PARA LA FITORREMEDIACIÓN DE AGUA RESIDUAL.  
MO = Materia Orgánica, CO = Carbón orgánico, N= Nitrógeno

*F. Análisis físicos de las plantas de Carrizo obtenidas del HA*

Se inició el proyecto con las especies en estado de únicamente rizomas, teniendo así resultados significativos de crecimiento durante todos los tratamientos empleados en el HA. Se observó una altura máxima en los tallos de 133 cm teniendo como mínima 74 cm, con significancia irrelevante en el grosor de los tallos de 0.5 +- 0.3 cm, encontrando una máxima de hojas de 16 y mínima de 6, un rendimiento en verde promedio de 18.17 g/m<sup>2</sup>. (ver Cuadro V).

CUADRO V

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS PLANTAS DE CARRIZO UTILIZADAS PARA LA FITORREMEDIACIÓN DE AGUA RESIDUAL.

No. Planta	MO	CO	N total
%			
1	50.8	29.5	1.75
2	40.7	23.6	0.49
3	64	37.1	0.84
4	55.9	32.4	1.26
5	30	17.4	1.26
6	39.1	22.7	1.26
7	57.4	33.3	1.68
8	59.7	34.6	1.4
9	39.6	23.0	0.42
10	58.9	34.2	2.1
11	49.1	28.5	0.7
12	54	31.3	1.4
Promedios	49.93	29.0	1.21

No. Planta	Altura cm	GT cm	No. de hojas	RV g/m <sup>2</sup>
1	79	0.5	7	21.509
2	74	0.6	6	16.836
3	129	0.7	16	32.223
4	87	0.6	10	8.815
5	100.5	0.3	14	12.256
6	115	0.7	13	27.432
7	99	0.6	8	18.964
8	133	0.6	14	35.55
9	98	0.5	11	17.027
10	103	0.3	11	7.489
11	81	0.3	10	12.99
12	99	0.4	8	6.984
Promedios	99.79	0.50	10.66	18.17

GT= Grosor del Tallo, RV= Rendimiento en verde.

III. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Se determinaron las características básicas para el diseño y construcción de un humedal artificial para la fitorremediación del agua residual precedente del laboratorio.

Se determinaron las características químicas del agua tratada obtenida en el humedal, en la cual se concluye que el tratamiento tres con 7 días, es el que mostro valores más significativos para dichas variables obteniendo en la Demanda Química de oxígeno un valor de remoción de

93.1 % y un valor de  $16 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  para sólidos suspendidos totales y un porcentaje de remoción de nitrógeno del 63% para el T3.

El cultivo carrizo que fue la especie fitorremediadora utilizada se obtuvieron promedios de materia orgánica, Carbono orgánico y nitrógeno de 49.93%, 29% y 1.21% respectivamente, concluyendo que este cultivo si tiene ciertas características fisiológicas para lograr la absorción de dichos elementos.

Para los análisis microbiológicos se concluye que para coliformes totales no existieron diferencias significativas entre tratamientos, más sin embargo si existió una remoción de coliformes presentes en el agua residual, obteniendo un promedio de 1285.06 NMP/100 ml a 0.0087 NMP/100 ml en agua tratada existiendo un porcentaje de remoción del 99.9%.

La implementación de un humedal artificial como técnica alternativa de fitorremediación, para tratar un flujo de agua contaminada (residual) de manera eficiente, es una excelente opción cuando se trata de un flujo mínimo de caudal, el cual no sería viable para utilizar o implementar una planta tratadora de aguas residuales.

Se recomienda realizar este proyecto utilizando diferentes especies macrófitas fitorremediadoras.

Utilizar otros tipos de sustratos diferentes a los que se utilizaron en este proyecto que fue arena y grava.

Se tiene que hacer una adecuación a la cisterna por que el flujo no era suficiente para que la bomba succionara el agua residual hacia el contenedor que se encontraba encima de la estructura metálica, provocando que los riegos se hicieran de forma manual.

Durante el proceso de investigación se encontró que la especie de Junco (*Typha latifolia*) es una macrófita con características esenciales para la remoción de diversos contaminantes, más sin embargo este cultivo no se pudo desarrollar en nuestro proyecto, se recomienda realizarlo nuevamente para determinar cuáles fueron las razones por las cuales no se desarrolló.

#### IV. AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, por las facilidades brindadas para la construcción del humedal, por facilitar el laboratorio de ambiental para la realizar los análisis necesarios.

#### V. REFERENCIAS

- [1]  
[2] CEPAL (Comisión Económica para América Latinay el Caribe. (2014a).La economía del cambio climático

en America Latina y el Caribe: paradojas y desafíos del desarrollo sostenible, (LC/G.2624), Santiago de Chile.

- [3] Llagas Chafloque, W.A. y Guadalupe Gómez, E. 2012. Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM. Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica. 9, 17 (ene. 2012), 85-96
- [4] Jones, J.B. 2001. Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis. CRC Press. New York, NY, USA. 363 p.
- [5] Moreno-Arias, C., & Moreno-Arias, L. (2010). Ecología participativa para el manejo integral de humedales y recursos pesqueros en los lagos de la cuenca baja del río Caquetá y Apaporis (Amazonía Colombiana). Fase III: Informe final. In *Universidad de Antioquia y Conservación Internacional Colombia. In Mora et al.(2010). Proceedings of the Berlin Conferences on Human Dimensions of Global Environmental Change. Freie Universität Berlin.*
- [6] Delgadillo, O. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales.* Nelson Antequera.
- [7] Romero-Aguilar, M., Colín-Cruz, A., Sánchez-Salinas, E., & Ortiz-Hernández, M. A. (2009). Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 25(3), 157-167.
- [8] Bedoya Pérez, J. C., Ardila Arias, A. N., & Reyes Calle, J. (2014). Evaluación de un humedal artificial de flujo subsuperficial en el tratamiento de las aguas residuales generadas en la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Colombia. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 30(3), 275-283.
- [9] Martínez, S. A. A., Toro, F. M. B., Rojas, G. G., Giraldo, J. P. S., & Angel, M. L. H. (2010). Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas. *Informador técnico*, (74), 12-22.
- [10] Ramírez-Carrillo, H. F., Luna-Pabello, V. M., & Arredondo-Figueroa, J. L. (2009). Evaluación de un humedal artificial de flujo vertical intermitente, para obtener agua de buena calidad para la acuicultura. *Revista mexicana de ingeniería química*, 8(1), 93-99.
- [11] NOM-003-SEMARNAT-1997. (2008). *Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público. México, DF, 21.*
- [12] García Botero, T. (2005). *Diseño, construcción y evaluación preliminar de un humedal de flujo subsuperficial* (Master's thesis, Bogotá-Uniandes)
- [13] Rivas, A., & Paredes, D. (2014). Sistemas de humedales para el manejo, tratamiento y mejoramiento de la calidad del agua. *Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México Coordinación de Tratamiento y Calidad del Agua (2)*, 189.

#### VI. BIOGRAFÍA



**Viramontes Acosta Adriana.** Torreón, Coahuila. 08 de julio de 1978. Licenciatura en ingeniero Químico, Universidad Tecnológico de la Laguna, Torreón, Coahuila, México, 2000. Actualmente labora como docente, perteneciendo al departamento de Ingeniería Ambiental en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, en la Ciudad de Lerdo Durango, México.



**Hernández López Mónica** nació en Torreón Coahuila el 22 de febrero de 1983. Es Ingeniera Química en el Instituto Tecnológico de la Laguna en Torreón Coahuila, México, en el 2007. Continúo con sus estudios de postgrado en el Instituto Tecnológico de Torreón en la ciudad de Torreón Coahuila, México, obteniendo el grado de Maestra en Ciencias en Suelos en el 2010.

Actualmente labora como docente, perteneciendo al departamento de Ingeniería Ambiental en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, en la Ciudad de Lerdo Durango, México.



**Velásquez Chávez Tania Elizabeth.** Nació en la ciudad del Gómez Palacio, Durango el 6 de febrero de 1987. Cursó la carrera de Químico Farmacéutico Biólogo en Facultad de Ciencias Químicas de la UA de C en la ciudad de Saltillo, Coahuila terminando los estudios en el año 2009. Tiene maestría en Ingeniería Bioquímica en la Escuela de Ciencias Biológicas de la UA de C en la ciudad de Torreón Coahuila terminando esta misma en el año 2013. Actualmente labora en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, como docente de la división de Ingeniería Ambiental.



**Méndez Almaraz Rita.** Nació en Gómez Palacio, Durango el 26 de noviembre de 1992. Es egresada de la carrera de Ingeniería Ambiental en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo en Lerdo, Durango, México, 2019.

## Diseño, construcción y automatización de una máquina de coordenadas de cuatro grados de libertad X, Y, Z, A, para materiales blandos.

H. J. Martínez-Sandoval<sup>1</sup>, L. A. González-Vargas<sup>2</sup>, H. Martínez-Hernández<sup>2</sup>.

**Resumen**—En este proyecto se diseña, construye y se automatiza una máquina de control numérico computarizada (CNC), de 4 grados de libertad cuyos ejes de trabajo son X (ancho), Y (largo), Z (profundidad) y A (rotativo), a partir de códigos G, interpretación de planos DXF en dos dimensiones o imágenes tridimensionales.

Se inicia con el desarrollo del diseño de la estructura mecánica en un software de desarrollo de ingeniería y diseño, para su posterior fabricación. Paso siguiente se procede con la selección de equipo eléctrico – electrónico que realizaran las funciones de control de la máquina. Enseguida a la estructura mecánica se le integran los componentes eléctricos – electrónicos para conformar un sistema mecatrónico, el cual está controlado en sus movimientos mediante el software Match 3 para realizar el mecanizado de materiales (madera, acrílico, nylamid, aluminio) este mecanizado se realiza mediante las instrucciones de código G. La máquina puede manufacturar materiales blandos con un error de maquinado de 0.2 mm utilizando la herramienta de corte mediante un husillo que varía su velocidad de rotación mediante un variador que es controlado por el código G referenciado al match 3, además de un avance de maquinado de 300 mm por minuto.

Esta máquina fue diseñada para trabajar con materiales blando, pero la ventaja que presenta es que es fácilmente adaptable para el maquinado de materiales duros mediante la adición de transmisiones mecánicas en los ejes lineales; este prototipo tiene un costo competitivo con las que actualmente existen mercado industrial, y en cuestión de funcionamiento es muy versátil y fácil de operar.

**Palabras claves** — Diseño, Mecatrónica, Manufactura, Control Numérico, Materiales Blandos, Grados de Libertad, CNC.

**Abstract**— In this project, a computerized numerical control (CNC) machine with 4 degrees of freedom is designed, built and automated, whose working axes are X (width), Y (length), Z (depth) and A (rotary), from G codes, interpretation of DXF planes in two dimensions or three-dimensional images.

It begins with the development of the design of the mechanical structure in an engineering and design development software, for its subsequent manufacturing. Next step we proceed with the selection of electrical - electronic equipment that will perform the control functions

of the machine. Next to the mechanical structure the electrical - electronic components are integrated to form a mechatronic system, which is controlled in its movements by the Match 3 software to perform the machining of materials (wood, acrylic, nylamid, aluminum) This machining is performed using the code G instructions. The machine can manufacture soft materials with a machining error of 0.2 mm using the cutting tool by means of a spindle that varies its rotation speed by means of a drive that is controlled by the G code referenced to match 3, In addition to a machining feed of 300 mm per minute.

This machine was designed to work with soft materials, but the advantage it presents is that it is easily adaptable for machining hard materials by adding mechanical transmissions on the linear axes; This machine has a competitive cost with those that currently exist in the industrial market, and in a matter of operation it is very versatile and easy to operate.

**Keywords** — Design, Mechatronics, Manufacturing, Numerical Control, Soft Materials, Degrees of Freedom, CNC.

### I. INTRODUCCIÓN

La primera máquina de coordenadas surgió a principios del siglo XIX, esta era una maquina básica usada para el mecanizado de piezas, la cual trabajaba en la realización de piezas mediante el arranque de viruta mediante el movimiento de una herramienta rotativa la cual tiene varios filos de corte denominada fresa.

Mediante este tipo de máquina de coordenadas se realizaban trabajos en los materiales como son madera, acero, fundición de hierro, metales no férricos y materiales sintéticos, en superficies planas o curvas, de entalladura, de ranuras, de dentado, entre otras.

En este tipo de máquinas el funcionamiento era mediante la interacción operador – maquina, donde el operador era el elemento principal indispensable en la realización de maquinado de piezas ya que él interactuaba con la maquina moviendo los ejes de coordenadas, eje x, eje y, eje z para la realización de piezas mecanizadas.

En este tipo de proceso hay un alto porcentaje de error ya que las características dimensionales en las piezas de fabricación dependen 100% de la medición del operador [1].

Por tal motivo, la explosiva expansión industrial desde comienzos del siglo XX y el empleo masivo de maquinaria impulsada por energía motriz demandó una

<sup>1</sup> Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Av. Tecnológico S/N, Col. Periférico C.P. 35150 Cd. Lerdo Durango México.

hjmarsan@hotmail.com, luisglzvar@gmail.com, hmartinez@utt.edu.mx

búsqueda constante de procesos cada vez más eficientes. Hasta hace unos 60-65 años, la mano de obra requerida en las tareas industriales era densa (cerrada), lo cual no sólo exigía enormes dotaciones de obreros, sino que además afectaba la calidad, precisión y repetibilidad, encarecía los costos y disminuía la producción [6].

Hoy en día existen sistemas de coordenadas de manera automática basados en el principio de la primera máquina herramienta que fue la fresadora, por ello a nosotros nos interesó basar nuestro proyecto en la realización de una máquina de CNC de cuatro ejes que pudiera trabajar como una máquina fresadora y un torno a un bajo costo y con especificaciones y características acorde a nuestra necesidad.

## II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

### A. Diseño Mecánico de la Máquina

El desarrollo del sistema mecánico de la máquina de coordenadas consta de 4 subsistemas, los cuales están divididos de las siguientes maneras:

- a) Sistema de 3 Ejes Coordinados Principales X, Y, Z.
- b) Sistema de Eje Rotativo A (funcionamiento estilo torno).
- c) Sistema de husillo (Herramienta de corte, marcado, desbaste).
- d) Sistema de sujeción de material

A continuación, se muestra en la Figura 1, un panorama amplio de cómo se desarrolló el diseño de la máquina.

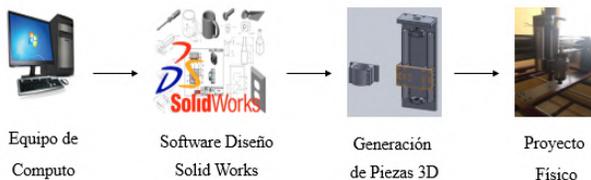


Figura 1. Esquema general del diseño mecánico

Para el desarrollo del diseño mecánico se utilizó el software Solid Works el cual es un software de excelente calidad y funcionamiento para desarrollar este tipo de trabajos.

Algunos de los elementos empleados para el desarrollo de fabricación del diseño mecánico fueron:

- a) Rodamientos Lineales

- b) Puntos de apoyo BF y BK
- c) Estructura en PTR de 2"
- d) Placas de Aluminio
- e) Tornillería mm en diferentes medidas
- f) Bases Niveladoras

En la Figura 2 se muestra el armado mecánico general de la máquina CNC.



Figura 2. Ensamble del diseño de la estructura mecánica de la máquina CNC

### B. Diseño eléctrico - electrónico de la CNC

El funcionamiento de la máquina CNC, está dividido por secciones tal como se enumera a continuación.

1. Sección eje X
2. Sección eje Y
3. Sección eje Z
4. Sección eje A
5. Sección tablero de control general

En la Figura 3 se muestra el esquema eléctrico – electrónico general de la máquina CNC.

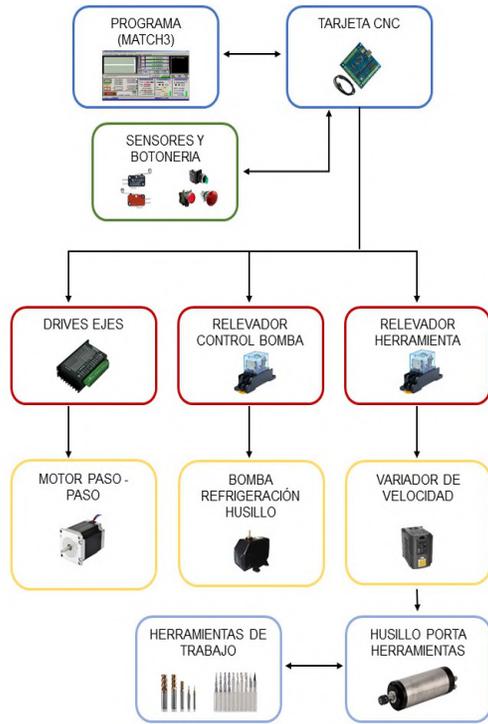


Figura 3. Esquema eléctrico – electrónico del CNC

Los grados de libertad del CNC se energizan mediante una tarjeta de control principal, la cual además de dar potencia, controla los ejes y la herramienta en coordinación con el drive de control.

Los cuatro ejes están constituidos por un drive de control de motor a pasos, un motor a paso nema 23 de 425 onzas, también se cuenta en cada uno de los tres principales ejes con dos sensores uno de inicio y uno de final de carrera, a continuación, se muestra en la figura 4 la conformación de cada eje respectivo de la CNC.

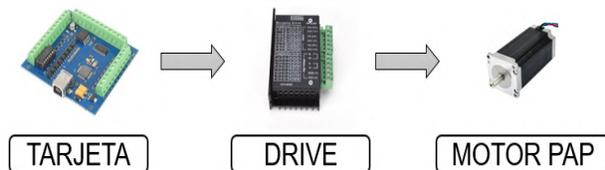


Figura 4. Subsistema general de los ejes X, Y, Z

Cabe resaltar que el uso del controlador de los motores

a pasos (Drive DMX5042BDC) es muy versátil ya que puede ser configurado para diferentes tamaños (NEMAS), de motores a pasos para así tener un CNC más robusto y capaz de realizar movimientos más rápidos de desplazamiento en el área de trabajo al mecanizar materiales para los diferentes proyectos que se desean realizar. A continuación, se muestra en la Figura 5 el controlador utilizado en el desarrollo de este proyecto.



Figura 5. Controlador DMX5042BDC

En seguida se muestran la Tabla I y la Tabla II, los parámetros de configuración general del Drive, y la selección del parámetro seleccionado para el proyecto.

TABLA I  
PARAMETROS DE AJUSTE DE CORRIENTE

PEAK CORRIENTE	RMS	SW 1	SW 2	SW 3
1.00	0.71	ON	ON	ON
1.46	1.04	OFF	ON	ON
1.92	1.36	ON	OFF	ON
2.37	1.69	OFF	OFF	ON
2.84	2.03	ON	ON	OFF
3.32	2.36	OFF	ON	OFF
3.76	2.69	ON	OFF	OFF
4.20	3.00	OFF	OFF	OFF

TABLA II  
PARAMETROS DE AJUSTE DE PULSOS / REVOLUCIONES

MicroStep	Pulse / REV	SW 5	SW 6	SW 7	SW 8
2	400	OFF	ON	ON	ON
4	800	ON	OFF	ON	ON
8	1600	OFF	OFF	ON	ON
16	3200	ON	ON	OFF	ON
32	6400	OFF	ON	OFF	ON
64	12800	ON	OFF	OFF	ON
128	25600	OFF	OFF	OFF	ON
5	1000	ON	ON	ON	OFF
10	2000	OFF	ON	ON	OFF
20	4000	ON	OFF	ON	OFF
25	5000	OFF	OFF	ON	OFF
40	8000	ON	ON	OFF	OFF
50	10000	OFF	ON	OFF	OFF
100	20000	ON	OFF	OFF	OFF
125	25000	OFF	OFF	OFF	OFF

En esta sección también se desarrolló el tablero de control general de la máquina CNC, el cual realiza la interacción entre el software Mach3 (lector del código G) y los dispositivos de trabajo de la máquina que realizan el maquinado de materiales como son la Madera, Plásticos, y Aluminio.

A continuación, se muestra en la figura 6, el desarrollo del tablero principal eléctrico - electrónico de la CNC.



Figura 6. Tablero principal de control y potencia de la máquina CNC

C. Integración del sistema mecánico – eléctrico electrónico del CNC.

La integración del sistema mecánico – eléctrico electrónico de los ejes principales de la máquina CNC están conformados de la siguiente manera, así como lo muestra la siguiente figura 7.

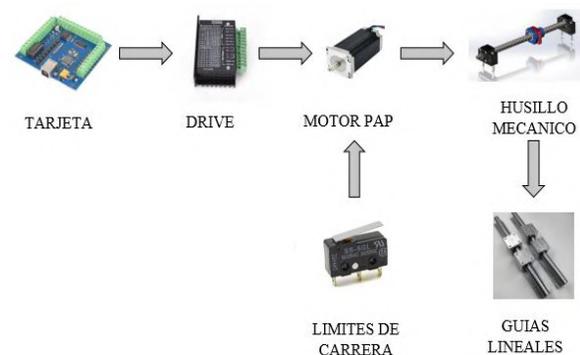


Figura 7. Diagrama M – E - E de los ejes X, Y, Z

La integración de los sistemas de la máquina; mecánico, eléctrico-electrónico de manera física se pueden visualizar en la figura 8



Figura 8. Prototipo de la maquina CNC

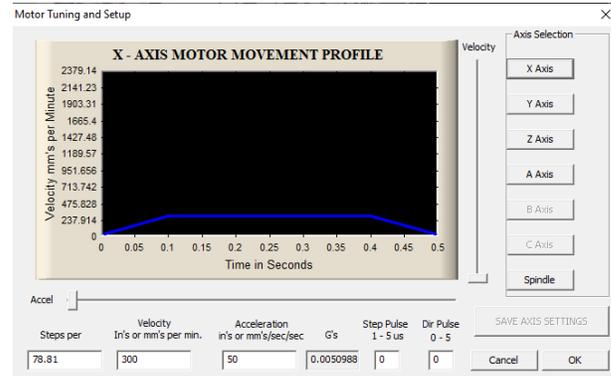


Figura 10. Curva de aceleración, desaceleración y torque del eje X

### III. RESULTADOS

#### A. Maquinado Material Poliestireno Extruido

Este es un material aislante térmico, con una estructura celular molecular cerrada y de fácil maquinado, con este material nos dimos a la tarea de poner a punto la maquina en cuestión de dimensiones velocidades de trabajo en los ejes, así como frecuencia de trabajo de la herramienta de corte tal como se muestra a continuación en la figura 9 y figura 10, el proceso de maquinado de este material.



Figura 9. Material aislante

#### B. Maquinado Material MDF

Es un tipo de madera o tablero que está fabricado a partir de fibras de maderas (contiene un aproximado en un 85%) y un 20% en resinas sintéticas comprimidas, lo cual aporta una mayor densidad de la que presentan, maderas como aglomerados tradicionales o la madera contrachapada, a continuación, se muestran en la figura 11, algunos maquinados realizados.

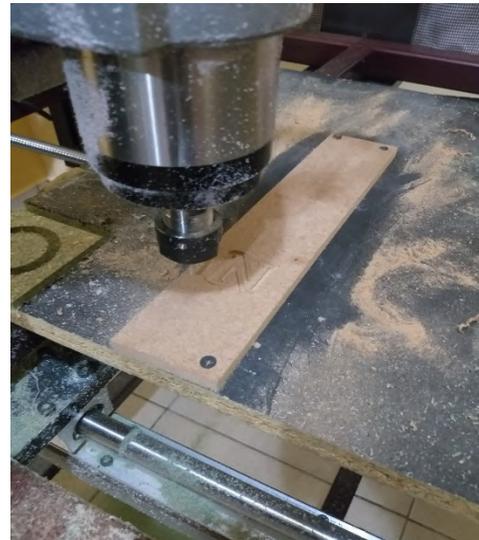


Figura 11. Maquinado en material MDF

#### C. Maquinado Material Aluminio

Para poder mecanizar el material de aluminio se requieren herramientas que cumplan con algunas de las siguientes características especiales, es deseable que al momento del corte en este material las herramientas permitan la evacuación eficiente del material (viruta de

corte), para evitar atoramientos que pueden arruinar la pieza y la herramienta de corte, asimismo, los ángulos de desprendimiento deben ser mayores a los utilizados para mecanizar aceros, además de un buen suministro de refrigerante al momento de maquinar este material ya que se calienta bastante cuando se está trabajando en su mecanizado, a continuación se muestran en la figura 12, el mecanizados en material aluminio.



Figura 12. Maquinado en material Aluminio

Mediante la obtención de todos los resultados en el maquinado de varios materiales pudimos diagnosticar que la maquina da excelentes resultados a la hora de maquinar ya que su diagnóstico general nos arroja un error de maquinado del 0.2% algo que es despreciable para el trabajo que desarrollara la maquina en cuestión de mecanizado ya que está dentro de los parámetros de rango de error permitido que nos planteamos al inicio del proyecto que fue entre un 2 a 1 % entre mediadas finales maquinada y en relación a las programas, además de que existen factores tales como el material, la herramienta, el diseño mecánico de la propia máquina, la sujeción del material, la vibración generada por la máquina, entre otros que perjudican en desarrollo del mecanizado para lograr la precisión y exactitud buscada a la hora de mecanizar materiales, pero dado que la maquina está por debajo de lo que nos trazamos al principio de elaborar el proyecto podemos asegurar que la maquina cumple con los parámetros para un excelente funcionamiento.

Por tal motivo no queda más que seguir realizando trabajos en la máquina, seguir mejorando en el proceso del mecanizado de estos materiales y buscar seguir bajando al rango de error que tenemos que aun y cuando esta excelente, me gustaría mejorarlo aún un poco más bajándolo a un 0.025% que es lo que las máquinas de uso

industrial manejan de exactitud como estándar en su mecanizado de trabajo.

Otros resultados encontrados en esta máquina es que la velocidad de la herramienta realmente es la que programamos, así como los avances de corte y movimiento de los ejes X, Y, Z y A son muy precisos lo cual ayuda a que cuando maquinamos sea excelente el mecanizado.

#### IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Con la realización de esta máquina logramos obtener una tecnología de una maquina versátil y funcional la cual está adaptada a las necesidades del trabajo para lo cual fue fabricada. Además de que con la manufactura de esta máquina pudimos implementar los conocimientos adquiridos durante el periodo de la maestría relacionado con las materias de matemáticas, mecánica, mecatrónica, electrónica, computación, así mismo nos adentramos en el mundo de las maquinas CNC para el mecanizado de materiales.

Durante el proceso de la fabricación también fuimos mejorando la parte mecánica esto debido a que las primeras pruebas mecánicas teníamos detalles que no eran del todo eficientes, como interferencias, dimensionamientos pequeños del área de maquinado, y sujeciones mecánicas que nos transmitían vibraciones cuando estábamos maquinando el material, por ello hubo varios ajustes para lograr un mejor resultado en la elaboración de esta máquina CNC.

Para la elaboración de este proyecto fue necesario realizar el diseño virtual del CNC en un software de diseño mecánico, para lo cual decidimos trabajar con el Solid Works, ya que es un programa muy amigable en el diseño de maquinaria industrial y con el cual anteriormente habíamos trabajado en la elaboración de otros tipos de máquina, además de que es un software muy eficiente en la obtención resultados a la hora de hacer simulaciones de movimiento.

#### V. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Instituto Tecnológico Superior de Lerdo por las facilidades brindadas para desarrollar y divulgar el presente trabajo.

VI. APÉNDICES

A continuación, se muestra en la figura 13 un ejemplo de trabajo de mecanizado de pieza en el software de simulación de uso libre de código G en **NC Conector**, antes de pasarlo al software Mach3 como código G, realizando este paso podemos darnos cuenta si al momento de fabricarlo tenemos errores con esto detectamos fallas y realizamos las correcciones debidas antes de fabricarlo en físico y real.

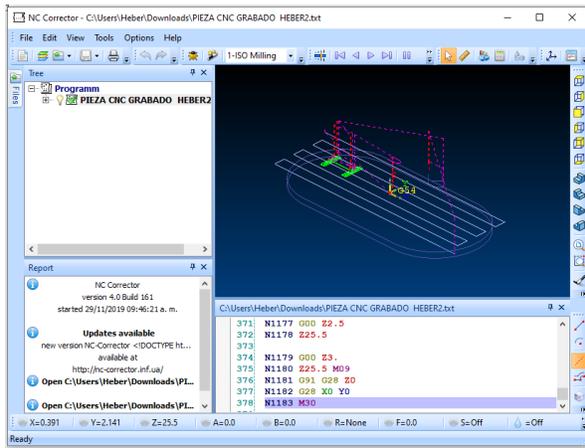


Figura 13. Simulación pieza en NC Conector

Otro trabajo de mecanizado realizado dentro de este proyecto fue el siguiente, el cual se muestra en la siguiente figura 14.

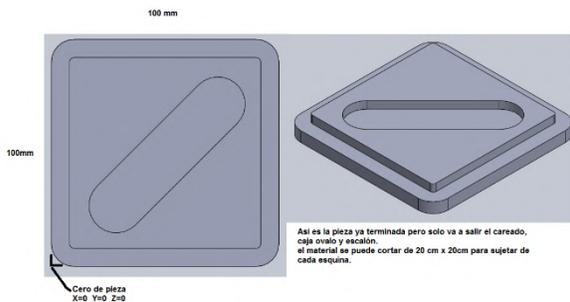


Figura 14. Pieza molde fabricado en CNC

También se muestra parte del código usado para generar la anterior pieza maquinada en el CNC.

```
O0001
N1 G21
N2 (6MM CRB 2FL 19 LOC)
N3 G91 G28 X0 Y0 Z0
```

```
N4 T01 M06
N5 S4786 M03

N6 ( Desbaste3 )
N7 G90 G54 G00 X-44.238 Y-44.237
N8 G43 Z2.5 H01 M08
N9 G01 Z-3. F109.416
N10 G17 X-43.099 F437.665
N11 G02 X-44.238 Y-43.099 I3.099 J4.237
N12 G01 Y-44.237
N13 X-46.638 Y-46.637
N14 X46.637
N15 Y-43.099
N16 X44.237
N17 G02 X43.099 Y-44.238 I-4.237 J3.099
N18 G01 X44.237
N19 Y-43.099
N20 X46.637
N21 Y46.638
N22 X43.099
N23 Y44.238
N24 G02 X44.238 Y43.099 I-3.099 J-4.237
N25 G01 Y44.238
N26 X43.099
N27 Y46.638
N28 X-46.637
N29 Y43.099
N30 X-44.237
N31 G02 X-43.099 Y44.238 I4.237 J-3.099
N32 G01 X-44.237
N33 Y43.099
N34 X-46.637
N35 Y-46.637
N36 X-49.038 Y-49.037
N37 X49.037
N38 Y49.037
N39 X-49.037
N40 Y-49.037
N41 X-51.438 Y-51.437
N42 X51.437
N43 Y51.437
N44 X-51.437
N45 Y-51.437
N46 X51.437
N47 Y51.437
N48 X-51.437
N49 Y-51.437
N50 G00 Z2.5
N51 X45.25 Y40.
N52 G01 Z-3. F109.416
N53 Y-40. F437.665
N54 G02 X40. Y-45.25 I-5.25 J0
N55 G01 X-40.
```

## VII. REFERENCIAS

- [1] Groover, M. P. (2012). *Introducción a los Procesos de Manufactura*. México: Mc Graw Hill.
- [2] Rivas, D. (2013). Diseño y Construcción de una Impresora 3D Auto-replicable Controlada Inalámbricamente para el Prototipado de Piezas Plásticas, mediante Software Libre. *Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*.
- [3] Hermosa, D. (2014). Diseño y Construcción de una protipadora CNC que realiza el ruteo de pistas y el taladrado de circuitos impresos utilizando procesamiento de imágenes en LabVIEW. *Universidad de las Fuerzas Armadas*, 8.
- [4] Acuña, F. (2009). Diseño y Construcción de un Prototipo de Centro de Mecanizado Vertical CNC de 5 Ejes para el Laboratorio CNC de la ESPE Extensión Latacunga. *ESPE, Extensión Latacunga*, 10
- [5] Schvab, L. (2011). *Máquinas y Herramientas*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, República de Argentina: Instituto Nacional de Educación Tecnológica
- [6] Norton, R. L. (2013). *Diseño de Maquinaria*. México: Mc Graw Hill
- [7] MCNC. (2014). Historia y Evolución del CNC. *Industria y Empresas*, 4
- [8] Limited, L. T. (2012). *User's Manual DM860*. Obtenido de User's Manual DM860: [www.leadshine.com](http://www.leadshine.com)
- [9] Rodríguez, R. P. (2005). El Diseño Modular en el contexto del Desarrollo de Máquinas Herramientas Reconfigurables. *Revista de Ingeniería Mecánica*, 8
- [10] Trillo, V. M. (2013). *ABC de la Mecatrónica*. María Guadalupe López Osorio.

## VIII. BIOGRAFÍA



**M. I. M. Heber Joctan Martínez Sandoval.** Nació el 11 de diciembre de 1982 en la ciudad de Torreón Coahuila, recibió el título de Ingeniero Electrónico en Control, egresado del Tecnológico de la Laguna en el año 2008, estudio la maestría en Ingeniería Mecatrónica del año 2017 al 2019 en el Instituto Tecnológico de Lerdo, obteniendo el grado de maestro en Ingeniería Mecatrónica el día 20 de enero del 2020. Trabajó en la empresa Laguna Gages & Tooling S.A de C.V como jefe del departamento de Automatización y Control

durante el periodo comprendido de enero 2009 al julio 2018, así como en la Universidad Tecnológica de Torreón del año 2010 al 2017 como profesor de asignatura. Actualmente labora como docente en la institución Tecmilenio Torreón como profesor de asignatura a nivel preparatoria área Físico – Matemático y en la institución Universidad Autónoma de la Laguna como profesor de asignatura en las carreras de Ingeniería Mecatrónica e Ingeniería en Sistemas Automotrices como docente de materias del área técnica en electrónica, mecánica, mecatrónica, diseño y mecatrónica, actualmente también desarrolla proyectos de automatización e investigación en la industria automotriz, alimenticia, ganadera y textil de la región laguna y sitios aledaños. Áreas de interés: Control, Instrumentación, Mecatrónica, Mecánica, Electricidad, Diseño, Robótica, Manufactura, Calidad, Energías renovables, Calidad de la Energía, Proyectos Industriales y Docencia.



**M. C. Luis Amado González Vargas.** Nació en la ciudad de Lerdo, Dgo., el 25 de agosto de 1968. Recibió el título de Ingeniero en electrónica del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Cd. Lerdo Dgo. 2007. Recibió el grado de Maestro en Ciencias con especialidad en Ingeniería Eléctrica del Instituto Tecnológico de la Laguna en 2010. Él ha participado en proyectos de investigación relacionados con estudios de la calidad de la energía en

distintas empresas, sus áreas de interés incluyen sistemas de potencia en régimen no senoidal y sistemas de control distribuido. Actualmente es profesor Investigador del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo.



**M. Ed. Héctor Martínez Hernández.** Nació en Torreón Coahuila, México el 19 de marzo de 1959. Realizó sus estudios de Licenciatura en Normal Superior de la Laguna obteniendo su título en 1983 realizó la especialidad Automatización de Procesos Industriales en el Instituto Tecnológico de Saltillo Coahuila, así como la Maestría en Educación en Universidad Autónoma del Noreste en la ciudad de Torreón Coahuila obteniendo el grado en 2007. Actualmente labora para la Universidad Tecnológica de Torreón desempeñándose en el

Departamento de Ingeniería Metal Mecánica en áreas de diseño y control numérico. Trabajo en la industria por un periodo de 24 años en áreas de producción e ingeniería de procesos.

Tiene amplia experiencia docente en Universidades como Instituto Tecnológico de Lerdo, Universidad Autónoma de la Laguna, Universidad del Valle de México, Universidad Iberoamericana, Instituto Conalep y Colegio Humana.

# Análisis de un regulador PID lineal para el control de robots manipuladores

M.I. Nava-Bustamante<sup>1</sup>, J.L. Meza Medina<sup>1</sup>.

**Resumen**— El regulador proporcional-integral-derivativo (PID) lineal para robots manipuladores es considerado como el controlador más popular debido a su estructura simple y su efectividad demostrada para el control de posición. Desafortunadamente el control PID lineal carece hasta hoy de una prueba de estabilidad asintótica global. Las pruebas de estabilidad hasta hoy presentadas son válidas solo en un sentido local o semiglobal. En este trabajo de investigación, se presenta un análisis de estabilidad asintótica semiglobal simple del regulador PID lineal para robots manipuladores, el cual es resultado de una adecuada combinación de resultados previos donde se utilizó teoría de pasividad y teoría de Lyapunov.

**Palabras claves**—Control de robots, PID, estabilidad de Lyapunov.

**Abstract**— The linear proportional-integral-derivative (PID) regulator for robot manipulators is considered the most popular controller due to its simple structure and proven demonstration for position control. Unfortunately, linear PID control lacks a global asymptotic stability test to date. Stability tests to date are valid only in a local or semi-global sense. In this research paper, a simple semi-global asymptotic stability analysis of the linear PID regulator for robot manipulators is presented, which is the result of a suitable adequate combination of previous results where passivity theory and Lyapunov theory are applied.

**Keywords**— Control of robots, PID, Lyapunov stability.

## I. INTRODUCCIÓN

El regulador PID para robots manipuladores aun es considerado como el regulador más popular para el control de posición de robots manipuladores, debido a su estructura simple y su fácil implementación. Sin embargo, el control PID no cuenta con un adecuado fundamento teórico al carecer hasta hoy de una prueba de estabilidad asintótica global. Las pruebas de estabilidad asintótica hasta hoy presentadas son válidas solo en un sentido local [1]-[3] y en el mejor de los casos semiglobal [13],[15]. Las pruebas de estabilidad asintótica local reportadas son demasiado complicadas. Recientemente se han propuesto

reguladores globalmente estables para resolver el problema de posicionamiento global llamados PID no lineales [6], [8], [12], [16].

Este trabajo está inspirado por trabajos previos, [2], [4], [6] mediante la adecuada combinación de las funciones de Lyapunov presentadas en dichos trabajos, logrando presentar un análisis de estabilidad semiglobal del regulador PID lineal para robots manipuladores más simple.

## II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

En esta sección se describe el trabajo realizado para el análisis del regulador PID clásico y su aplicación en robots manipuladores. Se muestra detalladamente la obtención del modelo dinámico del robot, el diseño del controlador y su respectivo análisis de estabilidad.

### A. Modelo dinámico del robot

Despreciando el fenómeno de fricción y otras perturbaciones, la dinámica de un robot rígido de  $n$  eslabones puede ser escrito como, [5]:

$$M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + g(q) = \tau \quad (1)$$

donde  $q$  es el vector de  $n \times 1$  de posiciones articulares,  $\tau$  es el vector de  $n \times 1$  de pares aplicados a las articulaciones,  $M(q)$  es la matriz de inercia del manipulador definida positiva y simétrica de  $n \times n$ ,  $C(q, \dot{q})\dot{q}$  es el vector de fuerzas centrífugas y de Coriolis de  $n \times 1$ , y  $g(q)$  es el vector de fuerzas gravitacionales de  $n \times 1$  obtenido como el gradiente de la energía potencial del robot  $U(q)$  debido a la acción de la gravedad con

$$g(q) = \frac{\partial U(q)}{\partial(q)}. \quad (2)$$

Para este artículo se supone que los eslabones del robot están unidos por articulaciones rotacionales. La ecuación representativa de la dinámica del manipulador es compleja, sin embargo, cuenta con varias propiedades fundamentales que pueden ser aprovechadas para su análisis. Tres propiedades importantes se muestran a continuación:

**Propiedad 1.** [10] La matriz  $C(q, \dot{q})\dot{q}$  y la derivada

<sup>1</sup> Tecnológico Nacional de México/Tecnológico de la Laguna, División de Estudios de Posgrado e Investigación, línea de investigación Mecatrónica y Control. Torreón, Coahuila, México. [navabustamantem@gmail.com](mailto:navabustamantem@gmail.com)

temporal  $\dot{M}(q)$  de la matriz de inercia satisfacen:

$$\dot{q}^T \left[ \frac{1}{2} \dot{M}(q) - C(q, \dot{q}) \right] \dot{q} = 0 \quad \forall q, \dot{q} \in \mathbb{R}^n.$$

**Propiedad 2.** [10] Existe una constante positiva  $k_g$  tal que

$$k_g \geq \left\| \frac{\partial g(q)}{\partial q} \right\| \quad \forall q \in \mathbb{R},$$

y

$$\|g(x) - g(y)\| \leq k_g \|x - y\| \quad \forall x, y \in \mathbb{R}^n$$

**Propiedad 3.** [10] Existe una constante positiva  $k_c$  tal que para toda  $x, y, z \in \mathbb{R}^n$  tenemos que

$$\|C(x, y)z\| \leq k_c \|y\| \|z\|.$$

### B. Robot experimental

Con el fin de soportar el desarrollo teórico, se consideró un robot manipulador de dos grados de libertad moviéndose en el plano vertical. El sistema consiste de un brazo robótico de transmisión directa con dos eslabones rígidos y articulaciones rotacionales, el cual se muestra en la Figura 1. Este sistema se encuentra en el laboratorio de mecatrónica y control del Tecnológico Nacional de México campus La Laguna.



Figura 1. Robot experimental de dos grados de libertad

En la Figura 2 se muestra el diagrama esquemático del robot, cuya nomenclatura representa los parámetros de principal interés del manipulador, los cuales se incluyen en la tabla 1. El motor del eslabón 1 es capaz de suministrar un par de 200 Nm y el motor del eslabón 1 solo 15 Nm,

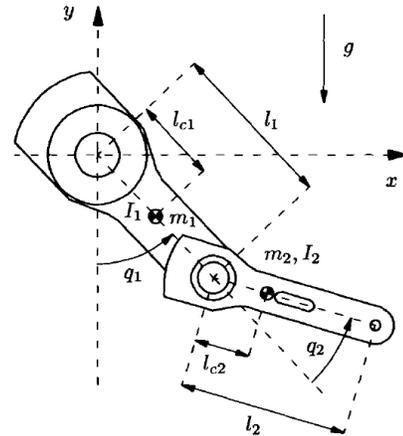


Figura 2. Diagrama esquemático del robot manipulador

TABLA I PARÁMETROS DEL ROBOT MANIPULADOR EXPERIMENTAL

		valor	unidades
Longitud del eslabón 1	$l_1$	0.45	m
Longitud del eslabón 2	$l_2$	0.45	m
Centro de masa del eslabón 1	$l_{c1}$	0.091	m
Centro de masa del eslabón 2	$l_{c2}$	0.048	m
masa del eslabón 1	$m_1$	23.902	kg
masa del eslabón 2	$m_2$	3.88	kg
Inercia del eslabón 1	$I_1$	1.266	Kg m <sup>2</sup> /rad
Inercia del eslabón 2	$I_2$	0.093	Kg m <sup>2</sup> /rad
Aceleración de la gravedad	$g$	9.81	m/s <sup>2</sup>
Fricción viscosa de la articulación 1	$f_{v1}$	2.288	Nm-s/rad
Fricción viscosa de la articulación 2	$f_{v2}$	0.175	Nm-s/rad

### C. Regulador lineal PID clásico

En la actualidad la mayoría de los robots industriales son controlados mediante reguladores PID [7] (ver figura

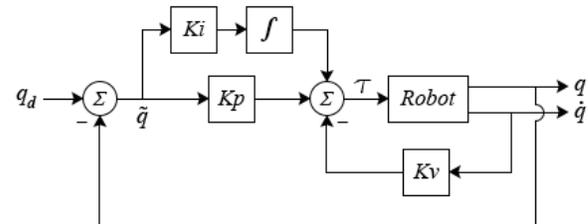


Figura 3. Regulador lineal PID clásico

3).

La ley de control del regulador PID puede representarse mediante la ecuación

$$\tau = k_p \tilde{q} - k_v \dot{\tilde{q}} + k_i \int_0^t \tilde{q}(\sigma) d\sigma \quad (3)$$

donde

- $k_p, k_v$  y  $k_i$  son matrices diagonales definidas

positivas de  $n \times n$

- $\tilde{q} = q_d - q$  es el vector de error de velocidad.

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \tilde{q} \\ \dot{\tilde{q}} \\ z \end{bmatrix} =$$

Con propósitos de análisis la ley de control (3) puede ser reescrita equivalentemente de la siguiente forma:

$$\tau = k'_p \tilde{q} - k_v \dot{\tilde{q}} + k'_i \int_0^t (\alpha \tilde{q}(\sigma) + \dot{\tilde{q}}(\sigma)) d\sigma \quad (4)$$

donde

$$k'_p = k_p - \frac{k_i}{\alpha} \quad (5)$$

$$k'_i = \frac{k_i}{\alpha} \quad (6)$$

con

$$\alpha > \frac{\lambda_M \{k_i\}}{\lambda_m \{K_p\}} \quad (7)$$

Esta última condición asegura que  $k'_p > 0$ . La constante  $\alpha$  se utiliza como parámetro de la función de Lyapunov, por lo que se debe elegir adecuadamente. Es importante tener presente que no es un parámetro del controlador.

La ecuación de lazo cerrado del sistema se obtiene sustituyendo la ley de control (4) en la dinámica del robot (1). Representando en ecuaciones de estado se tiene

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \tilde{q} \\ \dot{\tilde{q}} \\ \xi \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} -\dot{q} \\ M(q)^{-1} [k'_p \tilde{q} - k_v \dot{\tilde{q}} - C(q, \dot{q}) \dot{\tilde{q}} - g(q) + k_i \xi] \\ \alpha \tilde{q} - \dot{\tilde{q}} \end{bmatrix}$$

donde  $\xi = \int_0^t (\alpha \tilde{q}(\sigma) + \dot{\tilde{q}}(\sigma)) d\sigma$ . El único equilibrio se localiza en

$$\begin{bmatrix} \tilde{q} \\ \dot{\tilde{q}} \\ \xi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ k_i^{-1} g(q_d) \end{bmatrix} \quad (9)$$

Para mover el equilibrio al origen se hace un cambio de variable definiendo  $z$  como:

$$z(t) = \xi - k_i^{-1} g(q_d) \quad (10)$$

$$\dot{z}(t) = \alpha \tilde{q}(t) - \dot{\tilde{q}}(t) \quad (12)$$

La ecuación de lazo cerrado en términos de  $z$  queda

$$\begin{bmatrix} -\dot{q} \\ M(q)^{-1} [k'_p \tilde{q} - k_v \dot{\tilde{q}} - C(q, \dot{q}) \dot{\tilde{q}} - g(q) + k'_i z + g(q_d)] \\ \alpha \tilde{q} - \dot{\tilde{q}} \end{bmatrix}$$

La cual es una ecuación diferencial no lineal autónoma cuyo origen  $[\tilde{q}^T \quad \dot{\tilde{q}}^T \quad z^T]^T = 0 \in \mathbb{R}^{3n}$  es el único equilibrio.

#### D. Análisis de estabilidad

Para llevar a cabo el análisis de estabilidad, se hará uso de la siguiente función candidata de Lyapunov, la cual es resultado de una adecuada combinación de las funciones propuestas en [9] y [4]:

$$\begin{aligned} V(\tilde{q}, \dot{\tilde{q}}, z) = & \frac{1}{2} \dot{\tilde{q}}^T M(q) \dot{\tilde{q}} + \frac{1}{2} \tilde{q}^T k'_p \tilde{q} + \mathcal{U}(q) \\ & - \mathcal{U}(q_d) + g(q_d)^T \tilde{q} - \alpha \tilde{q}^T M(q) \dot{\tilde{q}} \\ & + \frac{1}{2} z^T k'_i z + \frac{\alpha}{2} \tilde{q}^T k_v \tilde{q} \quad (13) \end{aligned}$$

Buscando otorgar las condiciones necesarias para que  $V(\tilde{q}, \dot{\tilde{q}}, z)$  sea definida positiva, se particiona la función  $V(\tilde{q}, \dot{\tilde{q}}, z)$  como  $V = V_1 + V_2 + V_3$  donde

$$V_1 = \frac{1}{2} \tilde{q}^T k'_p \tilde{q} + \mathcal{U}(q) - \mathcal{U}(q_d) + g(q_d)^T \tilde{q}$$

$$V_2 = \frac{1}{2} \dot{\tilde{q}}^T M(q) \dot{\tilde{q}} - \alpha \tilde{q}^T M(q) \dot{\tilde{q}} + \frac{\alpha}{2} \tilde{q}^T k_v \tilde{q}$$

$$V_3 = \frac{1}{2} z^T k'_i z$$

$V_1$  será definida positiva si:  $\lambda_m \{k'_p\} > k_g$  [11]. Para alcanzar esta condición en términos de  $k_p$  en lugar de  $k'_p$  se sustituye (5) en  $V_1$  y con ello se obtiene que  $V_1 > 0$  si

$$\lambda_m \{k_p\} - k_g - \frac{1}{\alpha} \lambda_M \{k_1\} > 0.$$

Con ello se obtiene la cota inferior sobre  $\alpha$

$$\alpha > \frac{\lambda_M \{k_1\}}{\lambda_m \{k_p\} - k_g}. \quad (15)$$

Nótese que la satisfacción de (15) con  $\lambda_m \{k_p\} - k_g$  también satisface (7).

Utilizando las siguientes desigualdades

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \dot{q}^T M(q) \dot{q} &\geq \frac{1}{2} \lambda_m\{M\} \|\dot{q}\|^2 \\ -\alpha \tilde{q}^T M(q) \dot{q} &\geq -\alpha \lambda_M(M) \|\tilde{q}\| \|\dot{q}\| \\ \frac{\alpha}{2} \tilde{q}^T k_v \tilde{q} &\geq \frac{\alpha}{2} \lambda_m\{k_v\} \|\tilde{q}\|^2 \end{aligned}$$

se obtiene la siguiente expresión para  $V_2$ .

$$V_2 \geq \frac{\alpha}{2} \begin{bmatrix} \|\dot{q}\| \\ \|\tilde{q}\| \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} \frac{\lambda_m\{M\}}{\alpha} & -\lambda_M\{M\} \\ -\lambda_M\{M\} & \lambda_m\{k_v\} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \|\dot{q}\| \\ \|\tilde{q}\| \end{bmatrix}$$

la cual será definida positiva si

$$\frac{\lambda_m\{M\} \lambda_m\{k_v\}}{\lambda_M^2\{M\}} > \alpha. \quad (16)$$

$V_3$  es definida positiva en  $z$  debido a (6), esto es porque  $k_i$  es elegida de forma diagonal y definida positiva. La función candidata de Lyapunov será definida positiva globalmente bajo la condición

$$\lambda_m\{k_p\} > k_g \quad (17)$$

con  $\alpha$  seleccionado de tal forma para satisfacer

$$\frac{\lambda_m\{M\} \lambda_m\{k_v\}}{\lambda_M^2\{M\}} > \alpha > \frac{\lambda_M\{k_i\}}{\lambda_m\{k_p\} - k_g}. \quad (18)$$

Derivando la función candidata de Lyapunov se obtiene

$$\begin{aligned} \dot{V}(\tilde{q}, \dot{q}, z) = & \dot{q}^T \{k'_p \tilde{q} - k_v \dot{q} - C(q, \dot{q}) \dot{q} - g(q) + k'_i z + g(qd)\} \\ & + \frac{1}{2} \dot{q}^T M(q) \dot{q} - \dot{q}^T k'_p \tilde{q} \\ & - \alpha \tilde{q}^T \{k'_p \tilde{q} - k_v \dot{q} - C(q, \dot{q}) \dot{q} - g(q) + k'_i z + g(qd)\} \\ & - \alpha \tilde{q}^T \dot{M}(q) \dot{q} + \alpha \dot{q}^T M(q) \dot{q} + g(q)^T \dot{q} \\ & - g(q_d)^T \dot{q} + z^T k'_i \dot{z} - \alpha \tilde{q}^T k_v \dot{q} \end{aligned}$$

Eliminando términos para simplificar la función ahora en términos de  $k_p$  se obtiene

$$\begin{aligned} \dot{V}(\tilde{q}, \dot{q}, z) = & -\dot{q}^T k_v \dot{q} - \alpha \tilde{q}^T C(q, \dot{q})^T \dot{q} - \alpha \tilde{q}^T \left[ k_p - \frac{k_i}{\alpha} \right] \tilde{q} \\ & - \alpha \tilde{q}^T [g(q_d) - g(q)]. \end{aligned}$$

Empleando las siguientes cotas

$$\begin{aligned} -\dot{q}^T k_v \dot{q} &\leq -\lambda_m\{k_v\} \|\dot{q}\|^2 \\ \alpha \dot{q}^T M(q) \dot{q} &\leq \alpha \lambda_M\{M\} \|\dot{q}\|^2 \\ -\alpha \tilde{q}^T C(q, \dot{q})^T \dot{q} &\leq \alpha k_c \|\tilde{q}\| \|\dot{q}\|^2 \\ -\alpha \tilde{q}^T k_p \tilde{q} &\leq -\alpha \lambda_m\{k_p\} \|\tilde{q}\|^2 \\ -\alpha \tilde{q}^T [g(q_d) - g(q)] &\leq \alpha k_g \|\tilde{q}\|^2 \\ \tilde{q}^T k_i \tilde{q} &\leq \lambda_M\{k_i\} \|\tilde{q}\|^2 \end{aligned}$$

con lo que se llega a:

$$\begin{aligned} \dot{V}(\tilde{q}, \dot{q}, z) &\leq -[\lambda_m\{k_v\} - \alpha \lambda_M\{M\} - \alpha k_c \|\tilde{q}\|] \|\dot{q}\|^2 \\ &\quad - [\alpha \lambda_m\{k_p\} - \alpha k_g - \lambda_M\{k_i\}] \|\tilde{q}\|^2 \quad (19) \end{aligned}$$

Procedemos a definir  $\eta$  como el radio de una bola abierta

$$D = \{x := [\tilde{q}^T \quad \dot{q}^T \quad z^T]^T \in \mathbb{R}^{3n}: \|x\| < \eta\}$$

tal que  $\dot{V}(\tilde{q}, \dot{q}, z) \leq 0$  en  $D$ . Esto nos servirá para estimar la región de atracción.

La derivada de la función de Lyapunov será negativa semidefinida si se encuentran condiciones sobre  $\alpha$  en términos del radio  $\eta$  de la expresión siguiente:

$$\dot{V}(\tilde{q}, \dot{q}, z) \leq -\alpha \begin{bmatrix} \|\dot{q}\| \\ \|\tilde{q}\| \end{bmatrix}^T Q \begin{bmatrix} \|\dot{q}\| \\ \|\tilde{q}\| \end{bmatrix}$$

donde

$$Q = \begin{bmatrix} \frac{\lambda_M\{k_v\}}{\alpha} - \lambda_M\{M\} - k_c \eta & 0 \\ 0 & \lambda_m\{k_p\} - k_g - \frac{\lambda_M\{k_i\}}{\alpha} \end{bmatrix}.$$

Las siguientes condiciones permiten asegurar que  $\dot{V}(\tilde{q}, \dot{q}, z)$  sea definida negativa en la región  $D \subset \mathbb{R}^{3n}$ :

$$\lambda_M\{k_v\} > \alpha [\lambda_M\{M\} + k_c \eta] \quad (21)$$

$$\lambda_m\{k_p\} > k_g + \frac{\lambda_M\{k_i\}}{\alpha} \quad (22)$$

$\alpha$  debe satisfacer

$$\frac{\lambda_M\{k_v\}}{\lambda_M\{M\}+k_c\eta} > \alpha > \frac{\lambda_M\{k_i\}}{\lambda_M\{k_p\}-k_g} \quad (23)$$

Eligiendo  $\alpha$  al que satisfaga (23) se garantiza que  $\dot{V}(\tilde{q}, \dot{q}, z)$  sea una función semidefinida negativa en una bola  $D$  de radio  $\eta$ . Ahora haciendo uso del principio de invarianza de LaSalle se puede probar la estabilidad asintótica del origen del espacio de estado con una estimación de la región de atracción. Para estimar de forma simple el dominio de atracción  $\Omega_c \subset D$  es proporcionado por el conjunto [14]:

$$\Omega_c = \left\{ x \in \mathbb{R}^{3n}: V(x) < c = \min_{\|x\|=\eta} V(x) \right\}$$

El tamaño de la región de atracción depende del radio  $\eta$  de la región  $D$ .

En resumen las condiciones que necesitan ser satisfechas simultáneamente por la constante  $\alpha$  para que  $V(\tilde{q}, \dot{q}, z) > 0$  globalmente y  $\dot{V}(\tilde{q}, \dot{q}, z) \leq 0$  en una región  $D \subset \mathbb{R}^{3n}$  son:

$$\min \left\{ \frac{\lambda_m\{M\}\lambda_m\{k_v\}}{\lambda_M^2\{M\}}, \frac{\lambda_m\{k_v\}}{\lambda_M\{M\} + k_c\eta} \right\} > \alpha > \frac{\lambda_M\{k_i\}}{\lambda_M\{k_p\} - k_g}$$

Además  $k_p$  debe satisfacer

$$\lambda_m\{k_p\} > k_g.$$

### III. RESULTADOS

Para verificar la correcta aplicación del regulador PID clásico a un robot manipulador de dos grados de libertad, se realizaron una serie de simulaciones considerando los parámetros del robot experimental. Los parámetros de sintonización considerados se encuentran en [17].

En la Figura 4 se muestra las gráficas de posición para los eslabones del manipulador. Se consideró establecer una posición deseada de 90 grados para el eslabón 1 y de 45 grados para el eslabón 2. Puede observarse que dichas referencias son alcanzadas en un tiempo de 3 segundos aproximadamente, siendo un buen resultado de regulación.

A su vez, en la Figura 5 se puede observar que los errores de posición tienden a cero grados en un corto periodo de tiempo, por lo cual el sistema se comporta de forma óptima ante la tarea asignada de alcanzar una posición predeterminada,

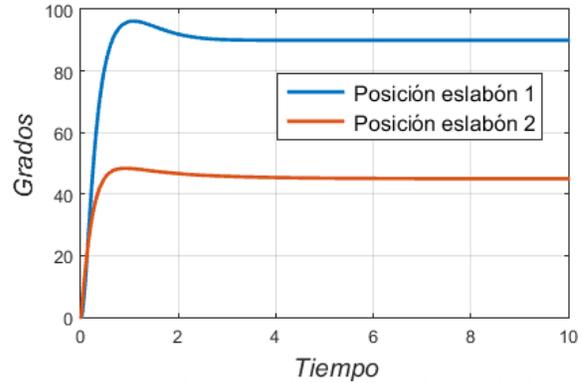


Figura 4. Posiciones angulares de los eslabones del robot

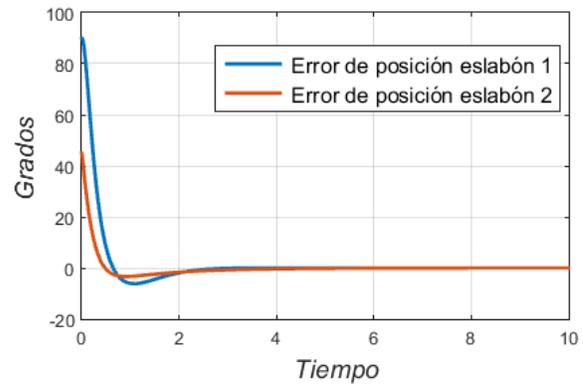


Figura 5. Errores de posición de los eslabones del robot

Es importante recordar que el motor del eslabón 1 es capaz de suministrar un par de 200 Nm y el motor del eslabón 2 solo 15 Nm, por lo cual estos serán los torques límites que pueden ser aplicados. En la Figura 6 se muestra la gráfica con los pares aplicados a los eslabones, donde se puede observar que estos valores están dentro del rango.

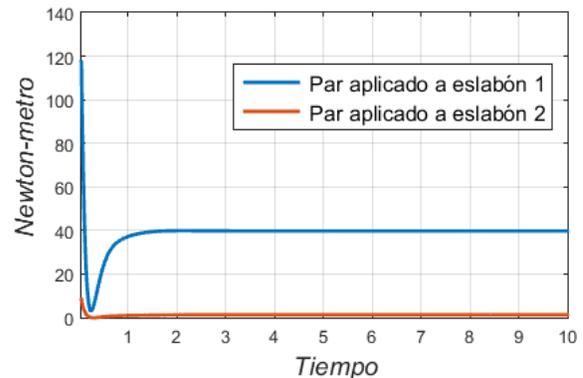


Figura 6. Pares aplicados a los eslabones del robot

El análisis de estabilidad presentado en este trabajo ha permitido comprobar la siguiente proposición.

**Proposición 1.** Considere la ley de control PID lineal (3) en lazo cerrado con la dinámica del robot (1), bajo la condición de que  $\lambda_m\{k_p\} > k_g$ , existirán adecuadas matrices de ganancias proporcional  $k_p$ , derivativa  $k_v$  e integral  $k_i$  tal que el equilibrio  $[\tilde{q}^T \ \dot{q}^T \ z^T]^T = 0 \in \mathbb{R}^{3n}$  del sistema en lazo cerrado (13) es semiglobal y asintóticamente estable, en el sentido de que el estimado del dominio de atracción dado por

$$\Omega_c = \left\{ x \in \mathbb{R}^{3n} : V(x) < c = \min_{\|x\|=\eta} V(x) \right\}$$

Puede ser arbitrariamente agrandado con una adecuada selección de las ganancias del controlador. Una función de Lyapunov para probarlo está dada por:

$$\begin{aligned} V(\tilde{q}, \dot{q}, z) = & \frac{1}{2} \dot{q}^T M(q) \dot{q} + \frac{1}{2} \tilde{q}^T k'_p \tilde{q} + \mathcal{U}(q) \\ & - \mathcal{U}(q_d) + g(q_d)^T \tilde{q} - \alpha \tilde{q}^T M(q) \dot{q} \\ & + \frac{1}{2} z^T k'_i z + \frac{\alpha}{2} \tilde{q}^T k_v \tilde{q}. \end{aligned}$$

### CONCLUSIONES

En este artículo se presenta un enfoque simplificado para probar estabilidad asintótica semiglobal del regulador PID para robots manipuladores. Dicho enfoque fue inspirado en base a la interpretación de la teoría de pasividad [4], [6] y la teoría de Lyapunov [2]. La función de Lyapunov propuesta para el análisis de estabilidad es una combinación de funciones de Lyapunov utilizadas en [4] y [2]. Además fueron realizadas simulaciones para soportar los resultados obtenidos teóricamente.

### REFERENCIAS

[1] J.T. Wen y S. Murphy (1990). "PID control for robot manipulators", CIRSSSE Document 54, Rensselaer Polytechnic Institute.

[2] R. Kelly (1995). "A Tuning procedure for stable PID control of robot manipulators", *Robotica*, Vol. 13, Part 2, pp. 141 - 148.

[3] S. Arimoto and F. Miyazaki (1984), "Stability and robustness of PID feedback control for robot manipulators of sensory capability", (M. Brady and R.P. Paul, Eds.), The MIT Press, Cambridge, Mass., pp. 783- 799.

[4] R. Ortega, A. Lorfa, P. Nicklasson y H. Sira-Ramirez (1998). "Passivity- based Control of Euler—Lagrange systems", Springer—Verlag.

[5] Spong M. and M. Vidyasagar (1989). *Robot Dynamics and Control*, John Wiley and Sons,

[6] S. Arimoto, T. Naniwa, V. Parra Vega y L.L. Whitcomb (1994). "A quasi—natural potential and its role in design of hyper—stable PID servo—loop for robotic systems", *Proceedings of the CAI Pacific Symposium '94*, Hong Kong.

[7] S. Arimoto (1995). "Fundamental problems of robot control: Part I, Innovations in the realm of robot servo—loops", *Robotica*, Vol. 13, pp. 19-27.

[8] R. Kelly (2008). "Global positioning of robot manipulators via PD control plus a class of nonlinear integral actions", *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol 43.

[9] R. Kelly (2013). "Comments on "Adaptive PD controller for robot manipulator" ", *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, Vol. 9, No.1, 117-119.

[10] Koditschek D (1984). "Natural motion for robot arms", *Proc. IEEE Conference on Decision and Control*, Las Vegas, NV, 733-735.

[11] Kelly R. (1997). "PD Control with Desired Gravity Compensation of Robotic Manipulators: A Review ". *The International Journal of Robotics Research*, vol. 16, No.5, pp.660 – 672.

[12] V. Santibañez y R. Kelly (1998). "A Class of Nonlinear PID global Regulators for robot manipulators", *IEEE Conference on Robotics and Automation*, Leuven Belgiu.

[13] Jose Alvares R. y Cervantes (1997). "Semiglobal PID Positioning of Robot manipulators", *ler. Congreso de Robótica de la Asociación Mexicana de Robótica, A.C.*

[14] H. Khalil (1996). "Nonlinear Systems", Prentice Hall.

[15] R. Ortega, A. Loria y R. Kelly (1995). "A semiglobally stable output feedback PID regulator for robot manipulators", *IEEE Trans. on Automatic Control*, Vol. 40, No. 8, 1432-1436.

[16] J. Luis Meza y V. Santibañez (2009). "Analysis via passivity theory of a class of nonlinear PID global regulators for robot manipulators", *Proceeding of the TASTED International Conference, Robotics and Applications RA'99*, Santa Barbara, California. U.S.A. pp 288-293.

[17] J. Luis Meza y V. Santibañez (2003). "Sintonización del regulador PID semiglobal para robots manipuladores", *SIIEE 2003 Simposium Internacional de Ingeniería Eléctrica y Electrónica 2003*, Torreon, Coahuila, México.

### BIOGRAFÍA

**Nava Bustamante Mario Ivan.** Nació en la ciudad de Gómez Palacio, Durango, el 18 de Enero de 1995. Obtuvo el grado de Ingeniero Electromecánico con especialidad en Automatización en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo en Diciembre de 2017. Actualmente se encuentra realizando sus estudios de Maestría en Ciencias en Ingeniería Eléctrica en el Tecnológico Nacional de México campus La Laguna, en la línea de investigación de Mecatrónica y Control.

Cuenta con experiencia en la automatización y control de líneas de producción industriales. Sus áreas de interés son el control de robots y sistemas mecatrónicos y electromecánicos, automatización, instrumentación industrial y análisis matemáticos.

**José Luis Meza Medina.** Nació en la ciudad de Torreón, Coahuila. Obtuvo el grado de Ingeniero Electrónico con especialidad en Automatización en el Instituto Tecnológico de La Laguna. Cuenta con Posdoctorado en Ingeniería Eléctrica como máximo grado de estudios. Actualmente se desempeña como Profesor Investigador de tiempo completo en la División de Estudios de Posgrado e Investigación en el Tecnológico Nacional de México campus La Laguna.

Sus áreas de interés son el control de robots, análisis de estabilidad y teoría de Mecatrónica y Control.



# Robot solucionador de laberintos usando procesamiento digital de imágenes

J. Sifuentes-Mijares<sup>\*1</sup>, F. H. Hiram Brahim<sup>1</sup>, J. E. Márquez Acosta<sup>1</sup>, J. L. Santillán Ávila<sup>1</sup>.

**Resumen**— Un problema fundamental en los robots móviles es la determinación de trayectorias, es decir, establecer el camino por dónde el robot debe moverse. También lo es, el buscar el camino más óptimo para ir de un punto a otro, evitando obstáculos. El objetivo de este artículo es la realización práctica de un sistema de control por visión de un robot móvil que ponga a prueba dos aspectos: el uso del procesamiento digital de imágenes como una alternativa para la definición de trayectorias en robots móviles y el uso de uno de los algoritmos de la teoría de grafos para la determinación del camino más corto al objetivo. El sistema presentado es un robot móvil con ruedas capaz de seguir una trayectoria calculada; la cual es la solución de un laberinto. Esta solución se calcula a partir de una imagen tomada por una cámara, la cual está colocada en la parte superior de un laberinto. La imagen es procesada en Matlab para encontrar la solución del laberinto. En la determinación de la trayectoria se usa un algoritmo llamado "Floodfill", que siempre busca encontrar el camino más corto desde la salida hasta la meta. Finalmente, esta solución es enviada al robot mediante Bluetooth.

**Palabras claves**— Control, Robot móvil, Procesamiento Digital de Imágenes PDI.

**Abstract**— A fundamental problem in mobile robots is the determination of trajectories, in other words, establishing the path where the robot must move. It is also, looking for the most optimal way to go from one point to another, avoiding obstacles. The objective of this article is the practical realization of a vision control system of a mobile robot that tests two aspects: the use of digital image processing as an alternative for the definition of trajectories in mobile robots and the use of one of graph theory algorithms for determining the shortest path to the objective. The presented system is a mobile robot with wheels capable of following a calculated trajectory; which is the solution of a maze. This solution is calculated from an image taken by a camera, which is placed on top of a maze. The image is processed in Matlab to find the solution of the maze. In the determination of the trajectory an algorithm called "Floodfill" is used, which always seeks to find the shortest path from the start to the finish. Finally, this solution is sent to the robot via Bluetooth.

**Keywords**— Control, Mobile robot, Digital Image Processing DIP.

<sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de la Laguna, DIE & DEPI, Boulevard Revolución y Av. Tecnológico de la Laguna, Centro SN, C.P. 27000, Torreón, Coahuila, México.

\* [jsifuentesm@correo.itlalaguna.edu.mx](mailto:jsifuentesm@correo.itlalaguna.edu.mx).

## I. INTRODUCCIÓN

Los robots han ido sustituyendo al hombre en muchas actividades físicas e inclusive intelectuales [1]. Un campo de innovación y desarrollo es el de los automóviles autónomos. Esto se logra usando sensores en el automóvil que detectan obstáculos. Apoyado de la fotografía satelital es posible monitorear el tráfico en tiempo real, decirle al automóvil como evitar algún obstáculo y más importante, indicarle al vehículo cual es el camino más óptimo para llegar a su destino.

El desarrollo de robots móviles, responde a la necesidad de extender el campo de aplicación de la robótica, algunos trabajos relacionados son los siguientes: En el 2019 Kovacs et al. presentaron un trabajo en el "International Conference on Engineering of Modern Electric Systems (EMES)", sobre un robot móvil autónomo que resuelve un laberinto usando inteligencia artificial, empleando el método de la mano izquierda y la de callejón sin salida [2]. En el 2019 T. Ribeiro et al. presentaron un trabajo sobre la simulación de un sistema de robot móvil "ROLL ONE" en un laberinto utilizando aprendizaje Q por refuerzo para lograr resolver el laberinto [3]. I. Iturrate et al. en el 2013 presentan una plataforma pedagógica basada en lo que ellos llaman juegos serios, en donde les dan a los estudiantes la posibilidad de conectarse remotamente con un robot, que está dentro de un laberinto, para la búsqueda de respuestas y pregunta. La plataforma les permite manejar o construir programas basados en bloques gráficos evitando así la difícil tarea de aprender la sintaxis de programación [4]. B. Rahnama et al. en el 2013 presentan un trabajo de robots multi agentes trabajando en forma cooperativa sobre un laberinto desconocido para investigar su estructura. Utiliza también el algoritmo Floodfill y Floodfill modificado y un algoritmo de semántica lógica ALCK\_EF para resolver el laberinto [5]. En el 2012 el trabajo presentado por B. Rahnama et al. es un algoritmo que evita obstáculos y resuelve laberintos, utilizando para esto procesamiento digital de imágenes, antes de dar comienzo con los movimientos se tiene ya la ruta trazada de todo el mapa [6]. V. Aggarwalet al. en el 2013 presentan dos algoritmos un primero Floodfill y un segundo Floodfill con vista adelante, aplicados a un robot móvil tipo mouse, en donde se hacen las comparaciones entre los dos algoritmos [7].

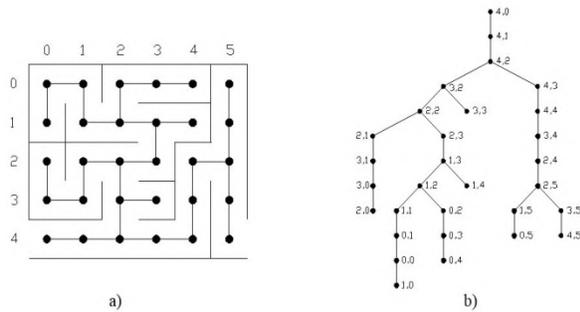


Figura. 2.1. Teoría de grafos para la solución de un laberinto.

El poder determinar cuál es el camino más corto, para un automóvil o para un robot móvil, tiene mucha importancia en la mayoría de las aplicaciones; Ya que implica llegar en menos tiempo al objetivo y no necesariamente, pero si en una gran parte de los casos, con un gasto menor de la energía consumida por el sistema.

La solución de laberintos es un problema común en el campo de los sistemas computacionales. Debido a que existen en la literatura el diseño de muy diversos algoritmos de solución [2]-[7]. Sin embargo, en la mayoría de los casos solo se encuentra la solución del laberinto, no se llega a la implementación. En este sistema presentado, la solución tiene una aplicación; se envían los resultados traducidos en instrucciones a un robot móvil con ruedas para que este las ejecute y así pueda salir del laberinto.

En la segunda parte se hablará sobre el algoritmo usado para la solución del laberinto. En la tercera se muestran las especificaciones del laberinto y del robot, construidos para este proyecto. En la cuarta sección se mencionan los detalles de la comunicación implementada entre Matlab y el robot y en la quinta se muestran los resultados. En la sección seis se dan las conclusiones.

## II. ALGORITMO SOLUCIONADOR DE LABERINTOS

La forma tradicional de resolver un laberinto y que se usa desde que éramos niños es mediante prueba y error. Simplemente se avanza hasta donde se puede y si no hay más camino que seguir, se retorna hasta un camino que no haya sido explorado.

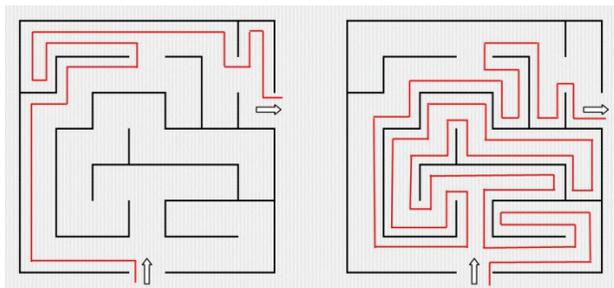


Figura. 2.2. Regla de la mano izquierda y derecha para un laberinto.

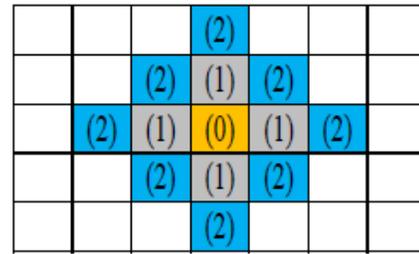


Figura. 2.3. Algoritmo Floodfill.

Actualmente existen muchos algoritmos para encontrar la solución de un laberinto. Algunos de estos un poco complicados, basados en la teoría de grafos, que consiste en tratar al laberinto como una serie de nodos conectados entre sí, ver Figura 2.1. Otros algoritmos son muy simples, como el de la regla de la mano derecha o izquierda, Figura 2.2, donde simplemente se avanza siguiendo una pared del laberinto (izquierda o derecha) hasta salir del laberinto.

En la teoría de grafos existen varios algoritmos que pueden resolver un laberinto tales como [8]:

- Breadth First Search (BFS)
- Depth First Search (DFS)
- Dijkstra
- A\*

El algoritmo usado en este artículo es el llamado "Floodfill", o algoritmo de relleno por difusión. Es un algoritmo que determina el área formada por elementos contiguos en una matriz multidimensional. Se usa en la herramienta "Bote de pintura" de programas de dibujo y en juegos como el Buscaminas.

Aplicado al laberinto este algoritmo ayuda a asignarle un costo a cada espacio del laberinto. Este costo es definido por "cuantos pasos se tienen que dar de la casilla actual para llegar al final del laberinto". La Figura. 2.3. muestra el funcionamiento del algoritmo. Donde se puede ver como a los elementos que rodean al centro se les asigna un 1 porque cuesta un paso llegar de ellos al centro, a los alrededores de 1 se les asigna un 2 y así sucesivamente.

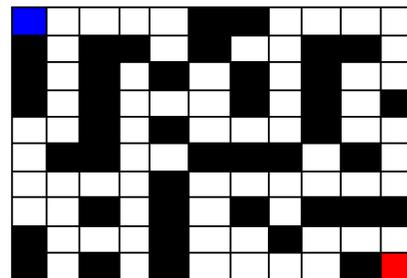


Figura. 2.4. Ejemplo del tipo de laberintos resueltos en este artículo.

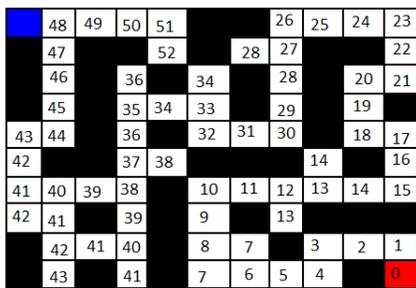


Figura. 2.5. Algoritmo Floodfill aplicado a la Figura 2.4.

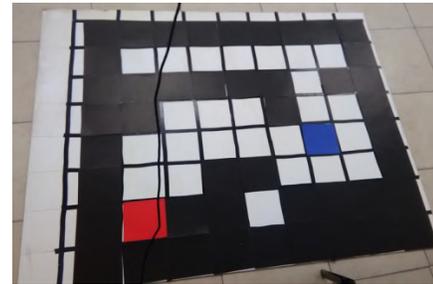


Figura. 3.1. Laberinto real usado para la realización de pruebas.

El tipo de laberintos que se va a resolver son como los de la Figura 2.4. Donde la casilla azul indica el inicio y la roja el fin. El robot tiene permitido trasladarse por las casillas blancas y tiene prohibido las casillas negras. Y aplicando el algoritmo Floodfill a la Figura 2.4 se tiene como resultado la Figura 2.5. Una vez que se ha aplicado y se han “etiquetado” a todas las casillas del laberinto resta encontrar el camino más corto para llegar a la salida. Para esto se posiciona en la casilla de inicio (azul) y se pregunta: ¿Cuál de los vecinos tiene un menor costo para llegar a la salida?, de lo observado, se mueve a la casilla de menor costo y se hace otra vez la misma pregunta, recordando que solo es posible el movimiento sobre las casillas blancas. Así sucesivamente hasta que se encuentra la salida.

Algo importante es destacar que habrá situaciones en las que el costo de dos o más vecinos sea el mismo, es decir que costaría lo mismo moverse a una casilla o a otra, por lo que se podría decir que se tiene más de una solución para el camino más corto. Una forma de solucionar este problema sería escoger la casilla que provocaría en el robot un movimiento recto, ya que el hacer girar el robot cuesta más tiempo que simplemente moverse hacia adelante, ver Figura. 2.6a. En el caso de este proyecto no se realizó esta convención. El algoritmo aplicado elegiría cualquiera de las casillas con el mismo costo siguiendo la siguiente prioridad: arriba, derecha, abajo, izquierda, ver Figura 2.6b.

La siguiente Figura 2.6 muestra las dos posibles soluciones discutidas anteriormente.

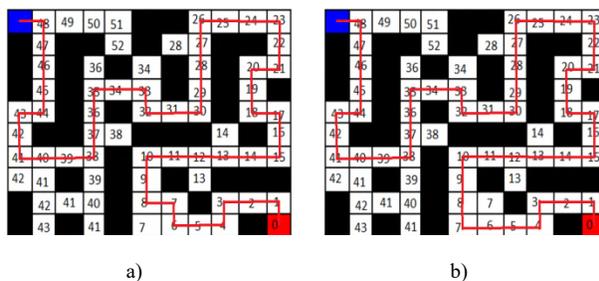


Figura. 2.6. a) Solución óptima, b) Solución de nuestro algoritmo.

### III. DISEÑO DEL LABERINTO Y DEL ROBOT

#### A. El laberinto

El laberinto real construido para las pruebas del algoritmo es muy parecido al de la Figura 2.4, salvo algunas diferencias, observar en la Figura. 3.1, el real.

A continuación, se muestran algunas especificaciones

- El laberinto mide 135cmx120cm.
- Es de dimensión 9x8 cuadros.
- Cada cuadro tiene como medidas 15cmx15cm.
- El cuadro azul es el cuadro donde inicia el robot.
- El robot puede trasladarse sobre los cuadros blancos.
- Los cuadros negros son inaccesibles para el robot.
- El cuadro rojo indica la salida del laberinto.

El suelo está construido sobre lámina de madera, donde se ha puesto una rejilla de cuadros vacíos. Con el fin de que el laberinto pueda modificarse se cuenta con cuadros negros removibles, usados para rellenar y darle la forma deseada.

#### B. El robot

El robot usado para la solución del laberinto es un robot móvil con dos ruedas actuadas y dos llantas de giro libre, llamadas ruedas locas, ver Figura 3.2. Algunas de las especificaciones del robot se mencionan a continuación:

- Cuenta con un microcontrolador Arduino Nano.
- Dos motoreductores de CD de 5V.
- Módulo de puente H L298.
- Modulo Bluetooth HC-05.
- Giroscopio MPU 6050.
- Sensor infrarrojo.
- Batería de 5V.

Este robot fue diseñado para tener un tamaño adecuado como para caber dentro de los cuadros del laberinto y poder girar sobre ellos. El puente H ayuda para los cambios de dirección del robot, ya que este logra que las llantas puedan girar en ambos sentidos. El modulo Bluetooth es el encargado de entablar comunicación entre Matlab y el robot.

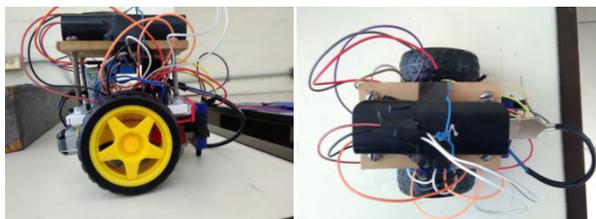


Figura 3.2. El robot móvil implementado.

El giroscopio tuvo que ser agregado, ya que en las primeras pruebas que se realizaron, el robot no avanzaba en línea recta, sino que se desviaba poco a poco. Con el giroscopio se resolvió este problema usando un control tipo proporcional, y que también es requerido en el momento de girar el robot un ángulo de 90 grados, Figura 3.3.

El sensor infrarrojo tiene la función de indicarle al robot cuando ya paso de un cuadro a otro, ver Figura. 3.3. Por último, la batería, que se encuentra en la parte superior del robot, se encarga de alimentar todos los circuitos anteriores.

C. Cámara

La cámara que se usó fue la Logitech Webcam HD Pro C920 que cuenta con una resolución máxima de 1920x1080px, ver Figura. 3.4. Para esta aplicación se usó una resolución mucho más baja: 320x240px. Esto con el fin de que no se tengan que procesar tantos datos y se mejore la velocidad con la que funciona el programa. Además de que no es necesaria una gran resolución de la imagen para aplicar el algoritmo de solución. La cámara se encuentra ubicada, aproximadamente a 1.8 metros, por encima del laberinto.

IV. COMUNICACIÓN ENTRE MATLAB Y ROBOT

Algo importante por mencionar es el cómo se le manda la solución desde Matlab hacia el robot: El algoritmo de solución devuelve como resultado los movimientos que se tienen que dar desde la casilla de inicio para llegar a la solución. Estos movimientos son dados de la forma arriba, abajo, izquierda, derecha. Hay que aclarar que los movimientos son considerados respecto al marco de referencia fijo de la cámara.

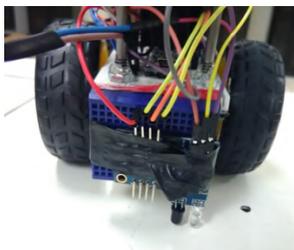


Figura. 3.3. Giroscopio y sensor infrarrojo en el robot.



Figura 3.4. Logitech Webcam HD Pro C920

Por ejemplo, la solución al laberinto de la Figura 3.1, es dada por la siguiente serie de movimientos: izquierda, izquierda, izquierda, abajo, izquierda, abajo. Estos movimientos, son codificados y son transmitidos al arduino, vía Bluetooth, como caracteres ASCII. Siendo ‘U’ para el movimiento hacia arriba, ‘D’ hacia abajo, ‘L’ hacia izquierda y ‘R’ hacia derecha.

Es importante mencionar que el marco de referencia del robot no se encuentra fijo como el de la cámara. Así que, en ocasiones un comando izquierda puede significar cosas diferentes para el robot, como por ejemplo: puede suceder que el carro se mueva de frente ante una instrucción de izquierda, esto ocurre si es que este ya se encuentra orientado a la izquierda, o puede significar girar si se encuentra en la dirección arriba. Entonces para solucionar esto; lo que se hace es preguntar por el movimiento presente y por el movimiento siguiente. Por ejemplo, si el movimiento presente es derecha y el movimiento siguiente es también derecha, el robot resuelve que esto es moverse en línea recta. Otro ejemplo sería que el movimiento presente es derecha y el movimiento siguiente es arriba. Lo que el robot lo interpreta como girar hacia la izquierda.

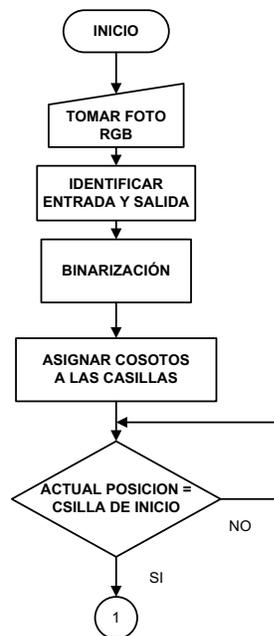


Figura. 3.5. Diagrama del programa de PDI, parte 1.

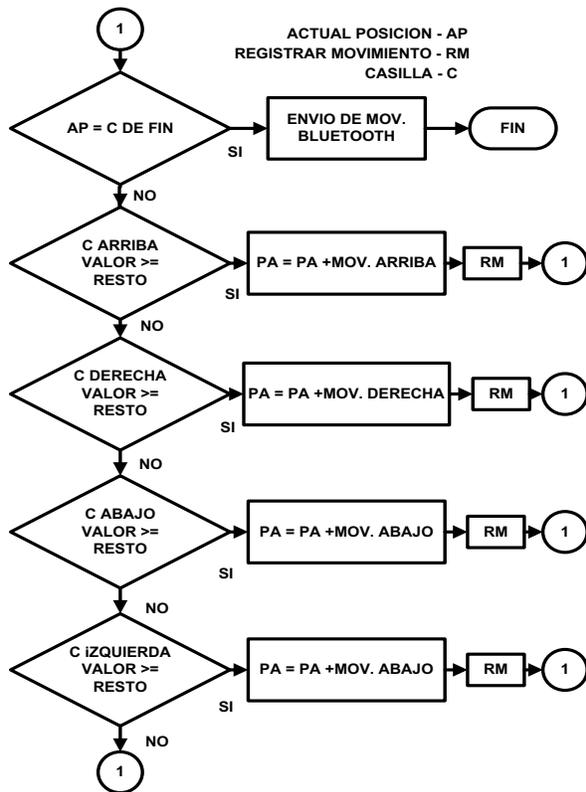


Figura. 3.6. Diagrama del programa de PDI, parte 2.

Un diagrama de flujo del programa implementado en el Matlab es mostrado en la Figura 5 y Figura 6. Este programa primero realiza un PDI para determinar la ubicación de casillas blancas y negras en el Laberinto, siendo las blancas por donde puede moverse el robot. Después se aplica el algoritmo Floodfill asignando costos a estas casillas. En la segunda sección del programa, el algoritmo comienza a generar los movimientos para el robot haciendo la toma de decisiones en base a los costos asignado, la posición y orientación del robot móvil. El robot móvil se detiene al llegar a la casilla roja, que es el objetivo.

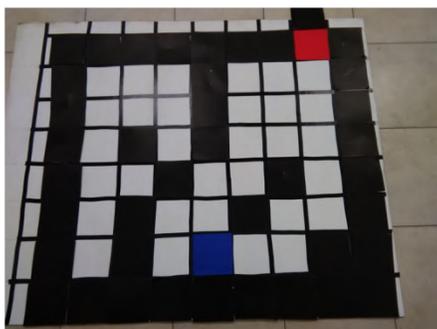


Figura. 5.1. Laberinto a resolver del ejemplo 1.

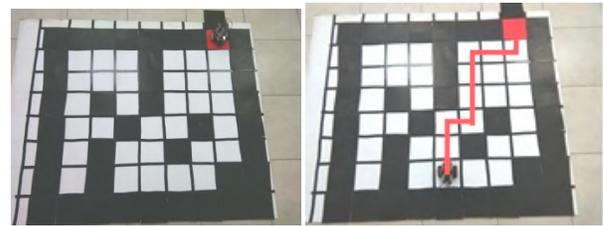


Figura. 5.2. Solución al laberinto del ejemplo 1 ejecutada por el robot.

## V. RESULTADOS

Como parte de los resultados se muestran dos ejemplos de laberintos resueltos por el sistema implementado, con el fin de ejemplificar como es que el que el algoritmo y los movimientos del robot funcionan.

### Ejemplo 1

Se resolverá el laberinto mostrado en la Figura 5.1.

El algoritmo implementado en Matlab proporciona como resultado, los siguientes movimientos: arriba, arriba, derecha, arriba, arriba, arriba, derecha, derecha, arriba. Como solución el robot se movió en el sentido y dirección que se muestra en la Figura 5.2. Algo que hay que destacar es que en el ejemplo 1 existen más de una solución y el algoritmo implantado resolvió la del camino más corto.

### Ejemplo 2

Se resolverá el laberinto mostrado en la Figura 5.3

El algoritmo implementado en Matlab proporciona como resultado, los siguientes movimientos: arriba, arriba, derecha, derecha, abajo, abajo. Como solución el robot sigue la trayectoria de la Figura 5.4. En el ejemplo 2 solo existe una única soluciónal camino más corto y el algoritmo utilizado resolvió utilizar esta. Los movimientos del robot resultan ser algo lentos debido a la forma en que fue diseñado. Además de estos dos ejemplos se realizaron más pruebas donde los resultados también fueron correctos comportándose el sistema de la manera deseada.

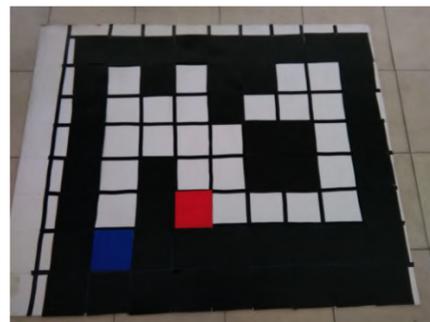


Figura. 5.3. Laberinto a resolver del ejemplo 2.

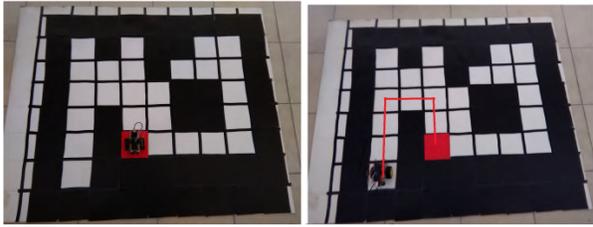


Figura. 5.4. Solución al laberinto del ejemplo 2 ejecutada por el robot

El análisis que llevó a la implementación de teoría de grafos en robots móviles fue satisfactorio, dado que los resultados fueron óptimos y a su vez dando apertura a nuevas variables que no se tenían previstas desde el inicio. A partir del conjunto de nodos, vértices o puntos, además del conjunto de aristas y líneas se logró desarrollar el modelado de un laberinto controlado para la obtención de la ruta más corta con propósito de dirigir el robot de un punto a otro. Este análisis se vuelve de suma importancia, por la oportunidad de analizar este sistema aplicando técnicas de procesamiento digital de imágenes y reconocimiento de patrones, proyectando una idea para el desarrollo de automóviles autómatas e incluso el mapeo de cualquier superficie, para llevar al punto más óptimo de la orientación de un objeto siendo autónomo.

## VI. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se llevó a cabo la aplicación de un sistema que tenía como objetivo resaltar dos aspectos: por un lado la utilidad de sensores externos de visión para la obtención de información útil para robots móviles, en este caso encontrar la solución de un laberinto, que puede traducirse en identificar el camino más óptimo hacia un objetivo evadiendo obstáculos, mientras que por otro lado el uso de algoritmos de teoría de grafos como una alternativa para la definición de trayectorias en robots móviles.

Los resultados obtenidos fueron satisfactorios en los que siempre se encontraba el camino más corto a la salida del laberinto en cuanto a número de movimientos y el robot llegaba a su objetivo, con excepción en casos muy particulares, como lo son situaciones con poca luminosidad, donde la información obtenida por la cámara presenta errores que afectan el funcionamiento correcto del sistema dando soluciones erróneas al laberinto.

Otro detalle a resaltar es que en este artículo solo se trabajó con uno de los algoritmos de la teoría de grafos, lo que deja lugar a otras investigaciones donde se utilicen más algoritmos y se pueda hacer una comparativas entre estos e inclusive añadiendo más variables como lo es el tiempo en el que el robot sales del laberinto.

En cuanto al diseño del robot, no estuvo exento de problemas, en varias ocasiones hubo que rediseñarlo para que su tamaño fuera el adecuado al laberinto o para que sus movimientos fueran más precisos, con la adición del giroscopio.

## VII. REFERENCIAS

- [1] A. Ollero (2001), *Robótica: Manipuladores y robots móviles*, Barcelona España, Ed. MARCOMBO, p. 1
- [2] Kovacs et al (2019), "Autonomous Line Maze Solver Using Artificial Intelligence", *International Conference on Engineering of Modern Electric Systems (EMES)*, Oradea, Romania, pp 133-136.
- [3] T. Ribeiro et al. (2019), "Q-Learning for Autonomous Mobile Robot Obstacle Avoidance", *International Conference on Autonomous Robot Systems and Competitions (ICARSC)*, pp 1-7.
- [4] I. Iturrate et al. (2013), "A Mobile Robot Platform for Open Learning based on Serious Games and Remote Laboratories", *1st International Conference of the Portuguese Society for Engineering Education (CISPPE)*, pp. 1-7.
- [5] B. Rahnama et al. (2013), "Design and Implementation of Cooperative Labyrinth Discovery Algorithms in Multi-Agent Environment", *The International Conference on Technological Advances in Electrical, Electronics and Computer Engineering (TAECE)*, pp. 573-578.
- [6] B. Rahnama et al. (2012), "An Image Processing Approach to Solve Labyrinth Discovery Robotics Problem", *6th International Conference on Computer Software and Applications Workshops*, pp. 631- 636.
- [7] V. Aggarwal et al. (2013), "OPTIMIZATION OF FLOOD FILL ALGORITHM USING ITERATIVE LOOK-AHEAD AND DIRECTIONAL TECHNIQUE", *International Journal of Computer Science and Engineering (IJCSE)*, IASET, Vol. 2, Issue 5, Nov 2013, 89-94.
- [8] A. Mohammad (2017), "Intelligent maze solving robot based on image processing and graph theory algorithms", *International Conference on Promising Electronic Technologies*, pp. 48-53, DOI: 10.1109.

## VIII. BIOGRAFÍA



**Santillán Ávila Juan Luis:** Nacido en Gómez Palacio Durango el 27 de Noviembre de 1997, Preparatoria (Técnico en Electrónica) CBTIS 4 C.D Lerdo Durango del 2012 al 2015.

Licenciatura (Ingeniería Electrónica) Instituto Tecnológico de la Laguna Torreón Coahuila del 2016 al 2019. El actualmente estudia una maestría en ingeniería eléctrica en el área de mecatrónica y control en el instituto tecnológico de la laguna que se encuentra en el estado de Coahuila en la ciudad de Torreón. Realizó sus prácticas profesionales en la empresa Industria SIGRAMA como Ingeniero en ensamble.



**Márquez Acosta Jesús Emanuel:** Nacido en Torreón, Coahuila, el 15 de Mayo de 1998. Obtuvo el grado licenciatura en Ingeniería electrónica con especialidad en mecatrónica y control en el Instituto Tecnológico de la Laguna en Torreón, Coahuila, México en el año 2019. Actualmente estudia una maestría en ciencias en ingeniería eléctrica en el área de mecatrónica y control en el Instituto Tecnológico de la Laguna en Torreón, Coahuila, México.



**Fematt Hernandez Hiram Brahim:** Nacido en Anaheim California Orange Country, USA el 18 de Julio de 1997. Preparatoria (Técnico en

Electrónica) CBTIS 4, Cd. Lerdo, Durango del 2012 al 2015. Licenciatura (Ingeniería Electrónica) Instituto Tecnológico de la Laguna Torreón Coahuila del 2015 al 2019. Realizó sus prácticas profesionales en la empresa Automatización Programación y Control como Ingeniero en diseño y programación de sistemas de control para empresas 4.0.



**Sifuentes Mijares, Juan:** Nació en Gómez Palacio Durango, México el 5 de Agosto de 1968. Es Ingeniero Industrial en Electrónica por el Instituto Tecnológico de la Laguna. Es Maestro en Ciencias de la Ingeniería Eléctrica con especialidad en Control Automático por el Instituto Tecnológico de la Laguna. También es Doctor en Ciencias de la Ingeniería Eléctrica con especialidad en Control Automático por el Instituto Tecnológico de la Laguna. Estuvo en Valencia España realizando estudios de doctorado en Diseño de Sistemas Digitales.

Ha trabajado como profesor, en diferentes escuelas, tales como: La Universidad Iberoamericana IBERO, El Tecnológico Superior de Lerdo, la Universidad Autónoma del Noreste UANE y actualmente se desempeña como profesor investigador del Instituto Tecnológico de la Laguna.

El Dr. Sifuentes-Mijares recibió el premio al mejor artículo de su área, durante el congreso Internacional World Automation Congress, celebrado en la Gran Isla de Hawaii en el 2014.

# Identificación de cáncer de mama en imágenes termográficas mediante redes neuronales convolucionales

Diana Morales-Venegas<sup>1</sup>, Santiago Tello-Mijares<sup>1</sup>.

**Resumen**— Este artículo presenta un método novedoso para la clasificación de imágenes termográficas de mama en normal o anormal (sin o con cáncer) basado en características extraídas de la última capa de una red neuronal convolucional (CNN, Convolutional Neural Networks). El método sobre-segmenta las imágenes termográficas de mama mediante la técnica de superpíxeles. Después de la sobre-segmentación basado en el método de ajuste de niveles (level sets), y mediante un proceso de búsqueda de umbrales del modelo de color HSI se selecciona la temperatura de las áreas de interés en 10 niveles. Las áreas de máscaras obtenidas posteriormente a partir de restricciones de mama a priori son elípticas y cada imagen resultante se usa como entrada para la CNN; para entrenar y probar dicha red para la extracción de características, que es seguida por una técnica de clasificación clásica (respecto a la novedad del aprendizaje profundo). Los resultados de la clasificación, en la etapa final, utilizando el bosque de árboles al azar (TRF, Tree Random Forest) o un perceptrón votado (VTP, Voted Perceptron) incluyen un 100% de sensibilidad (TPR, True Positive Rate) y un 100% de precisión (PPV, Positive Predictive Value) en una validación cruzada doble.

**Palabras claves**— Imágenes termográficas de cáncer de mama, redes neuronales convolucionales, CNN.

**Abstract**— This article presents a novel method for the classification of thermographic images of breast into normal or abnormal (without or with cancer) based on features extracted from the last layer of a convolutional neural network (CNN). The method over-segments the breast thermographic images using the superpixel technique. After the over-segmentation based on the level set method, and through a process of searching for thresholds of the HSI color model, the temperature of the areas of interest in 10 levels is selected. The areas of masks subsequently obtained from a priori breast restrictions are elliptical and each resulting image is used as input for CNN; to train and test said network for the extraction of characteristics, which is followed by a classical classification technique (regarding the novelty of deep learning). The results of the classification, in the final stage, using Tree Random Forest (TRF) or Voted Perceptron (VTP) include a 100% sensitivity (TPR, True Positive Rate) and a 100% accuracy (PPV, Positive Predictive Value) in a double cross validation.

**Keywords**— Thermography breast cancer images, convolutional neural networks, CNN.

## I. INTRODUCCIÓN

El cáncer de mama es el cáncer más frecuente mundialmente entre las mujeres y aproximadamente 2 de cada 5 mujeres a nivel mundial desarrollarán cáncer de mama a lo largo de su vida [1]. Desde 2013, el cáncer de mama se tipificó como la segunda causa de muerte en las mujeres [2]. La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que para el año 2030, se puede esperar un estimado de 27 millones de nuevos casos [3]. Hoy en día, existen diferentes técnicas para llevar a cabo el diagnóstico de esta patología (mamografía, ultrasonido, resonancia magnética, biopsias, y más recientemente la termografía) [4]; siendo la mamografía el método más empleado actualmente, sin embargo, presenta el riesgo de ionización, radiación y la incomodidad de la compresión de senos [5], además de detectar los primeros signos de cáncer de 8 a 10 años después que la termografía [6]. Es importante mencionar que la detección temprana de esta enfermedad juega un papel importante en la reducción de la tasa de mortalidad [6], ya que, si el tumor se detecta antes de alcanzar un tamaño de 10 mm, el paciente tiene una probabilidad del 85% de curación [5].

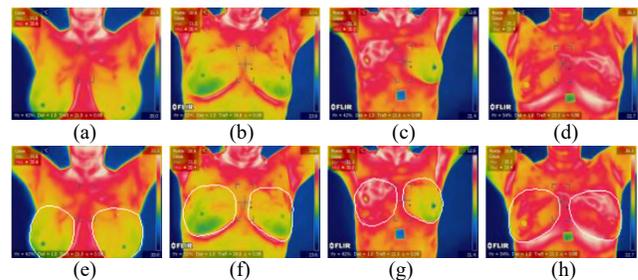


Figura 1: (a-b) Imagen termográfica de senos sin cáncer de mama. (c-d) Imagen termográfica de senos con cáncer mama. (e-h) Datos Ground-Truth.

En los últimos años, ha habido un interés creciente en el análisis de imágenes de termografía [7] para la tarea de detectar el cáncer de mama. Estas técnicas tienen el potencial de aumentar la productividad en el análisis del cáncer de mama y reducir los errores de detección [8]. Este documento se centra en las primeras etapas del análisis de las imágenes de termografía de senos para identificar el cáncer mediante la clasificación en normales (Fig. 1 (a-b)) y anormales (Fig. 1 (c-d)); y en proporcionar área de interés fundamental (Ground-Truth proporcionada por expertos médicos) (Fig. 1 (e-h)).

<sup>1</sup> Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. Av. Tecnológico N° 1555, Periférico Lerdo Km. 14.5, C.P. 35150 Cd Lerdo, Durango. México. \*jtello@itslerdo.edu.mx.

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

En esta sección se describe un método de clasificación de imágenes termográficas de mama para un prediagnóstico temprano de cáncer de mama. La Figura 2 ilustra las etapas del algoritmo de clasificación propuesto, las cuales se detallan en las siguientes subsecciones.

A. Segmentación y selección de las áreas de temperatura de interés

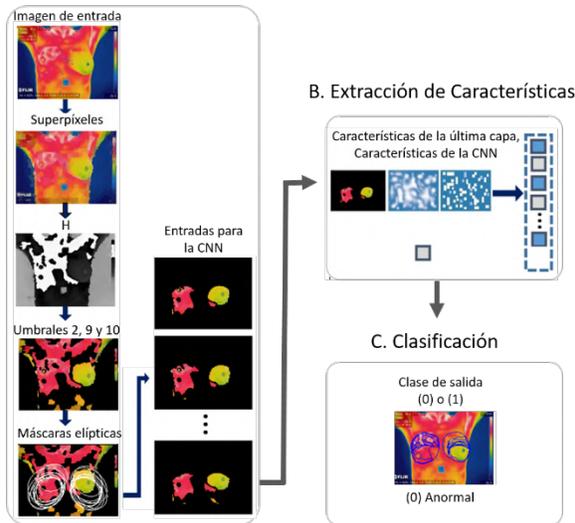


Figura 2: Algoritmo de clasificación propuesto.

A. Segmentación y selección de las áreas de temperaturas de interés

Se realiza un proceso de segmentación y selección para la separación de áreas y temperaturas de interés; el objetivo es aislar las regiones de interés de la imagen termográfica y someter esta parte representativa de las imágenes a una extracción y clasificación de características completas utilizando la CNN.

Se utiliza el algoritmo de superpíxeles [9] para el preprocesamiento y para obtener una imagen sobre-segmentada. La técnica de superpíxeles agrupa a los píxeles en regiones perceptivamente significativas, que pueden usarse para reemplazar la estructura rígida de la cuadrícula de píxeles, es decir realiza el agrupamiento de píxeles con características similares dentro de una imagen y proporciona una manera conveniente de realizar una caracterización focal de parámetros en una imagen digital. Con la sobre-segmentación se propone capturar la redundancia de la imagen, proporcionar una forma primitiva conveniente para calcular las características de la misma y reducir en gran medida la complejidad del procesamiento posterior de la imagen basado en el método de ajuste de nivel (Level-Set). Por lo tanto, superpíxeles permite reducir la imagen inicial de 57,600 píxeles a 1,500 superpíxeles (500 por cada canal de color). Agrupando las regiones de cada superpíxel en base a las características

similares de la temperatura representada, lo cual permite analizar de una mejor manera cada región.

El cáncer de mama ocurre cuando las células de la mama comienzan a crecer fuera de control e invaden los tejidos cercanos [10] lo cual genera un aumento de la temperatura en la superficie del seno. Por medio de esta premisa se separa la imagen sobre-segmentada (Fig. 3b) en 10 niveles de umbral utilizando el tono (H) del modelo de color HSI. Por lo tanto, a partir de la imagen sobre-segmentada en RGB (Fig. 3b) se obtiene el tono H (Fig. 3c).

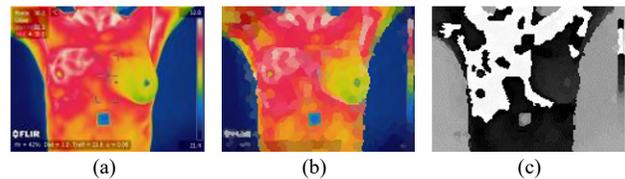


Figura 3: (a) Imagen termográfica original. (b) Imagen termográfica sobre-segmentada con superpíxeles. (c): H (tono) del modelo HSI.

La imagen representativa de H obtenida (Fig. 3c) es separada en diez niveles diferentes. En base al método de ajuste de nivel, obteniendo 10 máscaras mediante 10 niveles de umbrales de H que van desde 1 hasta 0 los cuales se muestran en la Figura 4.

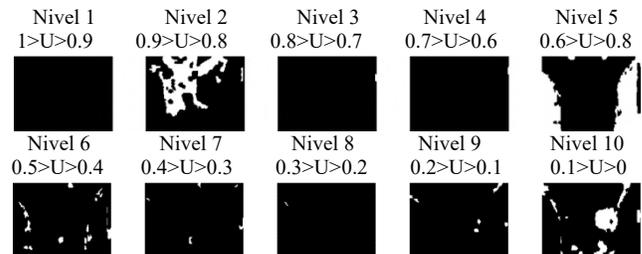


Figura 4: 10 máscaras de umbrales de H.

Las máscaras obtenidas de los niveles de umbrales (Fig. 4) se aplican a la imagen RGB sobre-segmentada (Fig. 3b), obteniendo como resultado los 10 niveles mostrados en la Figura 5. De éstos se seleccionan el nivel 2 (rojo), el nivel 9 (verde) y el nivel 10 (amarillo) para mostrarlos en conjunto, obteniendo como resultado la región de temperaturas de interés mostrada en la Figura 6a, donde dichos colores de interés permiten distinguir entre el tejido mamario normal y el anormal.

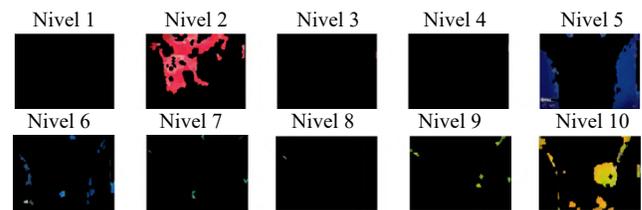


Figura 5: Máscaras de umbrales de H aplicadas a la imagen sobre-segmentada RGB.

Para la selección de las áreas de interés de la temperatura de los senos, se comienza por la observación de que las regiones que pertenecen a un seno deben ser elípticas, también la posición del centro del eje  $k$  del seno izquierdo y derecho es casi similar, desde el centro  $(h, k)$  de cada seno. Después se utilizan las imágenes de Ground-Truth proporcionadas por expertos médicos, se aplican restricciones básicas a priori a la forma y el tamaño de ambos senos. En cada seno, tanto a la izquierda como a la derecha (Fig. 6a y 6b), se obtienen las coordenadas usando la ecuación paramétrica de una elipse, con el centro en  $(h, k)$ , y siendo  $a$  el eje mayor,  $b$  el eje menor, y  $\theta$  el ángulo polar de orientación al centro, es:  $x=h+a\cos(\theta)$ ;  $y=k+b\cos(\theta)$ . Por estas razones, se obtienen las características elípticas, centro, eje mayor, eje menor y orientación de ambos senos (Fig. 6b): derecha  $(a_r, b_r$  y  $\theta_r)$  e izquierda  $(a_l, b_l$  y  $\theta_l)$ ; y la coordenada central de ambos senos (Fig. 6c).

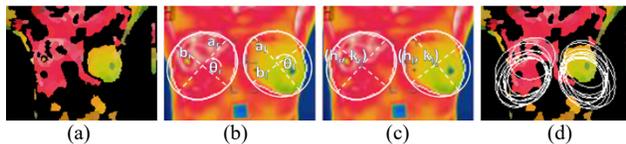


Figura 6: (a) Región de temperaturas de interés. Conjunto de niveles 2, 9 y 10. (b) Características de las elipses: (a) Eje mayor  $(a)$ , eje menor  $(b)$  y orientación  $\theta$ . (c) Centroide  $(h, k)$ . Subíndice derecho  $r$  (right) para mama derecha y subíndice izquierdo  $l$  (left) para mama izquierda. (d) Máscaras elípticas.

Posteriormente se lleva a cabo el agrupamiento para cada centro de los ejes  $k$  izquierdo y derecho ( $k_r$  y  $k_l$ , Fig.7) por medio del método de agrupación de K-Medias (K-Means clustering) de  $K=10$  centros de agrupamiento iniciales. El método de agrupación de K-medias [11] se usa comúnmente para particionar automáticamente un conjunto de datos en  $K$  grupos. Después, desde el grupo  $K=10$ , se obtiene el valor promedio del eje mayor, el eje menor y la orientación de cada seno, derecho e izquierdo, en su grupo. Para finalmente, dibujar las máscaras elípticas de 10 representantes del valor promedio obtenido en cada una de las interacciones  $K$  ( $K=1:10$ ) de cada grupo en ambos senos.

El resultado de este método de recorte de imagen, es un conjunto de imágenes de 10 niveles elípticos (Fig. 6d) para aplicarlos como datos de entrada a la CNN (Fig. 8), las cuales se redimensionan a  $127 \times 127$  píxeles. Estos son un conjunto de imágenes de seno resultado de una fusión de regiones conectadas caracterizadas por estas restricciones y solo las regiones relevantes de temperatura de interés. Esta fase está diseñada para maximizar el conocimiento

para evitar falsos negativos, que es un factor crítico en la imagen médica. El objetivo de las siguientes fases es maximizar la precisión para eliminar o al menos identificar falsos candidatos. Los valores específicos de las restricciones a priori son bastante flexibles porque solo deberían evitar perder los verdaderos positivos.

### B. Extracción de características

En esta subsección se presenta una extracción efectiva y eficiente de las características de las mamas de las imágenes termográficas: un conjunto de características que resultan de la última capa de una CNN, por ejemplo, las características de la CNN (Fig. 8). Originalmente propuesta por LeCun [12], una CNN es un modelo de red neuronal con tres ideas arquitectónicas clave: campos receptivos locales, reparto de peso y submuestreo en el dominio espacial. Una CNN consta de tres tipos principales de capas diseñadas para obtener los mapas de características: capas de convolución espacial (CONV 1), capas de agrupamiento de submuestreo (MaxPool 1) y capas totalmente conectadas (FC 1) — 1 es un índice de capa (1-5), respectivamente— se utiliza para obtener las características de nivel bajo, nivel medio y nivel alto (Fig. 8).

Se utiliza una CNN basada en estudios previos diseñados para procesar imágenes tridimensionales (3D), la AlexNet [13] y en la Figura 8 se explican las capas de la arquitectura. La motivación es que una CNN es ventajosa para la extracción de características, ya que es jerárquica (con múltiples capas para mayor compacidad y eficiencia) y redundancia de invarianza (para posición, tamaño, luminosidad, rotación, ángulo de pose, ruido y distorsión) Y se propone un método eficiente para extraer las características de clasificación de las imágenes de senos de la última capa de la CNN.

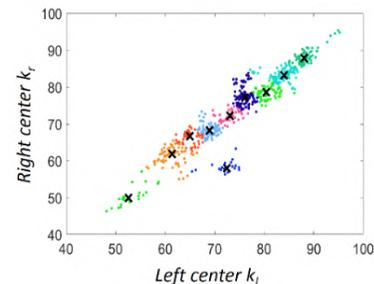


Figura 7: Agrupación de centroides mediante k-medias en 10 grupos.

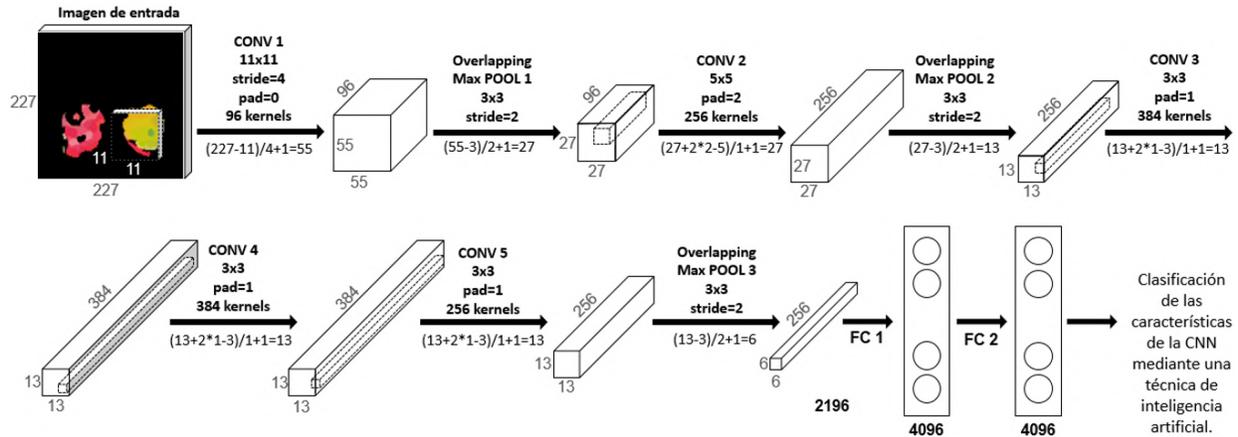


Figura 8: Estructura de la CNN.

Se demuestra que un método de clasificación que utiliza la combinación de características clásicas y las características CNN es más eficiente. Las CNN generalmente operan sobre miles de imágenes de entrada de tamaño normalizado, que requieren una adaptación previa. La principal contribución en esta fase es reemplazar esta adaptación por la generación basada en el contenido de las 10 imágenes de niveles de umbral. Para cada imagen de seno de entrada, se generaron imágenes de 10 niveles de umbral de tamaño fijo que capturan la semántica y las regiones de temperatura del seno, mediante el uso de un método basado en Level-Set Method. Primero se redimensiona la imagen a  $227 \times 227 \times 3$  según el conjunto de entrenamiento AlexNet [13]. Estas imágenes RGB de  $227 \times 227$  píxeles  $\times 3$  niveles de color alimentan la CNN (Fig. 8), que está diseñada para extraer 1043 vectores de características de alto nivel, los cuales son obtenidos al pasar por las capas de la arquitectura AlexNet [13], mediante  $O = ((I - K + 2P) / S) + 1$  para las capas CONV y  $O = ((I - P_s) / S) + 1$  para las capas MaxPool, siendo O el tamaño de la imagen de salida en ambos casos y dependiendo de las siguientes variables; I=tamaño de la imagen de entrada; K=ancho de los kernels (filtros) utilizados en la capa de convolución; N=número de kernels; S=stride (saltos de pixel) de la operación de convolución; P=padding (relleno) y  $P_s$ =tamaño del filtro MaxPool. Además de la capa FC conectada a la última capa CONV que toma el valor del número de neuronas de la misma capa y la capa FC conectada a otra FC la cual toma el valor de la capa FC anterior.

De acuerdo a lo anterior se muestra la evolución de la imagen de entrada de un tamaño de  $227 \times 227 \times 3$  a través de las distintas capas de la CNN. Después de CONV 1 (96 filtros de  $11 \times 11$ ), el tamaño cambia a  $55 \times 55 \times 96$ , que se transforma en  $27 \times 27 \times 96$  después de MaxPool 1 (agrupación  $3 \times 3$ ). Después de CONV 2 (256 filtros de  $5 \times 5$ ), el tamaño cambia a  $27 \times 27 \times 256$  y luego MaxPool 2 (agrupación  $3 \times 3$ ) cambia a  $13 \times 13 \times 256$ . CONV 3 (384

filtros de  $5 \times 5$ ) lo transforma a un tamaño de  $13 \times 13 \times 384$ , mientras que CONV 4 (384 filtros de  $5 \times 5$ ) conserva el tamaño y CONV 5 (256 filtros de  $5 \times 5$ ) cambia el tamaño de vuelta a  $27 \times 27 \times 256$ . Finalmente, MaxPool 3 (agrupación  $5 \times 5$ ) reduce el tamaño a  $6 \times 6 \times 256$ . Esta imagen se alimenta a FC 1 que la transforma en un vector de tamaño  $4096 \times 1$ . Estos vectores contienen las características del extracto CNN para alimentar las cuatro técnicas de clasificación utilizadas presentadas en la subsección C.

### C. Clasificación

Para clasificar estas regiones en normales o anormales y obtener resultados de clasificación finales, se exploró el uso de cuatro enfoques de clasificación diferentes implementados en Weka (Waikato Environment for Knowledge Analysis) [14; 15]: Red bayesiana (BN Bayes Net) [16], Perceptrón votado (VTP Voted Perceptron) [17], J48 [18] y Bosque aleatorio (TRF Tree Random Forest) [18], utilizando un esquema de validación cruzada de s-fold ( $s=2$ ), es decir, una validación cruzada doble; donde el conjunto de datos se divide en dos partes iguales: una se utiliza para el entrenamiento y la otra se utiliza para la prueba, obteniendo resultados experimentales para estas técnicas (ver sección III).

## III. RESULTADOS

El conjunto de datos utilizado incluye 659 imágenes termográficas (298 normales y 361 anormales) en formato de color RGB y en formato de imagen JPEG, con un tamaño de  $160 \times 120$  píxeles y con una resolución de  $72 \times 72$  ppp, proporcionadas amablemente por [8]. El método propuesto puede adaptarse fácilmente a diferentes imágenes de mamas termográficas. La Figura 1 muestra imágenes de ejemplo del conjunto de datos, (la segmentación correcta de los datos para la segmentación y clasificación de las mamas y su grado de alteración respecto a los diferentes niveles de temperatura), y la Figura 9 muestra los resultados de estas imágenes. Los

datos Ground-Truth para la segmentación y clasificación del tejido mamario y su grado de alteración con respecto a los diferentes niveles de temperatura se obtuvieron de médicos especializados en base a la verificación de la localización de la mama.

Se obtuvieron varios indicadores de calidad para evaluar cuantitativamente los resultados de la clasificación de mamas y el rendimiento de las técnicas BN, VTP, J48 y TRF. Se han dividido en indicadores de calidad finales o externos, que evalúan los resultados finales de la segmentación y son útiles para la comparación externa con otros trabajos, e indicadores de calidad internos, que son útiles para evaluar el comportamiento interno de las opciones de clasificación propuestas.

Para obtener los indicadores sean TP, FP, TN Y FN; el número de verdaderos positivos (True Positive), falsos positivos (False Positive), verdaderos negativos (True Negative) y falsos negativos (False Negative), respectivamente. Después para los indicadores externos se define lo siguiente: sensibilidad, recuperación o tasa de verdadera positiva:  $TPR=TP/(TP+FN)$ ; precisión o valor predictivo positivo:  $PPV=TP/(TP+FP)$ ; tasa de descubrimiento falso:  $FDR=FP/(FP+TP)$ ; Y la puntuación F1 o la media armónica HM de TPR y PPV:  $F1=2TP/(2TP+FP+FN)$  o  $HM=(2*TPR*PPV)/(TPR+PPV)$ .

Para los indicadores internos se define lo siguiente: especificidad o tasa negativa verdadera:  $SPC=TP/(TP+FN)$ ; valor predictivo negativo:  $NPV=TN/(TN+FN)$ ; exactitud:  $ACC=(TP+TN)/(TP+FP+TN+FN)$ ; tasa de caída o falsos positivos:  $FPR=FP/(FP+TN)$ ; y el área bajo la curva característica de funcionamiento del receptor: AUC.

El resultado de la selección de las regiones de la temperatura de la mama de interés y las fases de extracción de características para el conjunto de datos descrito es una colección de 6590 regiones (2980 de senos normales y 3610 de senos anormales, que deben fusionarse en 659 imágenes según el Ground-Truth). Cada región se caracterizó por un vector de características de 4096 dimensiones extraído de la CNN. Como se menciona, se exploraron cuatro técnicas de clasificación representativas (BN, VTP, J48 y TRF) utilizando el experimento de clasificación más difícil, pero más realista que involucró un esquema de validación cruzada de 2 veces ( $s=2$ ) para entrenamiento y pruebas. La Tabla I resume todos los resultados cuantitativos. VTP y TRF logran los mejores resultados en el experimento de clasificación más difícil pero más realista que involucra la validación cruzada doble; donde el conjunto de datos se divide en dos partes iguales: una (primera parte) utilizada para el entrenamiento y la otra (segunda parte) para pruebas, y luego viceversa; la segunda parte utilizada para el entrenamiento y la primera parte para la prueba. Esto

demuestra que el clasificador es razonable para la clasificación de imágenes termográficas de senos y confirma las ventajas reportadas de VTP y TRF sobre otros clasificadores de vanguardia.

Los resultados cualitativos para la clasificación de las imágenes termográficas de los senos se muestran en la Figura 9 con regiones blancas y azules superpuestas sobre senos normales detectados correctamente (TN, en blanco) y senos anormales correctamente clasificados (TP, en azul). Estos se muestran para ilustrar el buen desempeño de las fases de extracción y clasificación de características. Los resultados muestran que el método de clasificación propuesto puede clasificar las imágenes termográficas de senos con éxito, incluso en entornos con un alto grado de dificultad.

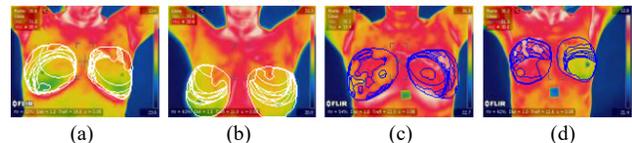


Figura 9: Resultados cualitativos de la clasificación: (a-b) Imágenes termográficas de senos sin cáncer; (c-d) Imágenes termográficas de senos con cáncer.

La Tabla I muestra los resultados cuantitativos; los cuales están representados mediante los colores blanco y azul dentro de la segmentación de las mamas (Figura 9), clasificados como normales (TP, en blanco) y anormales (TN, en azul); esto se muestran para ilustrar el rendimiento de las fases de extracción y clasificación de características. Los resultados muestran que el método de segmentación propuesto puede clasificar las mamas con éxito.

TABLA I  
RESULTADOS (%) DE SEGMENTACIÓN CUANTITATIVA EN EXPERIMENTO DE VALIDACIÓN CRUZADA  $S=2$ .

Técnica	Indicadores de calidad						
	TPR	PPV	FDR	F1-HM	SPC	NPV	ACC
Bayes Net	99.75	100	0	99.88	100	99.70	99.88
Voted Perceptron	100	100	0	100	100	100	100
J48	93.83	99.97	0.03	99.9	99.97	99.8	99.90
Random Forest	100	100	0	100	100	100	100

Se demuestra mediante resultados exitosos que una CNN como parte del método para la detección de cáncer de mama mediante la clasificación de imágenes termográficas de senos es una opción viable para el prediagnóstico de dicha patología, obteniendo los mejores resultados mediante los clasificadores VP y TRF logrando un TPR, SPC y ACC de 100%, respectivamente.

#### IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Distintos trabajos se han centrado en analizar

automáticamente las imágenes de cáncer de mama en situaciones termográficas prácticas. El objetivo final de los trabajos es clasificar los senos como normales o anormales (sin o con cáncer), por lo que la clasificación de los senos se considera un primer paso crucial para el prediagnóstico de esta patología. Faltan conjuntos de datos de imágenes o escenarios de evaluación accesibles al público que permitan una comparación justa entre los métodos, y el código para los métodos informados no está disponible. Por lo tanto, hemos optado por presentar solo nuestros resultados en imágenes proporcionadas amablemente por [8].

Las principales contribuciones de este trabajo son: la extracción novedosa de las características de la CNN de la región de interés de la imagen termográfica de senos; la generación de imágenes de entrada; capturando información relevante de los senos, para entrenar y alimentar a la CNN, la generación de un conjunto de datos representativos con datos Ground-Truth, y la evaluación de varias estrategias de clasificación para enfrentar el problema de clasificación. Obteniendo los mejores resultados mediante los clasificadores VP y TRF logrando un TPR, SPC y ACC de 100 %, respectivamente.

## V. REFERENCIAS

- [1] J. H. Vasconcelos, W. P. dos Santos, and de R. C. F. Lima, "Analysis of Methods of Classification of Breast Thermographic Images to Determine their Viability in the Early Breast Cancer Detection". *IEEE Latin America Transactions*, vol. 16, no 6, pp. 1631-1637, 2018. 10.1109/TLA.2018.8444159
- [2] M. A. Díaz-Cortés, N. Ortega-Sánchez, S. Hinojosa, D. Oliva, E. Cuevas, R. Rojas, and A. Demin, "A multi-level thresholding method for breast thermograms analysis using Dragonfly algorithm". *Infrared Phys Technol*, vol. 93, pp. 346-361, 2018. 10.1016/j.infrared.2018.08.007
- [3] M. C. Araújo, R. C. Lima, and R. M. De Souza, "Interval symbolic feature extraction for thermography breast cancer detection". *Expert Syst Appl*, vol. 41, no 15, pp. 6728-6737, 2014. 10.1016/j.eswa.2014.04.027
- [4] N. Cruz-Ramirez., M. M. Efrén, A. A. María Yaneli, M. D. C. M. Enrique, A. M. Héctor Gabriel, P. C. Nancy, and B. M. Rocío Erandi, "Evaluation of the diagnostic power of thermography in breast cancer using bayesian network classifiers". *Comput Math Methods Med*, 2013. 10.1155/2013/264246
- [5] L. A. Bezerra, M. M. Oliveira, T. L. Rolim, A. Conci, F. G. S. Santos, P. R. M. Lyra, and R. C. F. Lima, "Estimation of breast tumor thermal properties using infrared images". *Signal Process*, vol. 93, no 10, pp. 2851-2863, 2013. 10.1016/j.sigpro.2012.06.002
- [6] M. EtehadTavakol, V. Chandran, E. Y. K. Ng, and R. Kafieh, "Breast cancer detection from thermal images using bispectral invariant features". *Int J Therm SCI*, vol. 69, pp. 21-36, 2013. 10.1016/j.ijthermalsci.2013.03.001
- [7] E. Mahmoudzadeh, M. A. Montazeri, M. Zekri, and S. Sadri, "Extended hidden Markov model for optimized segmentation of breast thermography images". *Infrared Phys Technol*, vol. 72, pp. 19-28, 2015. 10.1016/j.infrared.2015.06.012
- [8] L. F. Silva, D. C. M. Saade, G. O. Sequeiros, A. C. Silva, A. C. Paiva, R. S. Bravo, and A. Conci, "A New Database for Breast Research with Infrared Image", *J Med Imaging Health Inform*, vol. 4, no 1, pp. 92-100(9), 2014. 10.1166/jmih.2014.1226
- [9] R. Achanta, A. Shaji, K. Smith, A. Lucchi, P. Fua, and S. Susstrunk, "SLIC Superpixels Compared to State-of-the-art Superpixel Methods". *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell*, vol. 34, no 11, pp. 2274-2282, 2012. 10.1109/TPAMI.2012.120
- [10] E. Y. K. NG, "Detection and differentiation of breast cancer using neural classifiers with first warning thermal sensors". *Inform Sciences*, vol. 177, no 20, pp. 4526- 4538, 2007. 10.1016/j.ins.2007.03.027
- [11] J. B. MacQueen, "On convergence of k-means and partitions with minimum average variance". *Ann Math Stat*, vol. 36, pp. 1084, 1965.
- [12] Y. LeCun, L. Bottou, Y. Bengio, and P. Haffner, "Gradient-based learning applied to document recognition". *Proceedings of the IEEE*, vol. 86, no 11, pp. 2278-2324, 1998. 10.1109/5.726791
- [13] A. Krizhevsky, I. Sutskever, and G. E. Hinton, "Imagenet classification with deep convolutional neural networks". *Adv Neural Inf Process Syst*, vol. 25, no 2, pp. 1097-1105, 2012. 10.1145/3065386
- [14] G. Holmes, A. Donkin and I. H. Witten, "Weka: A machine learning workbench". Presented at IEEE Second Australian and New Zealand Conference on Intelligent Information Systems, 1994. 10.1109/ANZIIS.1994.396988
- [15] S. R. Garner, S. J. Cunningham, G. Holmes, C. G. Nevill-Manning and I. H. Witten, "Applying a machine learning workbench: Experience with agricultural databases". Presented at Proceeding Machine Learning in Practice Workshop, Machine Learning Conference, 1995.
- [16] J. Pearl, "Causality: Models, Reasoning, and Inference". *Econ Theory*, vol. 19, no 46, pp. 675-685, 2003. 10.1017/S0266466603004109
- [17] M. Collins, and N. Duffy, "New ranking algorithms for parsing and tagging: Kernels over discrete structures, and the voted perceptron". *Proceedings of the 40th annual meeting on association for computational linguistics*, pp. 263-270, 2002. 10.3115/1073083.1073128
- [18] S. Ponmani, R. Samuel, and P. VidhuPriya, "Classification Algorithms in Data Mining-A Survey". *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology*, vol. 6, 2017.

## VI. BIOGRAFÍA

**Diana Morales-Venegas.** Recibió el título de Ingeniero de Software en 2016 por la Universidad Autónoma de Chihuahua, México; y en 2019 recibió el título de Maestro en Ingeniería Mecatrónica por parte del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, México. Su interés de investigación es el procesamiento de distintos tipos de imágenes digitales mediante la inteligencia artificial.

**Santiago Tello-Mijares.** Recibió el título de Ingeniero en Electrónica en 2006, y el de Doctor en Ciencias Eléctricas en 2013, por parte del Instituto Tecnológico de la Laguna, México; y en 2017 recibió el título de Doctor en Ingeniería Informática y de Telecomunicación por parte de la Universidad Autónoma de Madrid, España, obteniendo Mención Cum Laude. En la actualidad es Profesor Titular A e Investigador Científico del Departamento de Postgrado de Mecatrónica del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, México. Es candidato al SNI por parte del CONACYT. Sus intereses de investigación son el procesamiento de imágenes biomédicas y la inteligencia artificial.

# Características químicas y microbiológicas de vermicomposta producida en el ITSL.

M, Hernández-López<sup>1</sup>, S.A. Vidaña-Martínez<sup>1\*</sup>, T.E Velasquez-Chavez.<sup>1</sup>

**Resumen**— En la actualidad la generación de residuos orgánicos representa un impacto negativo para el medio ambiente, de tal manera que la generación de vermicomposta es una alternativa para su utilización como abono orgánico. El objetivo del presente estudio es evaluar las características químicas y microbiológicas de la vermicomposta generada en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. Donde se evaluaron tres diferentes sustratos: estiércol de bovino, caprino y equino, con tres repeticiones por tratamiento, colocando tres kilogramos de éstos en cajas de plástico e incorporando 8 lombrices adultas de la especie *Eisenia Foetida* (roja californiana). Durante los tratamientos se le monitorearon los siguientes parámetros: Porcentaje de calcio, magnesio, sodio, potasio y miligramos por kilogramo de hierro, manganeso, cobre y zinc. De acuerdo a los estudios el mejor resultado en cuanto a contenido de macro y micronutrientes es el correspondiente al estiércol de cabra y se presentó ausencia de microorganismos en los tres sustratos cumpliendo con la inocuidad necesaria según la NADF-020-AMBT-2011. La lombricultura es actualmente una opción sustentable para utilizar los residuos orgánicos para la generación de composta e incrementar la fertilidad de los suelos.

**Palabras claves** — Características, físicas, químicas, vermicomposta.

**Abstract**— Currently, the generation of organic waste represents a negative impact on the environment, in such a way that the generation of vermicompost is an alternative for its use as organic fertilizer. The objective of the present study is to evaluate the chemical and microbiological characteristics of the vermicompost generated at the Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. Where three different substrates were evaluated: cattle, goat and horse manure, with three repetitions per treatment, placing three kilograms of these in plastic boxes and incorporating 8 adult earthworms of the species *Eisenia Foetida* (California red). During the treatments, the following parameters were monitored: Percentage of calcium, magnesium, sodium, potassium and milligrams per kilogram of iron, manganese, copper and zinc. According to the studies, the best result in terms of macro and micronutrient content is that corresponding to goat manure and there was an absence of microorganisms in the three substrates, complying with the necessary safety according to NADF-020-AMBT-2011.

Vermiculture is currently a sustainable option to use organic waste for compost generation and increase soil fertility.

**Keywords** — Characteristics, physical, chemical, vermicompost.

## I. INTRODUCCIÓN

Los residuos orgánicos que se generan debido a las actividades antropogénicas representan un impacto negativo al medio ambiente y es responsabilidad todos visualizar la correcta disposición de los mismos en fomento de la sustentabilidad. En el caso de los residuos orgánicos existe una forma de aprovechamiento que depende de la descomposición orgánica y la generación de composta. La composta se define como “la degradación oxidativa de desechos sólidos orgánicos por medio de microorganismos en condiciones controladas” [1]. Otra de las técnicas más utilizadas actualmente para el aprovechamiento de los residuos orgánicos es la vermicultura, que está basada en la cría intensiva de lombrices para la producción de vermicomposta. La vermicomposta producida a partir de los residuos orgánicos tiene una enorme cantidad de ventajas para el suelo donde se coloca: aporte de nutrientes, enriquece la flora microbiana, contribuye al mejoramiento y crecimiento de cualquier tipo de planta. La especie de lombriz roja californiana (*Eisenia Foetida*) resulta ser la especie más cultivada en el mundo dada su alta tolerancia a los factores ambientales, su alta tasa de reproducción y capacidad de apiñamiento [2]. El lixiviado producido a partir de la vermicultura es rico en nitrógeno, fósforo, calcio y potasio, además de otros nutrientes, es de fácil asimilación para las plantas y cuenta con ácidos húmicos y fúlvicos que estimulan el enraizamiento de un modo 100% ecológico de cualquier tipo de planta y árbol. El lixiviado es ampliamente utilizado porque mejora naturalmente la salud y apariencia de las plantas, promueve un rápido crecimiento, mantiene un pH neutro y es un excelente blindaje contra los climas extremos.

En México, las actividades agrícolas y en particular las ganaderas producen una gran cantidad de residuos orgánicos que son desperdiciados en forma de excremento aproximadamente 37 millones de toneladas por año [3] y tan sólo en la Región Lagunera se producen 925,000 toneladas/año. Los excrementos están dentro de lo que se

<sup>1</sup> Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. Av. Tecnológico 1555 sur, Periférico Gómez, Lerdo. C.P.35150. Cd. Lerdo, Durango, México. (\* [advi\\_66@hotmail.com](mailto:advi_66@hotmail.com))

considera orgánico y todo este desecho puede ser utilizado en la vermicultura, que permitirá la transformación de todo el residuo en un abono orgánico de alto valor agronómico. En la producción de vermicomposta se involucran factores tales como el tipo de sustrato utilizado, la especie de lombriz utilizada, la cantidad de lombrices, la humedad de la composta, las instalaciones y una vez obtenida la vermicomposta es necesario evaluar los diversos factores químicos y biológicos de la producción.

Con el objetivo de conocer el efecto de los diferentes tipos de residuos y su impacto, en este proyecto se evaluaron variables tales como el tipo de residuo empleado y la manera en que influye sobre el desarrollo de las lombrices, se diseñó además la caracterización de la composta obtenida a partir de la utilización de los diferentes sustratos y la evaluación de los mismos sobre el desarrollo de las lombrices utilizadas.

## II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

### A. Localización del estudio.

El presente estudio se llevó a cabo en un espacio asignado dentro del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, situado en Av. Tecnológico No. 1555 Sur Periférico Gómez-Lerdo Km. 14.5 de Cd. Lerdo, Dgo.

### B. Pre-composteo de los Residuos Orgánicos

La actividad inició en diciembre del 2016 con la recolección del estiércol y fue proporcionado por la Granja los Eucaliptos del ejido 13 de marzo de Gómez Palacio Dgo. Se realizó el pre-composteo de tres diferentes sustratos (estiércol: bovino, caballo y cabra) con una duración de tres meses iniciando el primero de enero del 2017 y finalizando el 24 de abril del 2017. Una vez obtenido el sustrato pre-compostado se dio inicio a la instalación de los tratamientos.

### C. Selección de especie.

Para medir el comportamiento reproductivo de la lombriz de tierra, se utilizaron lombrices de la especie *Eisenia foetida*, la cual es una de las especies más comúnmente utilizadas para realizar el lombricomposteo, debido a que estas lombrices crecen más rápido, se mantienen más saludables, viven más tiempo, y se reproducen a mayor velocidad.

### D. Procedimiento

Se evaluaron tres tratamientos con tres repeticiones cada uno. En total se manejó una cantidad de nueve unidades experimentales, las cuales contenían el 100% de materia orgánica. Para esto se utilizaron nueve cajas con 30cm de largo, 20cm de ancho y 22cm de altura, a estas se les instaló un tubo de pvc de ½ pulgada, para la recolección del lixiviado. Posteriormente se adicionaron 3kg de estiércol en cada experimento, el 28 de Abril del 2017 se añadieron ocho lombrices adultas a cada uno de los tratamientos, las cuales fueron donadas por el Instituto Nacional de Investigación Forestal, Agrícola y Pecuario (INIFAP) de la Ciudad de Matamoros Coahuila. Se realizaron riegos cada tercer día para mantener una humedad adecuada la cual ronda entre 60 y 80%, para incrementar la reproducción de la lombriz y una alta producción y calidad de fertilizante orgánico.

### E. Variables Evaluadas y Diseño Experimental

En este estudio se evaluaron los parámetros necesarios para la reproducción y generación de lombricomposta durante el periodo de diciembre del 2016 a mayo del 2017. Las variables evaluadas en la lombricomposta fueron: calcio, magnesio, sodio, potasio, hierro, manganeso, cobre y zinc por medio de un equipo de Absorción Atómica. Los análisis microbiológicos fueron: Coliformes fecales, *Salmonella-Shigella*, Huevos de helminto; dichos análisis están basados en la norma NADF-020-AMBT-2011.

El análisis estadístico se realizó con la ayuda del programa MiniTab 18, con el cual se realizó los análisis de varianza correspondientes utilizando un anova de un solo factor con comparación en parejas de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ).

## III. RESULTADOS

### A. Calcio (Ca).

El Ca fue más alto en el estiércol antes de la aplicación de la lombriz lo cual en el análisis estadístico nos dio como resultado que no había diferencia significativa entre los sustratos (véase Cuadro I), lo cual el sustrato que contenía más porcentaje de Ca fue el T3, en cambio en la segunda prueba que se realizó después de la aplicación de las lombrices el calcio bajo su nivel, y mostro que existía diferencia significativa ( $p < 0.05$ ), lo cual el T2 (estiércol de cabra) fue el de la proporción más elevada, (Cuadro II) la cantidad de calcio presente se redujo ya que los experimentos se regaban cada tercer día y fue disminuyendo la concentración conforme pasaba el tiempo. Según [4] los resultados en su comparación de abonos orgánicos la composta tiene un porcentaje aproximado de 6.5% de Ca, y la lombricomposta tenía 1.6% de Ca.

*B. Magnesio (Mg).*

Se encontró diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre los sustratos (Cuadro I). El estiércol de cabra fue el que presentó mayor porcentaje de magnesio con 0.38%, quedando ligeramente por debajo de los resultados encontrados por [5], con un resultado de 0.55% de magnesio en el humus de vaca.

*C. Sodio (Na)*

El sodio no presentó diferencia significativa ( $p > 0.05$ ), el estiércol que presentó mayor porcentaje fue el del estiércol de cabra con 0.19% (Cuadro I). Según los resultados de [6], el Na presente en su lombricomposta fue de 0.14% quedando por debajo del resultado obtenido en este estudio.

*D. Potasio (K)*

Se encontró diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre los sustratos, el cual sobresalió el T1 (estiércol de vaca) con un porcentaje de 0.50% (Cuadro I), estos resultados concuerdan con los análisis de [5], en los cuales el estiércol de vaca fue el que tuvo mayor porcentaje de potasio con 1.54%.

CUADRO I.  
ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES PRESENTES EN LA LOMBRICOMPOSTA

Tratamiento	Ca	Mg	Na	K
	%			
T1	1.62c	0.31b	0.16a	0.50a
T2	3.83 a	0.38a	0.19a	0.42b
T3	2.38b	0.28c	0.06a	0.21c

\*letras distintas en la misma columna son estadísticamente diferentes, ( $p \leq 0.05$ ). Dónde: T1= Estiércol de vaca, T2=estiércol de cabra, T3=estiércol de caballo. %Ca= porcentaje de calcio, %Mg= porcentaje de magnesio, %Na= porcentaje de sodio, %K= porcentaje de potasio.

*E. Hierro (Fe)*

Como se puede observar en el Cuadro II el T1 (estiércol de vaca) presentó diferencia significativa ( $p < 0.05$ ), con 545mg/kg. A comparación de los resultados obtenidos por

[6], en su lombricomposta encontró que el Fe estaba presente con la cantidad de 3840 mg/kg.

*F. Manganeso (Mn)*

El estiércol de cabra (T1), presentó diferencia significativa ( $p < 0.05$ ), con 361.70 mg/kg dejando en segundo lugar T2 (véase Cuadro II), estos resultados coinciden con la investigación de [5], menciona que el estiércol de cabra en el que se presentó mayor cantidad de manganeso (7780mg/kg) y en seguida el estiércol de vaca con 5637mg/kg.

*G. Cobre (Cu)*

Se encontró diferencia significativa ( $p < 0.05$ ), en el T2, (Cuadro II), con un total de cobre de 38.15 mg/kg, comparado con los estudios realizados por [5], menciona que el estiércol de cabra tiene mayor cantidad de Cu (108 mg/kg), lo cual estos resultados también concuerdan con [7] con 65 mg/kg de cobre total en su reporte de análisis de lombricomposta.

*H. Zinc (Zn)*

Este parámetro presentó diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre los sustratos (Cuadro II), obteniendo los siguientes resultados T2= 304.85 mg/kg, T1= 131.3 mg/kg y por último el T3= 74.7mg/kg. A comparación con otras investigaciones [8], encontró que el zinc se encontraba con 145 mg/kg en su vermicomposta. Por otra parte [5] menciona que el mejor sustrato para producción de Zn fue el estiércol de cabra con 680 mg/kg dejando en segundo lugar el estiércol de vaca con 245 mg/kg.

CUADRO II.  
ANÁLISIS DE MICRONUTRIENTES PRESENTES EN LA LOMBRICOMPOSTA.

Tratamientos	Fe	Mn	Cu	Zn
	mg/kg			
T1	545 a	166.35 b	20.40a	131.3 b
T2	402.63 b	361.70 a	38.15a	304.85 a
T3	324.85 c	136.15 c	11.05 a	74.7 b

\*letras distintas en la misma columna son estadísticamente diferentes, (p ≤ 0.05). Dónde: T1= Estiércol de vaca, T2=estiércol de cabra, T3=estiércol de caballo. Fe=Hierro, Mn= Manganeseo, Cu= Cobre, Zn= Zinc.

### I. Análisis microbiológicos

De acuerdo a los análisis realizados a la lombricomposta y según la norma NADF-020-AMBT-2011, la cual analiza coliformes fecales, *Salmonella-Shigella* y Huevos de helminto, se obtuvieron los siguientes resultados enlistados en el Cuadro III, comparando con los parámetros que establece la norma antes mencionada.

CUADRO III.  
RESULTADO DE ANÁLISIS DE COLIFORMES FECALES,  
SALMONELLA-SHIGELLA Y HUEVOS DE HELMINTO  
PRESENTES EN LA LOMBRICOMPOSTA.

Análisis	Parámetro (base seca)	T1	T2	T3
Coliformes fecales	<1000 NMP/gr	Ausente	Ausente	Ausente
Salmonella-Shigella	<3 NMP en 4gr	Ausente	Ausente	Ausente
Huevos de helminto	NMP 1-4gr	Ausente	Ausente	Ausente

Dónde: T1= Estiércol de vaca, T2=Estiércol de cabra y T3= Estiércol de caballo.

### IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Se concluye que el sustrato que presento un mayor contenido de macronutrientes fue el estiércol de cabra para los elementos de calcio y magnesio con 3.83 y 0.38 % respectivamente, para potasio el que tuvo mayor contenido fue el estiércol de vaca con 0.50 %

Para los micronutrientes el estiércol de vaca represento mayor significancia para hierro con 545 mg/kg y el

estiércol de cabra para manganeso y zinc con valores de 361.70 y 304.85 mg/kg respectivamente.

Todos los parámetros evaluados en la lombricomposta cumplen con los requerimientos nutricionales de un abono orgánico capaz de satisfacer las necesidades de las plantas y los cultivos de esta región Lagunera, así como cumple con la inocuidad necesaria según la NADF-020-AMBT-2011 la cual establece límites máximos permisibles de coliformes fecales, *Salmonella-Shigella* y Huevos de helminto, dentro de los cuales los resultados muestran que la lombricomposta obtenida cumple satisfactoriamente para ser utilizada en los cultivos.

La lombricultura es una opción sustentable de utilizar los residuos orgánicos generados en la región para la generación de lombricomposta, la cual puede ser utilizada como abono orgánico para incrementar la fertilidad de los suelos.

Se recomienda que el humus obtenido en este estudio se aplique en un cultivo para analizar su rendimiento y comprobar su efectividad.

Otra recomendación es experimentar con otros tipos de sustratos para comparar su valor nutrimental en el humus.

### V. AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, por las facilidades brindadas para la instalación del Lombricario y en financiamiento de este proyecto.

Al Instituto Nacional de Investigación Forestal, Agrícola y Pecuaria (INIFAP), por la aportación de la Lombriz *Eisenia Foetida* (Roja Californiana).

Al Centro Nacional de Investigación en Relación Agua,Suelo, Planta, Atmosfera (CENID RASPA), por la elaboración de los análisis químicos realizados a la lombricomposta

### VI. REFERENCIAS

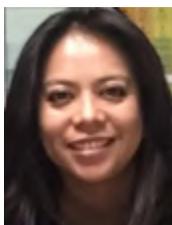
- [1] Zucconi, F. and De Bertoldi, M. (1987) Compost Specifications for the Production and Characterization of Compost from Municipal Solid Waste. In: De Bertoldi, M., Ferranti, M.P., L'Hermite, M.P. and Zucconi, F., Eds., Compost: Production, Quality and Use, Elsevier, London, 276-295.
- [2] Guadarrama R. O. y Taboada S. M. 2004. La Lombricultura, una Propuesta al Medio Rural. Memorias del Primer Congreso Internacional de Lombricultura y Abonos Orgánicos. Guadalajara, Jal. Méx.
- [3] Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2005. Uso sustentable de desechos orgánicos en sistemas de producción agrícola. Folleto Técnico. SAGARPA. INIFAP. 5 pág.

- [4] Trinidad Santos, A. (1987). *El uso de abonos orgánicos en la producción agrícola* (No. 04; CP, FOLLETO 106.).
- [5] Chicaiza, T. (2007). Producción de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) y lombrihumus con estiércol de vaca, cabra, cerdo y caballo (Bachelor's thesis, Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana, 2012).
- [6] López Valenzuela, B. E., Armenta, B., Adolfo, D., Apodaca, S., Miguel, A., Ruelas, I., ... & Valenzuela, E. F. (2014). Reducción de la fertilización sintética con composta y optimización del riego sobre la pudrición del tallo (*Fusarium spp*) del maíz. *Scientia Agropecuaria*, 5(3), 121-133.
- [7] Casco, J. M. (Ed.). (2008). *Compostaje*. Mundi-Prensa Libros.
- [8] Rodríguez Dimas, N., Cano Ríos, P., Figueroa Viramontes, U., Favela Chávez, E., Moreno Reséndez, A., Márquez Hernández, C., ... & Preciado Rangel, P. (2009). Uso de abonos orgánicos en la producción de tomate en invernadero. *Terra Latinoamericana*, 27(4), 319-327.

## VII. BIOGRAFÍA



**Mónica Hernández López** nació en Torreón Coahuila el 22 de febrero de 1983. Es Ingeniera Química en el Instituto Tecnológico de la Laguna en Torreón Coahuila, México, en el 2007. Continúo con sus estudios de postgrado en el Instituto Tecnológico de Torreón en la ciudad de Torreón Coahuila, México, obteniendo el grado de Maestra en Ciencias en Suelos en el 2010. Actualmente labora como docente, perteneciendo al departamento de Ingeniería Ambiental en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, en la Ciudad de Lerdo Durango, México.



**Vidña Martínez, Silvia Adriana** nació en la Ciudad de Durango. Cursó estudios de Ingeniería Química y Maestría en Ciencias en Ingeniería Bioquímica en el Instituto Tecnológico de Durango, concluyendo sus estudios en el 2005, en la Ciudad de Durango, Dgo. Actualmente labora en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, en Cd. Lerdo, Durango, México donde se desempeña como docente en la división de Ingeniería Ambiental.



**Velásquez Chávez Tania Elizabeth.** Nació en la ciudad del Gómez Palacio, Durango el 6 de febrero de 1987. Cursó la carrera de Químico Farmacéutico Biólogo en Facultad de Ciencias Químicas de la UA de C en la ciudad de Saltillo, Coahuila terminando los estudios en el año 2009. Tiene maestría en Ingeniería Bioquímica en la Escuela de Ciencias Biológicas de la UA de C en la ciudad de Torreón Coahuila terminando esta misma en el año 2013. Actualmente labora en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, como docente de la división de Ingeniería Ambiental.

# Desarrollo de una aplicación móvil para el seguimiento de los eventos de un congreso MICONINCI (3.0)

K.V. Rodríguez-Lozano<sup>1</sup>, E. Moreno-Núñez<sup>1</sup>, M.G. Flores-Luévanos<sup>1</sup>, J.M. Arzola-Monreal<sup>1</sup>, V.B. González-Chávez<sup>1</sup>

**Resumen**—El uso de software en los dispositivos móviles ha permitido realizar tareas informáticas que hace pocos años únicamente se podían llevar a cabo en computadoras de escritorio o portátiles y que, gracias a la evolución de las ciencias computacionales y el desarrollo de aplicaciones, actualmente se realizan literalmente en la palma de la mano. El objetivo de la presente publicación es mostrar el proceso de desarrollo de una aplicación móvil enfocada en mantener informados a los estudiantes y asistentes externos de todos los eventos del Congreso Internacional de Ciencias de la Ingeniería (CONINCI). Se empleó el Lenguaje Unificado de Modelado (UML) y la metodología de software denominada Proceso Unificado de Desarrollo (PUD), que permite agregar funcionalidades sin necesidad de hacer modificaciones complejas a la estructura interna del software. Los resultados obtenidos son los esperados; una aplicación publicada en la tienda oficial de Google™ (Play Store), que permite al Instituto Tecnológico Superior de Lerdo (ITSL) mantenerse a la vanguardia en las tecnologías móviles.

**Palabras claves**—: Aplicación Móvil, Congreso, CONINCI, Desarrollo de Software.

**Abstract**— The use of software on mobile devices has allowed to perform computer tasks that only a few years ago could only be carried out on desktop or portable computers and that, thanks to the evolution of computer science and application development, can now be performed literally in the palm of the hand. The objective of this publication is to show the process of developing a mobile application focused on keeping students and external assistants informed of all the events of the International Congress of Engineering Sciences (CONINCI). The Unified Modeling Language (UML) and the software methodology called Unified Development Process (PUD) were used, which allows adding functionalities without the need for complex modifications to the internal structure of the software. The results obtained are as expected; an application published in the official Google™ store (Play Store), which allows Instituto Tecnológico Superior de Lerdo (ITSL) to remain at the forefront of mobile technologies.

**Keywords**— Mobile Application, Congress, CONINCI, Software Development.

## I. INTRODUCCIÓN

Los progresos en la informática y todo lo que lo conforma, han permitido al ser humano ampliar sus conocimientos en nuevas ramas de la tecnología. Los dispositivos móviles son herramientas tecnológicas ampliamente utilizadas para diversos fines.

La popularidad de los primeros dispositivos móviles permitió que cientos de personas advirtieran un futuro donde éstos no solo funcionarían para realizar llamadas o enviar mensajes de texto, sino que, mediante el uso de programas o comúnmente llamadas aplicaciones en dispositivos inteligentes, se tuviese una herramienta aún más completa, capaz de realizar llamadas de voz y video, cámara fotográfica y muchos más, donde el único límite, es la imaginación humana. Estos dispositivos móviles cuentan con un sistema operativo, que no es más que un conjunto de programas con diferente nivel de complejidad que servirán como base para dos principales funciones, la primera es la de organizar y administrar el hardware; es el encargado de controlar todas las partes mecánicas que lo conforman como lo son un teclado, mouse o pantalla. Como segunda función es la de proporcionar una interfaz gráfica al usuario, donde nuestro sistema operativo funciona como un traductor entre nosotros y el ordenador, y viceversa [1].

Actualmente el uso de dispositivos móviles conocidos como Smartphone se han convertido no solo como una herramienta de trabajo sino también han sido adoptados como medio de comunicación o entretenimiento, es por eso que al día de hoy en las diferentes tiendas de aplicaciones de sus respectivos sistemas operativos tanto Android® como iOS© se pueden encontrar miles de aplicaciones con diferentes funciones.

Este artículo tiene como función principal el describir todo el proceso de análisis y diseño de la aplicación móvil MICONINCI 3.0 del Congreso Internacional de Ciencias de la Ingeniería. La aplicación MICONINCI 3.0, inicia su desarrollo con la necesidad que tiene el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo de estar a la vanguardia en

<sup>1</sup> Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Av. Tecnológico S/N, Col. Periférico C.P. 35150 Cd. Lerdo, Durango, México.

la administración y promoción de eventos tanto nacional como internacionales.

MICONINCI 3.0, ofrece a los estudiantes y personas externas a la institución un lugar donde ellos puedan revisar la información de los conferencistas, ponentes y talleres en su Smartphone, añadiendo como ventaja de enviar un recordatorio minutos antes del evento con solo añadiéndolo a favoritos.

MICONINCI 3.0 trajo grandes novedades para el usuario, por ejemplo, para autenticarse debe especificar si es alumno o usuario externo, en caso de ser alumno, el proceso es aún más fácil y cómodo de usar, el alumno debe introducir la información que utiliza para ingresar al sistema Conect XXI. Otra de las novedades es la implementación aún más profunda de Google™ Material Design, el cual permite dar un toque mucho más simple y llamativo a la aplicación. Otro de los cambios relevantes, es la nueva forma de obtener y mostrar la información de los eventos, es decir, al momento de que un usuario se autentique de forma exitosa, se procede a descargar toda la base de datos de un servidor de forma segura utilizando servicios web y posteriormente ser insertada al sistema, cada vez que el usuario inicia nuevamente la aplicación, esta procederá a comprobar nuevas actualizaciones con el fin de que el usuario siempre este actualizado.

## II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

### Smartphone

Los smartphones o teléfonos inteligentes son una nueva modalidad de los dispositivos móviles tradicionales con la diferencia de que estos poseen mucha más tecnología en su interior que los grandes avances en tecnología, microelectrónica y redes de telecomunicación permitieron la popularización de estos como herramientas de uso común. Estas terminales inteligentes poseen un sistema operativo que dan la posibilidad de la instalación de aplicaciones (apps) con el propósito de acercar a los usuarios a mundos más allá de las aplicaciones tradicionales como la voz o mensajería [2].

### Android®

Android® es un sistema operativo basada en núcleo de Linux. Fue diseñado principalmente para dispositivos móviles con pantalla táctil como lo son los teléfonos inteligentes o tabletas, pero con el paso del tiempo y la constante actualización del sistema operativo, este llegó a adaptarse y ser implementado en relojes inteligentes, televisores e incluso automóviles. Android® fue desarrollado por Android Inc., empresa que Google™ respaldó económicamente y adquirió en 2005 [3].

### Java® y JDK

Java® es un lenguaje de programación con alta caracterización técnica: orientado a objetos, robusto, seguro, independiente de la arquitectura, portable, multihilo y dinámico. El paquete de desarrollo de Java (JDK por sus siglas en inglés) es un entorno gratuito con herramientas de compilación, ejecución y depuración, que permite a los ingenieros de software construir aplicaciones, applets y componentes en Java. JDK incluye el ambiente en tiempo de ejecución para Java (JRE, por sus siglas en inglés), programas de software para la ejecución de las aplicaciones, interfaces de programación de aplicaciones (API) para clases estándar, herramientas de interfaces de usuario, entre otras utilerías [4].

### Java® para Android®

Las aplicaciones que son ejecutadas en un dispositivo con Android® están programadas en el lenguaje de programación Java® y estas corren en una máquina virtual llamada Dalvik [5]. También incluye un entorno de ejecución para las aplicaciones, un marco de trabajo (framework) de desarrollo para que los desarrollos dispongan de los servicios Android®, un kit de desarrollo de software (SDK) con complementos (plug-in), emuladores, entre otros. [6].

### Android® Studio

Android Studio es el entorno de desarrollo integrado oficial para el desarrollo de aplicaciones para el sistema operativo Android. Su desarrollo es gracias al software de IntelliJ IDEA que a su vez su desarrollador es JetBrains, su licencia es la de Apache 2.0 y puede ser corrido en múltiples plataformas, haciéndolo un excelente entorno para desarrollar aplicaciones. [7]

### Librerías externas

Las librerías en términos computacionales, funcionan como fragmentos de códigos auxiliares para mejorar o aumentar las capacidades del lenguaje de programación utilizado, estas son insertadas en la mayoría de las veces al principio de nuestro código. El concepto de librerías externas es el mismo, pero más ampliado, estas han sido fabricadas por expertos programadores y podemos utilizarlo de forma repetitiva cada vez que sea necesario. Las librerías externas usadas en la aplicación son:

- API Google™ Maps
- Librería ZXing Android Embedded
- Librería GmailBackground
- Librería BetterSpinner

- Librería Multiline-collapsingtoolbar
- Librería Picasso
- Librería Butter Knife
- Librería FloatingActionButton

### Web Service

Un Web Service, o Servicio Web, es un método por el cual las computadoras o dispositivos móviles dentro de una red se comunican con el fin de transferir información, mediante el uso de colecciones de protocolos y estándares ya definidos y abiertos, la forma más habitual de utilizar dichos servicios es cuando se tienen diferentes lenguajes de programación que funcionan en diferentes plataformas, comúnmente llamado interoperabilidad.

### JSON

JSON (JavaScript Object Notation) es un formato de texto ligero utilizado para la transferencia de información de forma rápida, la estructura con la que está construida permite a los seres humanos leerlo y escribirlo sin ninguna dificultad, mientras que para las máquinas sucede de la misma manera, fácil de interpretarlo y generarlo. Este está basado en los lenguajes de programación JavaScript y Standard ECMA-262 3rd Edition. [8].

### SQLite

SQLite es una biblioteca que implementa un motor de base de datos SQL transaccional, auto-contenido, incorporado. SQLite lee y escribe la base de datos SQL completa en archivos de disco. SQLite es una biblioteca compacta, con todas las funciones habilitadas, su tamaño puede ser inferior a 500 KB. Estas características han erigido a SQLite en una opción ampliamente seleccionada por los desarrolladores para sus aplicaciones de base de datos en dispositivos como teléfonos móviles, PDAs, reproductores de música, entre otros [9].

## III. RESULTADOS

### 3.1 Fase de Inicio

MICONINCI, cuenta con dos versiones desde su publicación, la Versión 1.0 en el año 2017 y Versión 3.0 en el año 2019, dichas versiones se encuentran publicadas en la tienda de Google™ Play.

Para la elaboración de los diagramas de caso de uso, se utilizó la herramienta de software orientada al lenguaje unificado de modelado StarUML®.

Para la elaboración del prototipo (maquetado) de ambas versiones de la aplicación, se utilizó el software libre NinjaMock®, el cual ofrece una amplia gama de

herramientas que te facilitan el proceso que el desarrollo del aspecto visual de un software pueda conllevar.

La arquitectura utilizada para la aplicación es de tipo cliente-servidor; el cliente es la aplicación instalada en el dispositivo móvil y el servidor es una computadora en la que se ejecuta una interfaz de programación de aplicación. la aplicación hace la petición al server cada vez que el cliente lo solicite, es decir, las peticiones están en función de las necesidades del cliente.

En términos generales, la aplicación realizará las siguientes funciones que son mostradas en el gráfico 1:



**Gráfico 1.** Funciones de MICONINCI 3.0.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se describen con más detalle estas funciones, y cómo son soportadas por el sistema de software.

- 1) Autenticación de usuarios: El usuario debe especificar si es alumno de la institución o asistente externo, si es alumno, será necesario ingresar el número de control y contraseña que se utiliza para acceder al sistema CONECT XXI, en caso contrario, únicamente se pedirá el número de folio, el cual le fue generado al inscribirse al congreso.
- 2) Completar registro: Este módulo solo puede ser ingresado por el alumno, siempre y cuando no haya completado su registro al momento de la inscripción al congreso, si la aplicación encuentra que el alumno ya completo el registro, entonces este módulo no estará disponible. Los datos que solicita este módulo son: talla, teléfono y correo electrónico, los cuales serán enviados al servidor.
- 3) Obtención del KIT: El sistema deberá enviar mediante un correo electrónico la confirmación de que el estudiante ha sido registrado correctamente al congreso, en este correo también se adjuntará una imagen que muestra un código QR para obtener el KIT de bienvenida.
- 4) Obtención de los eventos mediante un servicio web: El sistema utilizando una conexión a internet y servicios web, procederá a obtener los eventos y su

información correspondiente que se llevaran a cabo en el CONINCI.

- 5) Consultar información de los eventos: El sistema deberá mostrar en menú principal de la aplicación, los eventos que se llevarán a cabo en el congreso y estos ofrecerán información específica de cada evento, estos son ordenados por categoría, color o icono.
- 6) Añadir eventos específicos a favoritos: Los usuarios ya autenticados podrán añadir eventos a la pestaña favoritos si así lo desean.
- 7) Recibir notificaciones: El sistema enviara un recordatorio en forma de notificación, de los eventos que fueron añadidos a la pestaña de favoritos. Estas notificaciones serán enviadas al usuario 5 y 15 minutos antes del evento, así como también 24 horas de dicho evento.

### 3.2 Fase de Elaboración

En la figura 1, se muestra el diagrama de clases diseñado para MiCONINCI 3.0, visualizando las nuevas funciones que son:

1. Autenticarse como alumno o asistente externo.
2. Si el estudiante no ha completado el registro, este será llevado para realizar dicha acción, obteniendo un código único QR y la confirmación vía email.
3. Obtener la información de los eventos a través de un servicio web, manteniendo al usuario actualizado en cada momento.
4. Consultar información de los eventos
  - Conferencias
  - Ponencias
  - Talleres
  - Favoritos
5. Ver ubicación.
6. Consultar información acerca del CONINCI (redes sociales, galería, etc....).
7. Añadir eventos al apartado favoritos.
8. Obtener información específica del evento seleccionado.

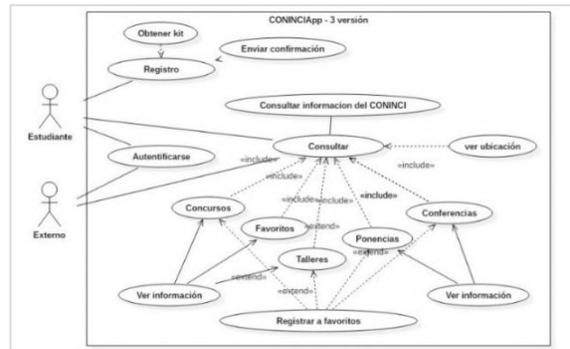


Figura 1. Diagrama de casos de uso.  
Fuente: elaboración propia.

Al ser MiCONINCI 3.0 una aplicación que requiere comunicarse con un servidor a través del consumo de un servicio web, se trabajó con dos bases de datos diferentes, la primera base de datos, es el utilizado por la página web del CONINCI, la cual está montada en el servidor del ITSL, la segundo representa la base de datos que se encuentra en la aplicación. Dichos esquemas se comunican entre sí, a través de un JSON.

Enseguida, en la figura 2, se presenta la estructura de la base de datos para MiCONINCI 3.0, en esta aún se mantiene el gestor por defecto de Android®, SQLite®.

favoritos	concursos	conferencias	talleres	ponencias
idEvento INT(11)				
Actividad TEXT				
Dia TEXT				
horario TEXT				
horaFin TEXT				
Ubicacion TEXT				
Description TEXT				
Biografia TEXT				
Expositor TEXT				
Tipo TEXT				
Edificio TEXT				
Indicador	Indicador	Indicador	Indicador	Indicador

Figura 2. Tablas.  
Fuente: elaboración propia.

### 3.2 Fase de Construcción

MiCONINCI 3.0, trajo consigo novedades con respecto al aspecto visual de la aplicación, uno de los cambios más notables fue la implementación más profunda de material design.

La figura 3 muestra las pantallas de inicio que no requieren autenticación para ser vistas: Intro activity, Splash screen y la pantalla de inicio de sesión. También se muestra la pantalla para el registro.



**Figura 3.** Pantallas principales de la aplicación.  
Fuente: elaboración propia.  
Entorno de desarrollo: NinjaMock®.

Al completar su registro o haber concluido el inicio de sesión de forma correcta, el usuario tendrá acceso al menú principal, donde los colores, sombras, bordes y otros elementos que conforman material design son visibles de forma mucho más profunda y estos son apreciables en la figura 4.



**Figura 4.** Menú principal en la nueva actualización.  
Fuente: elaboración propia.  
Entorno de desarrollo: NinjaMock®.

### 3.2 Fase de Transición

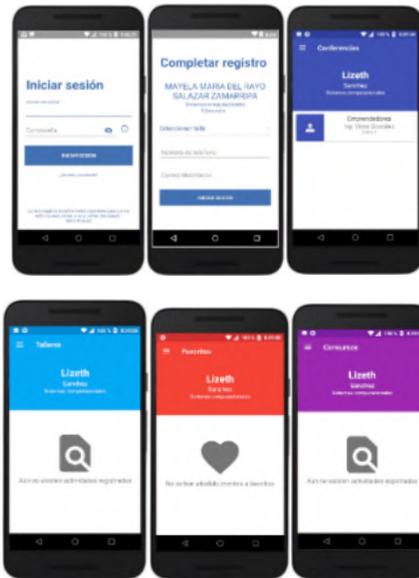
La aplicación inicia con siete pantallas principales, las cuales funcionan para dar un recorrido breve al usuario del contenido de la aplicación, estas pantallas pueden ser omitidas para dar paso a la siguiente pantalla con solo dar clic a un botón. En la figura 5 se muestran dichas pantallas.



**Figura 5.** Pantallas principales.  
Fuente: elaboración propia.  
Entorno de desarrollo: Android Studio.

Para que un usuario pueda acceder al contenido de la aplicación, deberá iniciar sesión. La aplicación pedirá al usuario que complete la información correspondiente, hecho esto, los datos del usuario son enviados por medio de POST a un servidor, el cual procesará y enviará una respuesta a la aplicación utilizando la notación JSON, si los datos son correctos, el sistema procederá a verificar si el usuario ha completado su registro al congreso de forma satisfactoria, si es así, el sistema procederá a descargar la última base de datos disponible, guardar los datos de usuario y conceder el acceso al menú principal de la aplicación, si esto es lo contrario, el sistema enviará al usuario a la pantalla correspondiente para terminar el proceso de registro. Si el estudiante no ha completado el registro al congreso, el sistema automáticamente lo enviará a la pantalla para terminar el proceso.

Los datos son registrados en el servidor el cual procederá a enviar una respuesta, si ésta fue satisfactoria, el sistema enviará mediante un correo electrónico, la bienvenida al congreso. Una vez iniciada la sesión el usuario puede acceder al contenido de la aplicación. En la siguiente figura se muestran las pantallas de la aplicación.



**Figura 6.** Pantallas de inicio sesión, registro y contenido de la aplicación.  
Fuente: elaboración propia.  
Entorno de desarrollo: Android Studio.

Con la llega de MiCONINCI 3.0, los enlaces, están diseñados en Navigation Drawer, el cual ofrece una forma elegante de mostrar enlaces. La forma de acceder al menú

es presionando el botón ubicado en la parte superior izquierda del menú principal o simplemente deslizando de izquierda a derecha desde el borde, desplegando así todos los enlaces que ofrece la aplicación. Otra de las pantallas implementadas para MiCONINCI 3.0 es la posibilidad que tiene el usuario de ver su código para obtener el kit de bienvenida al congreso, la pantalla muestra un código QR único y el número de folio en formato de texto. A continuación, se muestran dichas pantallas.



**Figura 7.** Menú desplegable y código QR  
Fuente: elaboración propia.  
Entorno de desarrollo: Android Studio.

#### IV. CONCLUSIONES

Existen muchos procesos logísticos que se pueden involucrar en la organización de congresos internacionales como el CONINCI. Para una institución descentralizada de educación pública en el estado de Durango, México, como es el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, el hecho de disponer de tecnologías móviles para la difusión de la información relacionada con ese evento académico, ha significado un cambio radical respecto a las prácticas anteriores de comunicación, tanto al exterior del instituto como hacia la comunidad estudiantil.

La aplicación “MICONINCI (3.0)” es una derivación de la aplicación de la tecnología móvil; gracias a un proceso metodológico, formal y estructurado se constituyó en un apoyo sustancial del proceso de difusión y comunicación con los asistentes al congreso, quienes son los principales actores. Esta nueva versión de MICONINCI maneja notificaciones, agenda, registro de usuarios, así como también se integraron mejoras de diseño, funcionalidad y compatibilidad, respecto a la primera versión.

MICONINCI 3.0 responde a la necesidad de adaptación a las nuevas plataformas de comunicación al interior de los espacios educativos y refrenda el compromiso de innovación del ITSL en todos los rubros con propuestas de calidad.

#### V. REFERENCIAS

- [1] Lasso, I. (2015). “Proyecto Autodidacta”. Disponible en: <http://www.proyectoautodidacta.com/comics/funciones-del-sistema-operativo/>
- [2] Roca Ch., J. (2019). “InfomeTICfacil”. Disponible en: <http://www.informeticplus.com/que-es-un-smartphone>
- [3] Báez, M., Borrego, Á., Cordero, J., Cruz, L., González, M., Hernández, F., Zapata, Á. (2018). *Introducción a Android*. Madrid: E.M.E. Editorial ©.
- [4] Joyanes, L. (2014). *Programación en C, C++, JAVA y UML*. McGraw-Hill Interamericana.
- [5] Project, A. O. (2019). Android Open Source Project. Disponible en: [https://source.android.com/devices/tech/dalvik#top\\_of\\_page](https://source.android.com/devices/tech/dalvik#top_of_page)
- [6] Blanco, P., Camarero, J., Fumero, A., Warterski, A., Rodríguez, P. (2009). *Metodología de desarrollo ágil para sistemas móviles. Introducción al desarrollo con Android y el iPhone*. Madrid (pp. 1-30).
- [7] Gironés J. T. (2012). *El gran libro de Android*. México D.F.: Alfaomega.
- [8] JSON.org. (2019). “JSON”. Disponible en: <https://www.json.org/json-es.html>
- [9] SQLite.org. (2019). “SQLite” Disponible en: <https://www.sqlite.org/about.html>
- [10] Torossi, A. G. (2004). *El Proceso Unificado de Desarrollo de Software*. Disponible en: <https://docplayer.es/1775372-El-proceso-unificado-de-desarrollo-de-software.html>
- [11] González H. M. (2015). *Programación en Lenguaje Java*. Cantabria. Disponible en: <http://ocw.unican.es>
- [12] Google, Developer Android. (2018). *Android Developer*. Disponible en: <https://developer.android.com/guide/topics/manifest/manifest-intro?hl=es-419>
- [13] Lázaro, D. (2018). “Introducción a los Web Services” Disponible en: <https://diego.com.es/introduccion-a-los-web-services>
- [14] Mathieu, M. J. (2014). *Introducción a la programación*. México. Grupo Editorial Patria, S.A. de C.V. (p. 7)
- [15] Segador, J. (2015). “Librerías para inyectar vistas en Android”. Disponible en: <http://jonsegador.com/2015/11/butter-knife-libreria-para-inyectar-views-vistas-en-android/>
- [16] Tardáguila M. C. (2009). “Dispositivos Móviles y Multimedia”. Disponible en <http://mosaic.uoc.edu>
- [17] Ramírez. V. R. (2012). “Métodos para el desarrollo de aplicaciones móviles”. PID\_00176755. Disponible en: <https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents>
- [18] Yáñez, L. H. (2014). “Fundamentos de la programación 2013-2014” (Ph.D. dissertation, Universidad Complutense. Madrid.
- [19] Yeeply. (2015). *Yeeply*. “Bases técnicas para el desarrollo de aplicaciones móviles” Disponible en: <https://www.yeeply.com/blog/desarrollo-de-aplicaciones-moviles-bases-tecnicas/>

## VI. BIOGRAFÍA



**Rodríguez Lozano Karla Verónica.** Nació el 01 de junio de 1981 en la ciudad de Torreón, Coahuila. Egresada del Instituto Tecnológico de la Laguna, en el año de 2012, obtuvo el título de Ingeniero en Sistemas Computacionales, y obtuvo el grado de maestro en Administración en el año de 2005, siendo cursada esta, en la Universidad

Autónoma de Coahuila, campus laguna, ambos en México. Experiencia docente de 10 años en la impartición de clases en las áreas de sistemas computacionales con más de 27 materias distintas. Docente con actividades en el área de investigación y desarrollo tecnológico produciendo 14 proyectos de Software y un registro de marca, integrando alumnos a los proyectos de investigación. Experiencia Profesional de más de 12 años en el soporte empresarial en el ámbito de las tecnologías de la información.



**Víctor Bryan González Chávez,** ingeniero en sistemas computacionales egresado del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, orgullosamente correccaminos, actualmente trabajo para una empresa española llamada Víctor & Junior, la cual se dedica al diseño y confección de ropa para festividades y entre otras cosas, el puesto que tomo en esta empresa es como desarrollador

web, pero en mis tiempos libres desarrollo aplicaciones móviles, lo cual me ha encantado hacer ya que es un mercado muy amplio, donde el único limite es tu imaginación.



**Moreno Núñez Elda.** Nació en Gómez Palacio, Durango, México. Es ingeniera en Sistemas Computacionales por el Instituto Tecnológico de la Laguna (1996), Maestra en Administración por la Universidad Autónoma de Coahuila (2012) y Doctora en Desarrollo Educativo por la Universidad Autónoma de la Laguna (2018), instituciones en Torreón, Coah., México. Actualmente es profesora asociada 'C'

en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, en la ciudad de Lerdo, Durango, México. Imparte cátedra en la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales desde el año 2005. Colaboró ocho años en la Gerencia Regional Cuencas Centrales del Norte de la Comisión Nacional del Agua, en Torreón, Coah. México. Sus áreas de interés son la educación y la ingeniería de software.



**Flores Luévanos María Guadalupe.** Nació en Torreón, Coahuila de Zaragoza, México, es Ingeniero en Sistemas Computacionales. Egresada del Instituto Tecnológico de la Laguna. Torreón, Coah., México (2002). Estudió la Maestría en Administración. Universidad Autónoma de Coahuila. Torreón, Coah., México. (2004). Actualmente es Profesor Titular 'A' del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Cd. Lerdo. Durango,

México. Imparte cátedra en la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales. Sus áreas de interés son el desarrollo de aplicaciones móviles en el área de Sistemas Computacionales.



**Arzola Monreal Juan Martín.** Nació en Ciudad Lerdo, Durango. México, es Licenciado en Informática. Egresado del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. Ciudad Lerdo, Durango. México (2002). Estudió la Maestría en Sistemas Computacionales. Instituto Tecnológico de la Laguna. Torreón, Coahuila. México. (2007). Él actualmente es docente del Instituto

Tecnológico Superior de Lerdo, Ciudad Lerdo. Durango. México. Sus áreas de interés son las redes computacionales, investigación de operaciones y el diseño CAD y vectorial.

# Caracterización del agua procedente de la planta purificadora del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo

J.P. Castillo-Quiñone<sup>1</sup>, M. Hernández- López<sup>1\*</sup>, A. Viramontez-Acosta<sup>1</sup>, T. E. Velásquez- Chávez<sup>1</sup>,  
J.M. Martínez-Burrola<sup>1</sup>,

**Resumen**— Actualmente el Instituto cuenta con una planta purificadora de agua para satisfacer la demanda de este líquido, tanto para el alumnado como para el personal docente y administrativo, dentro de la cual se llevan a cabo los análisis y caracterización pertinentes para asegurar la calidad de la misma. Para la caracterización del agua se llevaron a cabo muestreos tanto del agua previa a su tratamiento como posterior a este. Se analizaron los siguientes parámetros: coliformes totales, coliformes fecales, color, olor, turbiedad, aluminio, arsénico, bario, cadmio, cianuro, cloro libre, cloruros, cobre dureza total, fenoles, hierro, fluoruros, magnesio, mercurio, nitratos, nitritos, nitrógeno amoniacal, pH, plomo, sodio, sólidos disueltos totales, sulfatos, SAAM, yodo residual libre, zinc y conductividad eléctrica, tomándose como referencia la NOM-127-SSA1-1994, donde se establecen los límites máximos permisibles para uso y consumo humano. Los resultados del agua purificada se encuentran dentro de los parámetros máximos permisibles por la norma, por lo que se concluye que el agua obtenida en la planta purificadora cuenta con una buena calidad para el consumo humano y así se logra satisfacer la demanda del vital líquido.

**Palabras claves**— Calidad del agua, análisis, planta purificadora

**Abstract**— The Institute currently has a water purification plant to meet the demand for this liquid, both for students and for teaching and administrative staff, within which the relevant analysis and characterization are carried out to ensure its quality. For the characterization of the water, samples of both the water prior to its treatment and after it were carried out. The following parameters were analyzed: total coliforms, fecal coliforms, color, odor, turbidity, aluminum, arsenic, barium, cadmium, cyanide, free chlorine, chlorides, copper, total hardness, phenols, iron, fluorides, magnesium, mercury, nitrates, nitrites, ammoniacal nitrogen, pH, lead, sodium, total dissolved solids, sulfates, SAAM, free residual iodine, zinc and electrical conductivity, taking as reference the NOM-127-SSA1-1994, where the maximum permissible limits for use and consumption are established human. The results of purified water are within the maximum parameters allowed by the standard, so it is concluded that the water obtained in the purification plant

has a good quality for human consumption and thus satisfies the demand of the vital liquid.

**Keywords**— Water quality, analysis, purification plant.

## I. INTRODUCCIÓN

El agua pura es un líquido insípido, incoloro e inodoro, no obstante, en el medio natural el agua dista mucho de ser pura y presenta unas propiedades específicas que afectan a los sentidos. Estas propiedades se denominan propiedades organolépticas y afectan al gusto, al olor, al aspecto y al tacto, distinguiéndose: temperatura, sabor, olor, color y turbidez [1].

El agua es el solvente universal por excelencia y uno de los factores más importantes y consumidos del mundo, nuestro cuerpo, los alimentos que digerimos, las plantas y todo ser vivo, contienen agua, por eso debemos ser cuidadosos con su consumo, nuestra mayor preocupación hoy en día es purificar el agua, debido a los daños que puede producir en estado natural proveniente de fuentes no puras o que fueron contaminadas por el ser humano [2].

Actualmente existen varios tratamientos para la purificación del agua algunos de ellos son los filtros de sedimentos los cuales únicamente remueven partículas arriba de 5 micras [3], y no remueve metales pesados. Otro filtro utilizado es el de carbón activado, el cual remueve cloro, mal olor, microorganismos y patógenos como virus y bacterias, mejora el sabor y color del agua [4].

La suavización o ablandamiento del agua es la eliminación de calcio y magnesio del agua dura. Los jabones mejoran notablemente la cantidad de espuma, evita incrustaciones en equipos y tuberías por lo que aumenta su tiempo de vida. La suavización del agua se logra generalmente usando resinas de intercambio iónico[5].

La osmosis inversa es un sistema de membranas muy sofisticado y eficiente para la remoción de iones, moléculas, partículas y bacterias [6]. La luz ultravioleta es el proceso más importante para la eliminación de microorganismos presentes en el agua, ya que destruye la información genética de: microorganismos, bacterias y algunos virus [7].

Todos estos procesos están presentes en la planta purificadora del ITSL, haciendo un proceso 100 por ciento confiable y efectivo en la purificación del agua utilizada para el consumo de alumnos y personal docente que labora en el instituto.

El presente proyecto tiene como objetivo determinar las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua

<sup>1</sup> Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. Av. Tecnológico # 1555. Col Periférico. C.P. 35150. Cd. Lerdo, Durango, México.

\*mhernandez@itslerdo.edu.mx

purificada, obtenida de la planta, para que cumpla con la NOM-127-SSA1-1994 [8].

## II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

### A. Localización del sitio

El presente estudio se llevó a cabo en un espacio asignado dentro del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, situado en Av. Tecnológico No. 1555 Sur Periférico Gómez-Lerdo Km. 14.5 de Cd. Lerdo, Dgo. Su ubicación geográfica se encuentra 25° 46' de latitud norte y 103° 31' de latitud oeste. Colinda al norte con los municipios de Mapimí y Gómez Palacio; al sur con el municipio de Cuencamé; al oriente con el municipio de Gómez Palacio y el estado de Coahuila y al poniente con los municipios de Mapimí y Nazas. El clima predominante es el seco. Tiene una altura sobre el nivel del mar de 1,355 y una temperatura media anual de 24°C.

En la Figura 1 podemos apreciar una vista frontal de la planta purificadora de agua del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo.



Figura 1. Planta purificadora del ITSL

### B. Toma de la muestra

Para la toma de la muestra se utilizó un frasco con tapa de rosca, se limpió la boca de la salida de agua con un algodón para así evitar contaminar el interior del frasco donde se depositó la muestra de agua, al abrir la llave se dejó correr el agua durante 3 minutos aproximadamente, esto con el fin de limpiar la tubería de cualquier sinietro que estuviera estancado y pudiera afectar nuestra muestra, el tapón del frasco se quitó cerca de la salida de agua para evitar que éstos estuvieran expuestos al medio ambiente el mayor tiempo posible, al estar llenando el frasco se aseguró que no se ocupara el 100% del mismo, se tuvo que

dejar un espacio para poder realizar la agitación en el laboratorio y así poder homogenizar la muestra para su análisis; antes de cerrar el frasco se procedió a tomar ciertos parámetros como la temperatura, esto se realizó con un termómetro, se determinó el pH con tiras de pH, después se cerró el frasco y se depositó en una hielera previamente preparada con hielo en el interior para el traslado de la muestra al laboratorio.

### C. Análisis microbiológicos del agua

Se determinaron coliformes totales y coliformes fecales basándose en la NOM-181-SSA1-1998, la cual habla sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir las sustancias germicidas para tratamiento de agua, de tipo doméstico.

### D. Análisis físicos y químicos del agua

Se realizaron los siguientes análisis basándose en la norma que aplicaba para cada parámetro, los cuales fueron: Color en escala Pt/Co (NMX-AA-045-SCFI-2001), Olor (NMX-AA-83-1982), Turbiedad (NMX-AA-038-SCFI-2001), Aluminio (SM-3500-Al-B), Arsénico (SM-3500-As-B), Bario (Turbidimetric method), Cadmio (SM-3500-Cd), Cianuros (NMX-AA-058-SCFI-2001), Cloro libre (NMX-AA-108-SCFI-2001), Cloruros (NMX-AA-073-SCFI-2001), Cobre (Bicinchoninate Method), Cromo (SM-3500-Cr-B), Dureza total (NMX-AA-072-SCFI-2001), Fenoles (NMX-AA-050-SCFI-2001), Hierro (SM-3500-Fe-B), Fluoruros (NMX-AA-077-SCFI-2001), Manganeseo (SM-3500-Mn-B), Mercurio (SM-3500-Hg), Nitratos (NMX-AA-079-SCFI-2001), Nitritos (NMX-AA-099-SCFI-2006), Nitrógeno amoniacal (Salicylate Method), pH (a 25°C) (NMX-AA-008-SCFI-2016), Plomo (SM-3500-Pb-B), Sodio (método de Ion selectivo), Sólidos disueltos totales (NMX-AA-034-SCFI-2015), Sulfatos (NMX-AA-074-SCFI-2014), SAAM (NMX-AA-039-SCFI-2001), yodo residual libre (SM-4500), Zinc (SM-3500Zn-B) y Conductividad (NMX-AA-093-SCFI\_2000).

## III. RESULTADOS

### A. Coliformes totales

En el Cuadro I se puede observar que el agua cruda cuenta con 7 NMP/100ml (Numero más Probable) y después de atravesar el proceso de purificación de la planta del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo este se reduce a 0 NMP/100ml, tal como lo marca la norma [8].

### B. Coliformes fecales

Tanto en el agua cruda como en el agua purificada se puede observar en el Cuadro I que los valores obtenidos después del análisis son completamente aceptables y

dentro de la norma [8], ambos valores están en 0 NPM/100ml.

CUADRO I  
ANÁLISIS BACTERIOLÓGICOS

Parámetro	Unidades	Agua		Límites NOM
		cruda	purificada	
				127
Coliformes totales	NMP/100ml	7	0	0
Coliformes fecales	NMP/100ml	0	0	0

NMP: Número más probable

### C. Metales pesados

#### Aluminio

Se puede notar en el Cuadro II que la muestra de agua cruda cuenta con 0.010 mg/L y después del proceso de purificación esta cantidad disminuye a 0.008 mg/L, ambas muestras de agua están dentro de los límites permisibles de la norma [8].

#### Arsénico

Antes de entrar al proceso de purificación de la planta el agua cruda tiene un nivel de 0.014 mg/L de arsénico, después del proceso podemos observar una disminución en estos niveles a 0.001 mg/L, de igual manera en ambos casos se encuentran por debajo de los niveles establecidos por la norma [8]. (Vea Cuadro II)

#### Bario

En este caso no obtuvimos una variación en el nivel de Bario ver Cuadro II, al pasar por el proceso de purificación, en ambos casos, en el agua cruda y en el agua purificada el nivel se mantuvo en <0.7 mg/L, pero de igual manera la norma [8], establece que su límite máximo sea 0.70 mg/L

#### Cadmio

Manteniendo su nivel en <0.001 mg/L tanto en agua cruda como en el agua purificada, Cuadro II, nuestro proceso no puede extraer más cadmio del agua a purificar, pero de igual manera se sigue respetando el límite máximo establecido por la norma [8], el cual asciende a 0.005 mg/L.

#### Cobre

En el Cuadro II se puede notar que el cobre logró tener una disminución en sus niveles después del proceso de purificación ya que al entrar el agua cruda cuenta con un nivel de 0.10 mg/L y la finalizar el proceso el agua

purificada cuenta con un nivel de <0.04 mg/L, el nivel estipulado por la norma [8], es de 2 mg/L, lo cual indica que en ambos casos en nivel está por debajo de lo que marca la norma.

#### Cromo

Los niveles del cromo no tuvieron variación antes y después del proceso de purificación, en ambas muestras de agua se mantuvo en <0.01 mg/L, mientras que la norma indica un nivel máximo de 0.05 mg/L. (ver Cuadro II)

#### Hierro

En el Cuadro II los niveles del hierro tuvieron una disminución muy pequeña bajando de 0.03 a <0.02 mg/L, agua cruda y agua purificada respectivamente, ambos casos están muy por debajo de los niveles marcados por la norma los cuales ascienden a 0.30 mg/L.

#### Manganeso

En el Cuadro II el manganeso mantuvo un nivel de <0.10 mg/L tanto en el agua cruda como en el agua purificada, mantenemos nuestros niveles dentro del rango que indica la norma [8], los cuales son 0.15 mg/L.

#### Mercurio

En el agua cruda el mercurio marca un nivel de <0.001 mg/L, después de atravesar el proceso de purificación se nota que el nivel se mantuvo en el mismo rango, lo cual viene a ser benéfico porque es el nivel máximo que marca la norma [8]. (Ver Cuadro II).

#### Plomo

Para el plomo la Norma nos indica que su nivel máximo no debe exceder más allá de 0.010 mg/L como se muestra en el Cuadro II, pero los niveles que indicaron los análisis para ambas muestras (agua cruda y agua purificada) no exceden los 0.001 mg/L

#### Sodio

El sodio tuvo un gran descenso en sus niveles, el agua cruda indicaba 30 mg/L y al salir el agua del proceso de purificación los resultados en los análisis indicaban 1.3 mg/L, aun así ambas muestras están muy por debajo de los 200 mg/L que marca la norma ver Cuadro II.

#### Zinc

En el Cuadro II los niveles de zinc se mantienen bajos podemos encontrar 0.03 y 0.02 mg/L en agua cruda y en agua purificada respectivamente, estos niveles se

encuentran muy por debajo de los 5 mg/L que indica la norma.

CUADRO II  
ANÁLISIS DE METALES EN EL AGUA

Parámetro	Agua cruda	Agua purificada	Límites NOM 127
	mg/L		
Aluminio	0.010	0.008	0.20
Arsénico	0.014	0.001	0.025
Bario	< 0.7	< 0.7	0.70
Cadmio	< 0.001	< 0.001	0.005
Cobre	0.10	< 0.04	2
Cromo	< 0.01	< 0.01	0.05
Hierro	0.03	< 0.02	0.30
Manganeso	< 0.10	< 0.10	0.15
Mercurio	< 0.001	< 0.001	0.001
Plomo	< 0.001	< 0.001	0.010
Sodio	30	1.3	200
Zinc	0.03	0.02	5

#### D. No metales

##### Cianuros

Los cianuros en ambas muestras indicaron 0.001 mg/L en agua cruda y agua purificada, como se puede observar en el Cuadro III, mientras que la norma indica que la máxima cantidad permitida para estos compuestos debe ser de no más de 0.07 mg/L

##### Cloro libre

En el Cuadro III las muestras de agua están casi en su totalidad limpias de cloro libre marcando en ambas muestras una cantidad de 0.01 mg/L y la norma nos da un índice de tolerancia entre 0.2 a 1.5 mg/L

##### Cloruros

Los cloruros mostraron una cantidad de 10 mg/L en la muestra de agua cruda, este nivel descendió hasta 1.5 mg/L en el análisis de agua purificada, pero ambas muestras se mantenían muy por debajo del nivel indicado en la norma, cuyo máximo permisible tiene que ser de 250 mg/L. como se puede observar en el Cuadro III.

##### Dureza total

En el Cuadro III los niveles de dureza total en el agua cruda resultaron ser elevados, indicando un total de 206 mg/L, aun así, aún está por debajo de los 500 mg/L que marca la norma, satisfactoriamente después de terminar el proceso de purificación el agua obtenida tiene un total de 0 en dureza total.

##### Fenoles

Podemos observar en el Cuadro III que 0.003 mg/L fue el resultado obtenido en la muestra de agua cruda analizada, en si este ya es un nivel bajo a comparación con los 0.30

mg/L que indica la norma como límite máximo, pero al analizar la muestra de agua purificada el resultado obtenido fue de 0.002 mg/L.

##### Fluoruros

Reduciendo su nivel en el agua cruda de 0.64 hasta 0.03 mg/L en el agua purificada después del proceso de purificación, las muestras están más que perfectas para el consumo humano, debido a que la norma nos pide un máximo de 1.5 mg/L (Cuadro III).

##### Nitratos

Los nitratos en el Cuadro III mostraron un resultado de 0.6 mg/L en el agua cruda pero este nivel se logró reducir a la mitad después del proceso de purificación llegando a 0.3 mg/L, aun así, están por debajo del límite de la norma, el cual indica que no puede excederse de más de 10 mg/L.

##### Nitritos

En el Cuadro III, Los nitritos son casi inexistentes en ambas muestras mostrando un nivel de 0.002 mg/L, mientras que la muestra indica que el límite permisible no debe superar 1 mg/L.

##### Nitrógeno amoniacal

El límite permisible para este parámetro indica que no debe exceder más allá de 50 mg/L, lo cual para nuestras muestras no indicó ningún inconveniente debido a que ambas muestras indicaron un máximo de 0.01 mg/L. (Cuadro III).

##### Sólidos disueltos totales

Los sólidos disueltos totales en el agua cruda fueron de 328 mg/L, lo cual nos demuestra que está muy por debajo de lo estipulado en la norma la cual dice que el máximo para este parámetro debe de ser de 1000 mg/L como se puede apreciar en el Cuadro III, satisfactoriamente después de analizar el agua que había sido purificada el resultado fue de tan solo 3 mg/L

##### Sulfatos

Los sulfatos no deben exceder más allá de 400 mg/L, nuestras muestras se encuentran de igual manera por debajo de ese nivel, obteniendo 65 mg/L en el agua cruda y tan solo 2 mg/L en la muestra del agua que había sido purificada. (Cuadro III).

##### Sustancia Activa al Azul de Metileno (SAAM)

Como se puede observar en el Cuadro III los resultados en el agua cruda y en el agua purificada son iguales indicando 0.01, lo cual está muy por debajo de lo marcado por la norma, 0.50 mg/L

*Iodo residual libre*

Los niveles de iodo en las muestras de agua indican que existe 0.04 mg/L tanto en agua cruda como en agua purificada, lo cual está por debajo del límite permitido en la norma la cual indica que el iodo tiene como máximo estar presente en el agua entre 0.2 a 0.5 mg/L. (Cuadro III)

CUADRO III  
ANÁLISIS DE NO METALES PRESENTES EN EL AGUA  
PURIFICADA

Parámetro	Agua cruda	Agua purificada mg/L	Limites NOM 127
Cianuros	<0.001	<0.001	0.07
Cloro libre	<0.01	<0.01	0.2 a 1.5
Cloruros	10	<1.5	250
Dureza total	206	0	500
Fenoles	0.003	<0.002	0.30
Fluoruros	0.64	0.03	1.5
Nitratos	0.6	<0.3	10
Nitritos	<0.002	<0.002	1
Nitrógeno amoniacal	<0.01	<0.01	0.50
Solidos disueltos totales	328	3	1000
Sulfatos	65	<2	400
SAAM	<0.01	<0.01	0.50
Iodo residual libre	<0.04	<0.04	0.2 a 0.5

SAAM= Sustancia Activa al Azul de Metileno

*E. Análisis Físicos*

*Color*

EL color en la escala de platino/cobalto no debe exceder más allá de 20 (Ver Cuadro IV), y en ambas muestras podemos encontrar que la escala se encuentra en 0, antes del proceso de purificación y después del mismo.

*Olor*

La norma indica que para las muestras el olor simplemente no debe de ser desagradable, pero tanto en el agua cruda como en el agua purificada se determinó que ambas son inodoras (Ver Cuadro IV).

*Turbiedad*

En el Cuadro IV las unidades nefelométricas de turbiedad nos reflejaron valores de 0.03 y 0 en agua cruda y agua purificada respectivamente, mientras que el nivel máximo marcado por la norma es de 5 UTN

*pH*

Las unidades de pH en la muestra de agua cruda indicaron un total de 7.57 como se puede apreciar el Cuadro IV, este parámetro es aceptado dentro de la norma la cual nos dice que el pH debe estar entre 6.5 y 8.5, pero el análisis del agua purificada nos dio como resultado un total de 5.72.

*Conductividad*

La conductividad que se encontró en los análisis de agua cruda fue bastante elevada, con 542  $\mu$ S/cm, luego de purificar el agua esta cantidad fue reducida en demasía, obteniendo un total de 5.5  $\mu$ S/cm, pero de igual manera no hay un registro exacto que avale cual es la cantidad permitida en el agua para este factor, ya que este se ve afectado por la cantidad de iones disueltos en el agua. (Cuadro IV)

CUADRO IV  
ANÁLISIS FÍSICOS EN EL AGUA

Parámetro	Unidades	Agua cruda	Agua purificada	Limites NOM 127
Color	Pt/Co	0	0	20
Olor	-----	Inodora	Inodora	No desagradable
Turbiedad	UTN	0.03	0.0	5
Conductividad	$\mu$ S/cm	542	5.5	-----

UTN= Unidad Nefelométrica de Turbidez, pt/Co=Unidad platino/cobalto

IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Se concluye que los resultados obtenidos de los análisis realizados a las muestras de agua cruda y de agua purificada son satisfactorios ya que cumplen con los resultados esperados, disminuyendo en la mayoría de los casos casi por completo los niveles en los parámetros que se analizaron cumpliendo con NOM-127-SSA1-1994.

En los análisis microbiológicos el agua cruda emitió un total de 7 NMP/100ml en coliformes totales, la cantidad máxima permitida por la norma debe ser 0 y al analizar el agua purificada el valor concordó con lo marcado dentro de la norma los cual nos indica que la planta puede eliminar satisfactoriamente este tipo de bacterias.

Se recomienda hacer análisis del agua tanto del agua cruda como el agua purificada por lo menos una vez cada 6 meses para determinar los niveles.

Se recomienda realizar los retro lavados de los filtros en el tiempo estipulado por el proveedor, así como los mantenimientos necesarios y cambio del filtro pulidor para que la planta siga trabajando como hasta ahora lo ha hecho.

V. AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Tecnológico Superior de Lerdo por facilitar sus instalaciones y laboratorios , para la realización de este proyecto

## VI. REFERENCIAS

- [1] Orellana, J. (2017). *Características del agua potable*. Argentina : Ingeniería Sanitaria- UTN-FRRO.
- [2] Arboleda, F. M. (2009). Importancia del agua en la nutrición de los cultivos. *Carta trimestral*, 3.
- [3] LENNTECH. (21 de Julio de 2017). *Filtros de sedimentos*. Obtenido de LENNTECH: <https://www.lennotech.es/filtros-y-filtracion/filtro-de-sedimentos.htm>
- [4] Cruz, G. G. (2016). Tratamiento complementario de agua potable utilizando carbon activado . Manglar .
- [5] Mcfarland, M. L. (2004). *Problemas del gua potable: hierro y manganeso*. Cooperative de texas extensión .
- [6] Hernández, A. (2007). Microfiltracion, ultrafiltracion y osmosis inversa .Vol. 4 Edition.
- [7] Rivas-Pérez, R., & Sotomayor-Moriano, J. (2014). Control predictivo generalizado de las variables críticas de una unidad de ósmosis inversa. In *Memorias del XVI Congreso Latinoamericano de Control Automático, CLCA* (pp. 642-647).
- [8] Mexicana, N. O. (1994). NOM-127-SSA1-1994. Bienes y servicios. Método de prueba para la determinación de cadmio, arsénico, plomo, estaño, cobre, fierro, zinc y mercurio en alimentos, agua potable y agua purificada por espectrometría de absorción atómica.

## VII. BIOGRAFÍA



**Hernández López Mónica** nació en Torreón Coahuila el 22 de febrero de 1983. Es Ingeniera Química en el Instituto Tecnológico de la Laguna en Torreón Coahuila, México, en el 2007. Continúo con sus estudios de postgrado en el Instituto Tecnológico de Torreón en la ciudad de Torreón Coahuila, México, obteniendo el grado de Maestra en Ciencias en Suelos en el 2010. Actualmente labora como docente, perteneciendo al departamento de Ingeniería Ambiental en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, en la Ciudad de Lerdo Durango, México.



Lerdo Durango, México.

**Viramontes Acosta Adriana**. Torreón, Coahuila. 08 de julio de 1978. Licenciatura en ingeniero Químico, Universidad Tecnológico de la Laguna, Torreón, Coahuila, México, 2000. Actualmente labora como docente, perteneciendo al departamento de Ingeniería Ambiental en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, en la Ciudad de



Lerdo Durango, México.

**Velásquez Chávez Tania Elizabeth**. Nació en la ciudad del Gómez Palacio, Durango el 6 de febrero de 1987. Cursó la carrera de Químico Farmacéutico Biólogo en Facultad de Ciencias Químicas de la UA de C en la ciudad de Saltillo, Coahuila terminando los estudios en el año 2009. Tiene maestría en Ingeniería Bioquímica en la Escuela de Ciencias Biológicas de la UA de C en la ciudad de Torreón Coahuila terminando esta misma en el año 2013. Actualmente labora en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, como docente de la división de Ingeniería Ambiental.



**Martínez Burrola, Juan Manuel**. Nació el 12 de Noviembre de 1985 en Matehuala, San Luis Potosí, Mex. Obtuvo el título de Ingeniero Químico en Alimentos en la Facultad de Ciencias Químicas de la

Universidad Autónoma de Chihuahua, en la Cd. de Chihuahua, Mex., en Junio de 2009. Posteriormente concluyó sus estudios de posgrado en la Especialidad de Mecatrónica en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo (ITSL), en cd. Lerdo, Dgo. Méx., en febrero de 2016.

Él actualmente labora como Profesor de Tiempo Completo en el ITSL en la División de Ambiental, donde su principal responsabilidad es el Laboratorio de Ambiental. Además, colabora activamente en el Departamento de Investigación y Desarrollo del ITSL en proyectos ambiciosos de distintas áreas como la mecánica, electrónica y tratamiento de agua.

El Ing. Martínez ha publicado el artículo: "Effect of cooking on the capsaicinoids and phenolics contents of Mexican peppers" para la revista arbitrada Food Chemistry, Volume 119, Issue 4, 15 April 2010, Pages 1619-1625. Ha participado en diferentes congresos exponiendo los trabajos de I +D del ITSL.



**Castillo Quiñones Juan Pablo**. Nació en la ciudad de Durango, Dgo. El 8 de marzo de 1994, acutalmente cursa el noveno semestre de la carrera en Ingeniería Ambiental en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo.

# Aspectos técnicos sobre la certificación en la norma ISO-50001 Sistemas de Gestión de la Energía del I.T.Laguna

F. S., Sellschopp-Sánchez<sup>1\*</sup>, M. A., Lira-Sifuentes<sup>2</sup>, L., Lozano-Cuellar<sup>2</sup>, J. M., De La Fuente-Guerrero<sup>2</sup>

**Resumen**—Este artículo muestra aquellos aspectos y consideraciones técnicas relevantes para llevar a cabo la certificación en la norma ISO-50001, en Sistemas de Gestión de la Energía que se logró obtener en el Instituto Tecnológico de La Laguna. Para ello es importante tener diversa información y datos históricos que permitan establecer las tendencias de uso de las diferentes fuentes o tipos de energía empleadas en la institución, así como un análisis de las variables relevantes que afectan el entorno referente al consumo energético. Finalmente, con toda la información obtenida y los análisis pertinentes referentes a consumos y oportunidades que coadyuvan a mejorar el desempeño energético, se logró cumplir con los aspectos técnicos necesarios para lograr la certificación en esta norma.

**Palabras claves**— Consumo Energético, Desempeño Energético, Eficiencia Energética, Gestión de Energía, Variables Relevantes.

**Abstract**—This paper shows those aspects and relevant technical considerations to carry out the certification on the ISO-50001 standard, in Energy Management Systems that was obtained for the Instituto Tecnológico de La Laguna. In order to achieve this, it is important to have diverse information and historical data that allow establishing the trends of use of the different sources or types of energy used in the institution, as well as an analysis of the relevant variables that affect the environment regarding energy consumption. Finally, with all the information obtained and the pertinent analyzes concerning consumption and opportunities that contribute to improve energy performance, it was possible to comply with the technical aspects necessary to achieve certification in this standard.

**Keywords**— Energy Consumption, Energy Performance, Energy Efficiency, Energy Management, Relevant Variables.

## I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha incrementado el interés por el uso de las energías limpias derivado de los cambios climáticos originados en principio por la contaminación medioambiental, así como por el encarecimiento y elevación de costos de los combustibles fósiles al predecir

el agotamiento de las reservas petrolíferas. Estos dos factores importantes han sido motivo de cambio en las políticas públicas de tal manera que existen disposiciones de eficiencia energética aplicables a la administración pública federal de nuestro país. En este contexto se realizan acciones para ahorrar energía y aumentar la eficiencia energética de equipos y/o sistemas que hagan uso de cualquier tipo de energía que provoque contaminación medioambiental así como incremento de costos en las facturas de energía.

En el ámbito del impacto de la contaminación ambiental existe la norma ISO-14001, en la cual se aborda el rubro de las emisiones contaminantes por la utilización de la electricidad, consecuentemente es necesario conocer la demanda y el consumo de energía eléctrica mensual en el periodo de dos o más años con la finalidad de analizar las tendencias enfocadas a la reducción del consumo de energía eléctrica, [1]. Por otra parte, y dependiendo del tipo de usuario empresarial, se tiene la necesidad de conocer la forma en cómo se consume la energía, principalmente cuando no se logra el cumplimiento de la meta en la reducción de consumos. En consecuencia es necesario realizar el levantamiento de cargas consumidoras de energía eléctrica, así como analizar las tendencias de crecimiento de dicha empresa. Con esta información se logra obtener claridad de análisis de consumos energéticos y determinar el por qué no es posible cumplir con dichas metas de reducción.

Referente al manejo eficiente de la utilización de la energía, se tiene la norma ISO-50001, en donde se busca principalmente la detección de los dispositivos que más consumen energía y con ello determinar una serie de acciones o planes para decrementar los factores o índices de desempeño energético que relacionan los consumos de energía respecto a los productos, espacios o actividades establecidos por el usuario empresarial. De esta manera, a pesar de los cambios que puedan surgir en la empresa y con ello modificar los consumos, los índices pueden permanecer casi invariables. Con esta diferencia substancial con respecto a la ISO-14001, se puede tener una métrica con información más relevante respecto al manejo eficiente de la energía. Así mismo, el tener un levantamiento de cargas consumidoras de energía es necesario para establecer de alguna manera los comportamientos de consumo energético y correlacionar aquellas variables consideradas relevantes que modifican el consumo de acuerdo a la evolución de dichas variables relevantes.

El Programa de Eficiencia Energética de la

<sup>1</sup> Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de La Laguna, División de Estudios de Posgrado e Investigación en Ingeniería Eléctrica, Blvd. Revolución y Av. Instituto Tecnológico de La Laguna, S/N, C.P. 27000, Torreón, Coahuila, México.

<sup>2</sup> TecNM/I.T.Laguna, Centro de Mejora Continua, Depto .Eléctrica-Electrónica

\* [sellschopp@hotmail.com](mailto:sellschopp@hotmail.com).

Administración Pública Federal (APF) -Inmuebles-2019, establecido en las Acciones y Programas de la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUE), “tiene como objetivo establecer una meta de ahorro de energía obligatoria en los inmuebles (oficina y otros usos) de las Dependencias y Entidades de la APF, mediante el establecimiento y seguimiento de la mejora continua en usos, prácticas y nuevas tecnologías, así como la utilización de herramientas de operación y control que contribuyan a la preservación de los recursos energéticos del país”, [2]. Así mismo, los objetivos del programa se extienden al uso de flotas vehiculares e instalaciones industriales de la APF, cuyos tipos de energía pueden incluir la electricidad, combustibles y gas.

Este trabajo presenta algunos aspectos técnicos relevantes que coadyuvaron a lograr la certificación en la norma ISO-50001 sobre el Sistema de Gestión de la Energía.

## II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

### A. Norma ISO-50001 para el Sistema de Gestión de la Energía (SGEn)

La norma ISO-50001 es una norma internacional enfocada a organizaciones, instituciones y sectores productivos que ayuda a mantener y mejorar el desempeño energético, buscando reducir el consumo de energía en aquellos procesos que son ineficientes o representan un inadecuado uso de la energía, [3]. Para tener una mejora del desempeño energético se considera la optimización del uso y consumo de la energía en sus diferentes actividades, así como por la selección de las diferentes fuentes de energía que se puedan disponer al proponer cambios tecnológicos, lo que puede dar lugar a una reducción importante de las facturas energéticas, figura 1. Así mismo, la vigilancia de la organización para mantener o mejorar el desempeño energético debe plasmarse en una política energética, en conjunto con los objetivos y metas que sean alcanzables, con la finalidad de evaluar la aplicación de las acciones planeadas para mejorar la gestión de la energía que consumen las organizaciones. Por tanto, la aplicación de la norma debe tender a reducir costos en las facturas de energía, reducción de los gases de efecto invernadero, aumento en la productividad debido al menor uso de energía y atacar el problema del derroche de energía a través de mecanismos como campañas de concientización, encuestas, capacitaciones, adquisición de equipo de alta eficiencia por el departamento de compra, entre otros, [3].

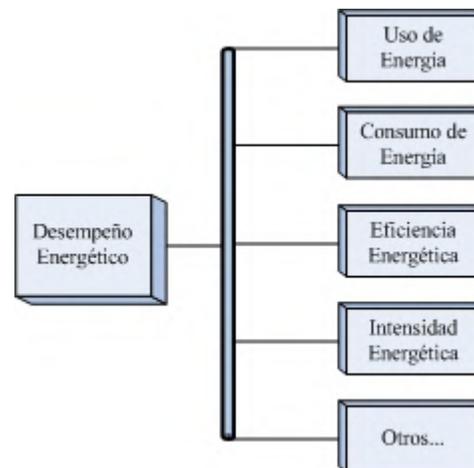


Figura 1. Conceptualización del desempeño energético, adaptada de [4]

El desempeño energético es un concepto muy amplio en el que se consideran diversos factores en su evaluación, con resultados medibles que se relacionan con la eficiencia energética, el uso y consumo de la energía, [4]. Además de esto, el desempeño energético considera aspectos referentes a factores o variables relevantes que modifican el uso de la energía, la intensidad energética y la producción en la organización.

De acuerdo a las definiciones establecidas en [3] y retomadas en [4], la eficiencia energética es una proporción u otra relación cuantitativa entre un desempeño, los resultados de servicios, las salidas de bienes o energía, y las entradas de energía, ec.(1).

$$\eta = \frac{\text{Energía de salida}}{\text{Energía de entrada}} \quad (1)$$

El uso de la energía es aquel que responde a un consumo sustancial y/o que ofrece un potencial considerable para la mejora del desempeño energético; este uso significativo de la energía es determinado por la organización, basado en el diagnóstico de desempeño energético realizado a la planta o instalación.

Finalmente, el SGEn se basa en el ciclo de la mejora continua, donde la organización establece una política energética, con objetivos, metas, y planes de acción que incluyen requisitos legales e información relacionada con el uso significativo de la energía. Un SGEn permite alcanzar los compromisos que se derivan de su política, tomar acciones a medida que necesite mejorar su desempeño energético y demostrar la conformidad del sistema con los requisitos de esta Norma.

### B. Proceso de Implantación del SGEn

Este es un trabajo donde se deben identificar factores de influencia, internos y externos a la organización que

intervienen en el desempeño energético, como lo pueden ser factores sociales, ambientales, económicos, entre otros. Como se sabe, la energía es fundamental para la operación de las organizaciones y ésta comúnmente representa un costo significativo. Conociendo la forma en cómo se usa y consume la energía en la organización, iniciando desde el suministro hasta el uso final con el cual se obtiene el producto que ofrece la organización, se valorará la importancia de la misma. Por tanto, el consumo innecesario de energía puede representar un alto costo económico para las organizaciones, [5].

La determinación de la utilización de la energía en la organización precisa de la realización de un diagnóstico energético, con lo que se establece la importancia de los usos de la energía. A partir de esto se pueden encontrar procesos o equipos ineficientes que provocan pérdidas de energía ya sea por un uso inadecuado, detectar dispendio de energía o falla del mismo proceso o equipo.

Una vez que se finaliza el diagnóstico energético es necesario establecer la Línea de Base Energética (LBEn). Ésta es definida como la base de tiempo para comparar los consumos energéticos pasados con el presente y así analizar, tanto las proyecciones del consumo energético cómo los indicadores de desempeño energético (IDEn). Estas comparativas se realizan principalmente con los IDEn tomando en cuenta aquellos factores que afectan el uso y consumo de la energía, tales como crecimiento significativo de infraestructura, crecimiento de la

organización, y otras variables relevantes. Dicha LBEn puede ser ajustable de manera conveniente con la finalidad de obtener un seguimiento tangible de los IDEn.

Finalmente, el concepto de desempeño energético considera los usos que se dan a la energía con la finalidad de saber en dónde se está empleando y que variables relevantes afectan. También toma en cuenta la forma en que se consume la energía al conocer las cantidades utilizadas de los diferentes tipos de energía, la intensidad energética que es la energía necesaria para obtener una unidad de producto o servicio y las medidas disponibles para fomentar la eficiencia y el ahorro de energía.

En la figura 2 se muestra la simplificación de la planeación e implantación de un SGen empezando con la consideración de las entradas que existirán en el SGen, pero que éstas entradas dependen de los resultados de un buen diagnóstico energético. Así mismo, los resultados de esta planeación se obtienen del diagnóstico energético, los cuales son los ejes rectores de la implantación del SGen. En conclusión, el análisis del diagnóstico energético contemplado desde el cómo se consume la energía, sus variables relevantes y la relación de los indicadores de consumo energético por variable relevante, conllevan a tener un buen diagnóstico del desempeño energético cuyos resultados deben ser la reducción de indicadores de desempeño energético vistos como una mejora en el desempeño energético.

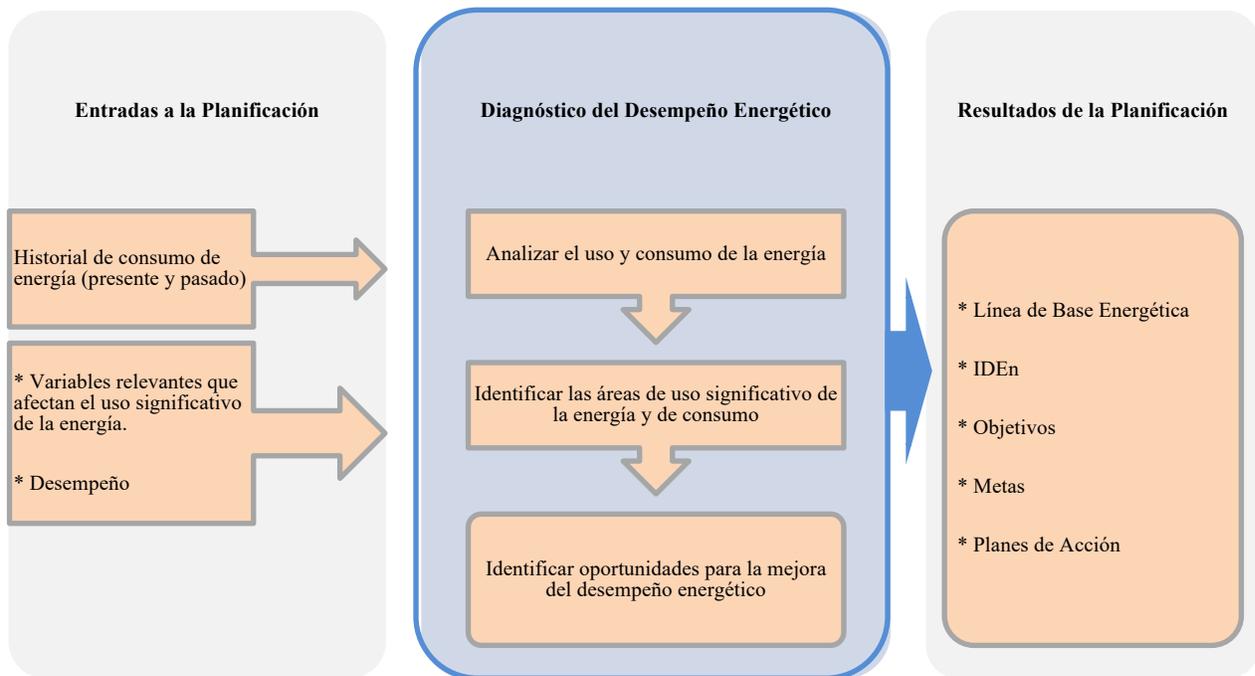


Figura 2. Proceso para planificar e implantar un SGen, adaptado de [4].

*C. Diagnóstico Energético del ITLaguna*

El diagnóstico energético es la base del SGen, ya que de éste se establecen diversos puntos requeridos para la certificación en la norma ISO-50001.

**1) Generalidades de la Organización**

Institución de educación superior que está localizada al norte del país en una región semidesértica, el clima que prevalece es del tipo seco semicálido, donde las temperaturas en verano pueden alcanzar los 50°C a la intemperie (38°C promedio máximo en los meses de mayo-junio), y en invierno se alcanzan temperaturas mínimas promedio de 8 a 10 °C en los meses de diciembre a febrero. La época de calor inicia regularmente en el mes de marzo y termina en el mes de septiembre con temperaturas en un rango de 36 a 39°C promedio, teniendo así más de medio año con temperaturas elevadas.

La institución está asentada en una gran superficie contando con más de 40 edificios, entre oficinas directivas y vinculación, edificios de laboratorios con aulas, edificios de aulas con algunas oficinas, oficinas de jefes de departamentos, audiovisual, mantenimiento, espacios deportivos, alberca, gimnasio y biblioteca. Todos los edificios cuentan con suministro de energía eléctrica y dos de ellos tienen suministro de gas para las prácticas de laboratorio. Además se cuenta con una caldera alimentada por combustible diésel para la ejecución de prácticas.

Actualmente, la institución está reconocida como institución de educación de alto desempeño que está en constante expansión con un crecimiento promedio de población de aproximadamente el 4% por año, contabilizando administrativos, docentes y alumnos de las licenciaturas, ingenierías, maestrías y doctorado. En este mismo sentido, la infraestructura del ITL también ha crecido en favor de los servicios educativos que presta la institución, considerando que en el año 2015 creció alrededor del 14% en número de metros cuadrados construidos.

A partir de esta información se prevé que los aspectos de la temperatura medioambiental y el crecimiento de población son variables que afectan el uso y consumo de energía. En cambio, el crecimiento de los metros cuadrados de construcción es eventual pero también incide en uso y consumo de energía. Por ello, las variables relevantes son la temperatura, crecimiento de población y metros cuadrados de construcción.

**2) Tipos de energía empleados**

Se emplean tres tipos de energéticos en la institución que por orden de importancia son, electricidad, combustible y gas LP, figura 3. En suma, la cantidad de energía consumida en el ITL en un año estuvo repartida con 92.27% para electricidad, 4.54% para gasolina, 2.62% para Diesel y 0.58% para GasLP. Por tanto, se consideran

dos grupos principales de fuentes Combustibles y Electricidad.

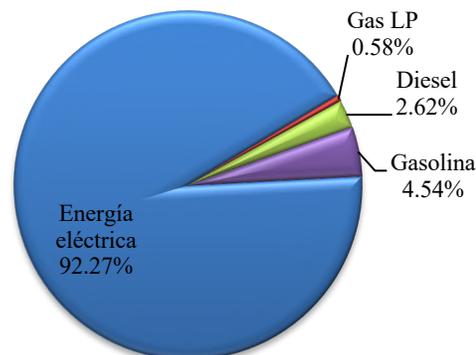


Figura 3. Consumos porcentuales de energía en un año

**a) Combustibles**

Los combustibles son empleados principalmente en vehículos de transporte, tanto de gasolina como diésel, pero también se cuenta con una caldera a diésel que se emplea para prácticas de laboratorio varias veces por año cuyo consumo de combustible es importante. Además se tiene también el gas LP para uso en 2 laboratorios de química y comedores. Los combustibles forman parte de los insumos energéticos del ITL y representaron el 7.7% del total de la energía consumida en la institución, figura 3. Aun cuando el porcentaje de energía en combustibles se considera reducido, tomando como referencia el diagrama de Pareto para toma de decisiones 80-20, es importante analizar el consumo de estas fuentes para establecer estrategias de reducción del consumo, sobre todo porque se tendrá un impacto positivo al medioambiente al reducir emisiones de gases contaminantes de efecto invernadero.

En este rubro de energéticos se cuenta con información limitada, teniendo solamente los consumos en litros para gasolina y Diésel, y el consumo en kg para el gas LP, los cuales se muestran en términos porcentuales en la figura 4.

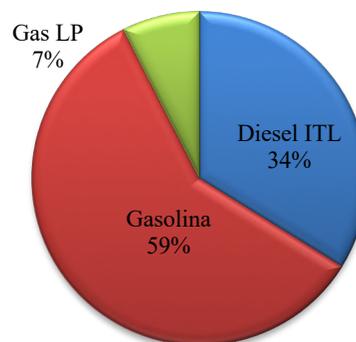


Figura 4. Consumos porcentuales de combustibles en un año

Dado que se busca obtener índices de desempeño energético, es necesario tener un registro detallado por vehículo de la distancia recorrida de los vehículos con la

finalidad de establecer indicadores de desempeño energético en km/litro para los automóviles, litros/hr para las prácticas de laboratorio y kg/hr de gas para las prácticas de laboratorio. De todos estos indicadores, los más accesibles son los km/litro en vehículos, mientras los otros indicadores representan mayor grado de complejidad para obtenerlos directamente al carecer de equipo de medición instalado en sitio.

**b) Energía eléctrica**

Actualmente se cuenta con un registro detallado de las diversas variables eléctricas que proporciona el suministrador de energía eléctrica a través de los recibos de facturación que extrae de sus medidores, los cuales se calibran periódicamente cada tres años. En este registro se tienen los consumos totales de la institución, ya sea por año, mes y medidor. Asimismo, se cuenta con registros de la demanda facturable, factor de potencia y los consumos en horario base, intermedio y punta. En la elaboración de este análisis se consideran los recibos de todas las subestaciones por mes, analizando el consumo de energía eléctrica, el cobro por Distribución-Capacidad y las temperaturas promedio máximas y mínimas del medioambiente. Las temperaturas son un factor importante que trasciende en el consumo de la energía eléctrica.

El consumo de energía eléctrica establece una medida del cómo se emplea la energía eléctrica en el instituto, por lo que, tratar de reducir el consumo significa dejar de utilizar equipos de gran consumo o emplear equipos con consumo eficiente de energía eléctrica. La figura 5 ilustra la estimación del consumo de energía eléctrica por tipo de equipo consumidor.

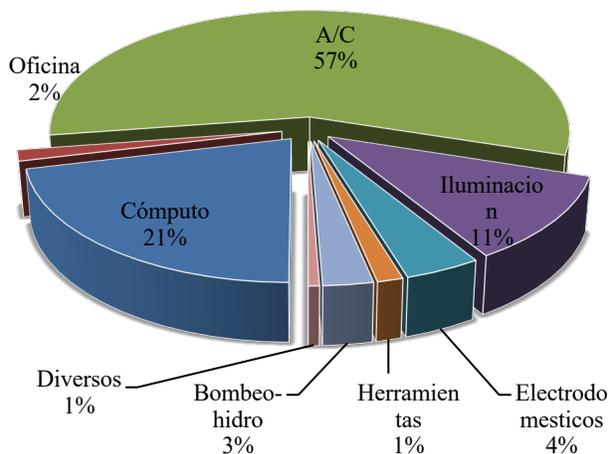


Figura 5. Estimación del consumo por tipo de equipo consumidor de energía eléctrica

El comportamiento del consumo de energía eléctrica está fuertemente ligado a las temperaturas elevadas (considerado mayor a 32°C) que regularmente inician en el mes de abril y finalizan en octubre. Estos consumos

mensuales se visualizan en la figura 6.

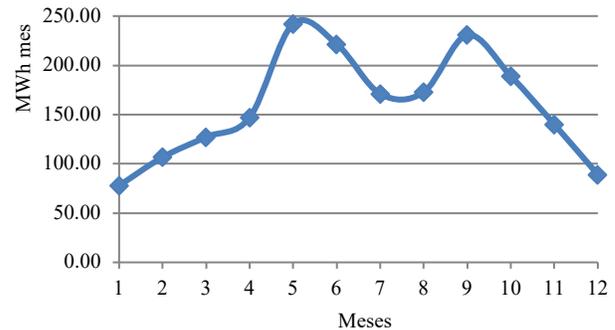


Figura 6. Comportamiento del consumo de energía eléctrica en un año

El consumo de energía eléctrica en la institución depende de las variables del clima al presentar consumos estacionales, además de estar relacionadas con las mismas actividades escolares al reducirse en los meses 12 y 1, (enero y diciembre) y meses 6 a 8, (junio-agosto).

El consumo de energía anualizado de 2010 a 2018 se visualiza en la figura 7, en donde existen dos incrementos importantes de consumo: años 2011 y 2015. En el año 2011 se tuvo el acontecimiento climático de helada negra con la quema de flora por las temperaturas congelantes y en el año 2015 se tuvo la puesta en operación del centro de información del instituto. Ambos eventos tuvieron un impacto en los incrementos de consumo energético.

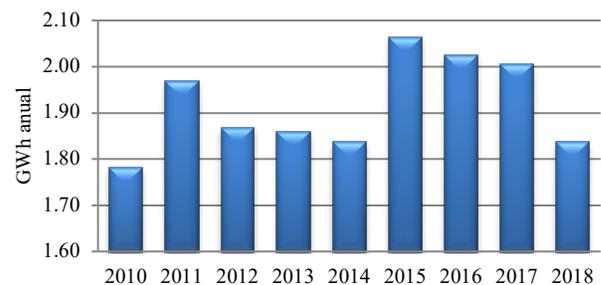


Figura 7. Consumo anual de energía eléctrica

A partir de la información de los recibos de CFE se pudo extraer la información de los consumos horario de energía eléctrica, que se ven en la figura 8. En esta se puede apreciar que el consumo en tarifa base es mayor al 10% del consumo total por año en el ITL, por lo que si se considera que en 2017 se tuvo un consumo total de 2,000MWh (ver fig. 7), entonces el 10% resulta en un consumo de 200MWh por año (200,000 kWh año).

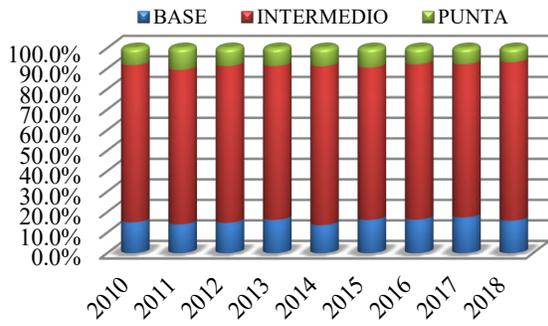


Figura 8. Consumos de energía en tarifa horaria

Dado que la tarifa base se contabiliza de madrugada, iniciando de 0:00 hrs a 6:00 hrs, se determina la carga conectada durante ese periodo en uno de los años del estudio, el cual se visualiza en la figura 9.

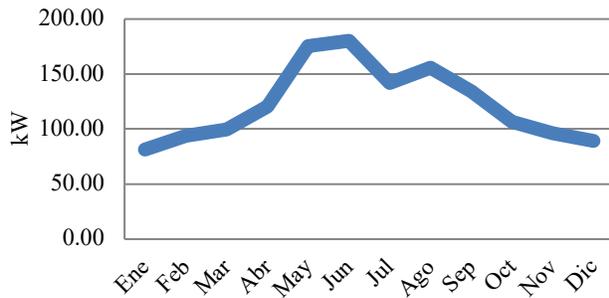


Figura 9. Carga diaria estimada en la madrugada

#### D. Indicadores de Desempeño Energético en Energía Eléctrica (IDEn)

Los indicadores de desempeño energético que se establecen en el ITL son dos; uno es la relación del consumo de energía contra número de personas oficialmente adscritas a la institución y el otro es el consumo de energía contra los metros cuadrados construidos en la institución. Con estos indicadores es posible obtener una relación estandarizada en donde el crecimiento en la población y crecimiento en las construcciones, manifestarán una medida de relación. Con el crecimiento en cualquiera de los rubros se tendrá indistintamente un aumento en el consumo de la energía eléctrica, por lo que al emplear dichas relaciones se podrá realizar una comparativa que indique si el consumo va incrementándose por aspectos de baja eficiencia energética o por otros factores diferentes a estas dos relaciones, figura 10.

Por tanto, para manejar los indicadores de desempeño energético se establece la Línea de Base Energética, donde, de acuerdo al comportamiento del consumo de energía eléctrica y al índice de crecimiento de población

en el ITL, se toma el tiempo de un año para diagnosticar dichos indicadores.

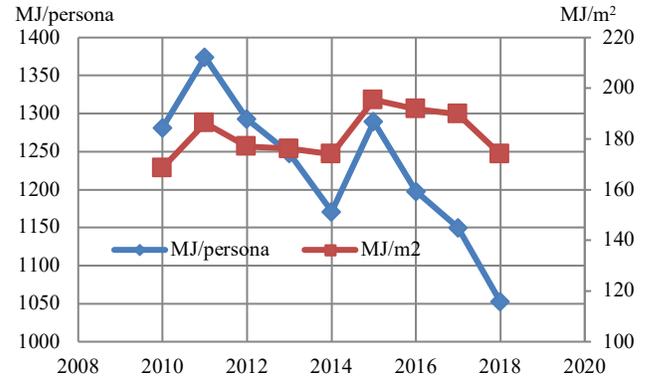


Figura 10. Indicador de consumo por persona y por metro cuadrado

Ambos IDEn muestran tendencias en la reducción del consumo de energía por persona y por metro cuadrado, excepto en los años 2011 y 2015 por lo acontecido.

### III. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

El proceso de obtener el diagnóstico energético en la institución inició con el levantamiento de información de todos los equipos que consumen energía, siguiendo la clasificación de éstos por grupo, edificio y servicio de CFE. Este es el proceso que toma el mayor tiempo dentro del diagnóstico energético. Así mismo, el acceso al historial de facturas energéticas y desglosar toda la información es también de suma importancia, ya que deben realizarse estimaciones de uso de la energía por grupos de equipos consumidores. Con todo este análisis, y la identificación de aquellas variables que incrementan el consumo de la energía, se establecen las métricas conocidos como identificadores de desempeño energético que permitirán establecer la Línea de Base Energética requerida en la certificación en la norma ISO-50001. Consecuentemente a partir de este punto, es posible identificar diversas oportunidades de ahorro energético y de uso eficiente de la energía, por lo que se procede a establecer los objetivos y las metas energéticas que deberán cumplirse o llevarse a cabo en el proceso de la recertificación en la norma ISO-50001. Estas metas y objetivos se asientan en los Planes de Acción a llevarse a cabo, indicando los riesgos potenciales de que no se puedan llevar a cabo, principalmente cuando se requiere de recurso económico para su ejecución. Por tanto, es común que primero se propongan acciones que requieran pocos recursos económicos y al final evaluar si se incluyen en el proceso de certificación aquellos planes que requieren de mayores recursos económicos. Esto último es clave no comprometerlo en el proceso de recertificación

ya que existe alta probabilidad de no llevarlo a cabo por la incipiente falta de recursos, pero si se deben tomar en cuenta en los programas como la Programación Operativa Anual de la institución como plan para llevarlo a cabo en cuanto se autoricen los recursos. Otra recomendación es que al identificar aspectos no fundamentales para la certificación, entonces deben considerarse como trabajo futuro en la revisión de medio término, con lo que se debe llevar a cabo dicho trabajo y así sea tomado en cuenta en la recertificación; algo no fundamental es la carencia de diagramas unifilares en la institución.

La aplicación de esta norma contribuye a un uso más eficiente de la energía, lo cual se traduce en ahorros económicos, reducción de gases de efecto invernadero, y lograr una mayor competitividad a nivel empresarial.

El diagnóstico energético se considera la base del SGEN, por lo que con un análisis detallado de la información pueden surgir los proyectos de mejora para usar de manera más eficiente la energía. Así mismo, el análisis de variables relevantes y los consumos de energía, permite determinar los IDen, para así revisar las tendencias de los indicadores.

Finalmente, de este diagnóstico se pueden obtener los planes de mejora que pueden ser evaluados en las siguientes revisiones de certificación y así evaluar el nivel de impacto de las propuestas.

#### IV. REFERENCIAS

- [1] NMX-SAA-14001-IMNC-2015, Sistemas de gestión ambiental – Requisitos con orientación para su uso, NORMA MEXICANA IMNC, edición 3, 2015
- [2] Web CONUE, <https://www.conuec.gob.mx/apf/>, Disposiciones administrativas de carácter general en materia de eficiencia energética en la APF, [consultado Feb 2020].
- [3] ISO 50001 Energy management systems – Requirements with guidance for use, edición 1, Switzerland, Junio 2011
- [4] NMX-J-SAA-50001-ANCE-IMNC-2011, Sistemas de gestión de la energía – Requisitos con orientación para su uso, NORMA MEXICANA IMNC – ANCE, Diciembre 2011.
- [5] SENER, Guía técnica para la implementación de Sistemas de Gestión de la Energía en el marco de una Red de Aprendizaje, Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (bmz) de Alemania, Febrero 2017.

#### V. BIOGRAFÍA

**Sellschopp Sánchez, Francisco Sergio.** Nació en Cd. Victoria, Tamaulipas el 26 de Agosto de 1972. Egresado de la carrera de Ingeniería Eléctrica del Instituto Tecnológico de Tepic en 1994 en la ciudad de Tepic, Nayarit, México.

Obtuvo el grado de M.C. en Ingeniería Eléctrica en 1999 en el Instituto Tecnológico de La Laguna y en 2003, el grado de Doctor en Ciencias en Ingeniería Eléctrica en el mismo instituto en la ciudad de Torreón, Coahuila, México. Actualmente forma parte de la planta académica del posgrado de Ingeniería Eléctrica del Instituto Tecnológico

de la Laguna en Torreón, Coahuila. Sus áreas de investigación son máquinas y redes eléctricas, calidad y uso eficiente de la energía e integración de fuentes renovables a redes eléctricas.



El Dr. Sellschopp es reconocido como perfil deseable PRODEP.

**Lira Sifuentes, Martha Alicia.** Nació en Torreón, Coahuila el 17 de mayo de 1983. Egresada de la carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad Iberoamericana Torreón en 2006 en la ciudad de Torreón, Coahuila, México.

Obtuvo el grado de Maestra en Ingeniería Industrial en 2012 en el Instituto Tecnológico de La Laguna y es candidata a Doctora en Administración y Alta Dirección por la Facultad de Contaduría y Administración de la Universidad Autónoma de Coahuila en la ciudad de Torreón, Coahuila, México. Actualmente forma parte de la planta académica de la carrera de Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico



de La Laguna en Torreón, Coahuila. Sus áreas de investigación son los sistemas de gestión: Calidad conforme la norma ISO 9001, Ambiental conforme la norma ISO 14001 y Energía conforme la norma ISO 50001.

**Lozano Cuéllar, Leticia.** Nació en Torreón Coahuila el 21 de Noviembre de 1972. Egresada de la carrera de Ingeniero en Electrónica del Instituto Tecnológico de La Laguna en 1994 en la Cd de Torreón, Coahuila, México.

Obtuvo el grado de M.C. en Ingeniería Eléctrica en 1999 en el Instituto Tecnológico de La Laguna en la ciudad de Torreón, Coahuila, México. Actualmente imparte asignaturas en la carrera de Ingeniería en Energías Renovables en el Instituto Tecnológico de la Laguna. Sus áreas de interés son el control aplicado a fuentes renovables y el uso de energía.



**De La Fuente Guerrero, Juan Manuel.** Nació en Matamoros, Coahuila el 18 de Febrero de 1973. Egresado de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales del Instituto Tecnológico de La Laguna en 1998 en la Cd de Torreón, Coahuila, México.

Actualmente es docente de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico de la Laguna abordando temas de manejo de estadísticas, procesos de fabricación, sistemas de manufactura, medición y mejoramiento de la productividad, higiene y seguridad industrial.



# Caracterización del consumo de energía eléctrica del gimnasio-auditorio del TecNM/ITLaguna

F. S., Sellschopp-Sánchez<sup>1\*</sup>, J. M., De La Fuente-Guerrero<sup>2</sup>, N. Mercado-Mora<sup>3</sup>

**Resumen**— En este artículo se presentan aspectos relevantes que permiten realizar la caracterización del consumo de energía eléctrica en un edificio destinado a las actividades deportivas de sala del Instituto Tecnológico de La Laguna. En este sentido es importante tomar conciencia del gasto energético que presenta la operación de dicho edificio por lo que se consideran las cargas que se encuentran instaladas y los tiempos aproximados de utilización de dichas cargas eléctricas. A través de esta información y con el consumo conocido de energía eléctrica, es posible dimensionar impactos económicos por kWh de consumo y ambientales en kG-CO<sub>2</sub>e de acuerdo a las condiciones de uso de las instalaciones del gimnasio auditorio del ITLaguna. Para ello fue necesario realizar un censo de las cargas conectadas y en uso, así como realizar la medición de la energía eléctrica consumida, determinar la ocupación del recinto por evento y la temperatura del medio ambiente. Los resultados obtenidos llevan a la conclusión que las variables relevantes son los aislamientos térmicos del edificio que llevan a considerar el horario de uso y la ocupación del recinto de acuerdo al tipo de evento.

**Palabras claves**— Cargas Eléctricas, Consumo, Energía Eléctrica, Ocupación, Temperatura Medioambiental.

**Abstract**— Relevant aspects that allow the characterization of the consumption of electric energy in a building destined to the hall sports activities at the Instituto Tecnológico de La Laguna are presented in this paper. In this sense, it is important to be aware of the energy outflow of the building operation, so the installed loads and the approximate time of operation are considered. Through this information and with the known consumption of electrical energy, it is possible to measure economic impacts per kWh of consumption and environmental in kG-CO<sub>2</sub>e according to the conditions of use of the ITLaguna auditorium gym facilities. For this, it was necessary to carry out a register of the connected loads in-use, as well as the measurement of the consumed electrical energy, determine the occupation of the enclosure by event and the environment temperature. The results obtained lead to the conclusion that the relevant variables are the thermal insulation of the building that lead to consider the hours of use and the occupation of the site according to the type of event.

**Keywords**— Electric Load, Consumption, Electric Power, Occupation, Environmental Temperature.

<sup>1</sup> Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de La Laguna, División de Estudios de Posgrado e Investigación en Ingeniería Eléctrica, Blvd. Revolución y Av. Instituto Tecnológico de La Laguna, S/N, C.P. 27000, Torreón, Coahuila, México.

<sup>2</sup> TecNM/I.T.Laguna, área de Licenciaturas

<sup>3</sup> Estudiante de licenciatura en ingeniería eléctrica

\* [sellschopp@hotmail.com](mailto:sellschopp@hotmail.com)

## I. INTRODUCCIÓN

La electricidad es la principal fuente energética usada en la institución, por lo que la forma en cómo se utiliza y qué equipos son los mayores consumidores, permite proponer planes de acción para reducir el consumo energético de manera significativa. En este mismo sentido, El uso eficiente de la energía, así como el uso racional de la energía, son otros tópicos que deben ser considerados cuando se busca reducir el consumo de energía en una instalación.

El tema de uso eficiente de la energía se considera muy importante en donde lo primero que se busca es reducir al máximo las pérdidas energéticas que se puedan encontrar por fallas en el sistema, pérdidas naturales por falta de aislamientos en el intercambio de energía y pérdidas por mal funcionamiento de equipos. En segunda instancia está la detección de equipos ineficientes y que pueden ser cambiados por equipo con mayor eficiencia energética o aplicando cambios tecnológicos al pasar a utilizar de un tipo de energía a otro tipo de energía.

Por otra parte el uso racional de la energía también es de gran importancia ya que se debe identificar usos dispendiosos de energía que se pueden dar, ya sea por dimensionamientos inadecuados de potencia de equipos, descalibración de ajustes en los límites de operación y/o dejar trabajando los equipos cuando no es necesario su funcionamiento. Así mismo, es útil identificar aquellos equipos que no son factibles de estar apagando y encendiendo debido a que sus procesos de arranque/energización puedan consumir grandes cantidades de energía y que por ello es preferible mantenerlos en operación continua a pesar de que no sea necesario su funcionamiento para realizar trabajo de proceso, [1]-[3].

Finalmente, el diagnóstico energético es la herramienta básica y clave, necesaria para dimensionar los aspectos anteriormente mencionados, logrando con ello establecer los tipos de equipos que consumen energía eléctrica, basado en los tiempos de uso y las mediciones que haya que realizar. En este sentido es importante realizar un correcto levantamiento de información de cargas y tiempos de uso, así como también conocer la función de dichos dispositivos para así evaluar su eficiencia, [4]-[8].

## II. EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EQUIPO ELÉCTRICO

El consumo de energía eléctrica en cualquier equipo está relacionado con la acción de ejercer un trabajo y/o generación de calor, [9]. La acción de trabajo va desde

encender un dispositivo electrónico que nos brinda algún entretenimiento, esto al fluir la electricidad a través de la pantalla de una T.V., computadora, etc., hasta el movimiento de un motor eléctrico para el equipo de aire acondicionado, bombeo, entre otros. En todo esto considerado, existen siempre diversos procesos de conversión de la energía que permitirán obtener finalmente esa acción de trabajo.

La conversión de la energía es entonces un proceso de cambio a través de algún mecanismo que transforma de un tipo de energía a otro tipo de energía, [9]. Por lo tanto, ese mecanismo de transformación habrá de consumir, derrochar o desaprovechar energía para realizar ese proceso de transformación. En este sentido, los procesos de conversión de la energía presentan una eficiencia, en donde si un sistema realiza varios procesos de conversión, entonces habrá que considerar la eficiencia de cada proceso. Finalmente la eficiencia energética considera las eficiencias de todos los procesos de conversión que requiere el sistema, quedando la siguiente relación:

$$\eta = \frac{\text{Energía}_{\text{salida}}}{\text{Energía}_{\text{entrada}}} \quad (1)$$

La medida de eficiencia en los equipos de iluminación relaciona la energía lumínica de salida con la energía eléctrica de entrada. Con esta relación es posible realizar un cálculo adecuado con base en la intensidad luminosa que requiere un área y la potencia demandada por dichas lámparas. Con ello se aborda el problema de iluminación excesiva (sobreiluminación) para lograr una correcta iluminación con la menor potencia posible, [6].

La evaluación de la energía requerida por los sistemas de iluminación se recomienda realizarla por espacios separados. Con esto, el inventario de la iluminación permite la identificación de deficiencias, la evaluación de las mejoras y la enumeración de estas mejoras. El enfoque de separación de espacios permite que la evaluación y las recomendaciones sean más rápidas y adecuadamente dirigidas, con mejores resultados y mayor ahorro de energía, estableciendo con esto la densidad de potencia de iluminación por espacio y que su valor puede ser comparado en estándares o normas, [6]. La tabla 1 se muestra como referencia valores de la eficiencia por tipo de iluminación.

La eficiencia energética determinada para los motores eléctricos rotativos relaciona la potencia mecánica en la flecha con la potencia eléctrica de entrada. La carga mecánica parcial impuesta al motor eléctrico es un factor que degrada el valor de la eficiencia del motor, y es de mayor impacto en motores de baja potencia cuyos porcentajes de carga se encuentran por debajo del 50%, [6].

Tabla 1. Eficiencia de los tipos de iluminación en Lúmenes/Watt, adaptado de [6]

Tipo de iluminación	Min	Máx	Prom
---------------------	-----	-----	------

<b>Candela</b>	---	---	0.3
<b>Incandescente</b>	10	20	15
<b>Fluorescente compacta</b>	40	65	50
<b>Fluorescente lineal</b>	50	100	75
<b>Halógena</b>	15	20	17.5
<b>Vapor de mercurio</b>	30	60	50
<b>Aditivos metálicos</b>	50	90	80
<b>Vapor de sodio alta presión</b>	85	150	120
<b>Vapor de sodio baja presión</b>	100	200	150
<b>Inducción</b>	75	95	80
<b>LED</b>	60	100	90

Cuando los motores eléctricos se encuentran inmersos en un sistema integrado como en los equipos de aire acondicionado, la carga del motor supone debe estar por arriba del 75%, por lo que la eficiencia del motor debe estar prácticamente en sus valores nominales. La función que cumple el motor dentro del sistema de aire acondicionado es proveer energía mecánica al compresor, el cual comprime el gas refrigerante pasándolo de una baja presión a una alta presión, incrementando así la temperatura del gas. Este gas presurizado con alta temperatura pasa a través del condensador para hacerse líquido y ceder temperatura. Posteriormente este líquido enfriado se pasa a través de la válvula de expansión donde tendrá una reducción de presión y por consecuencia adquirirá una muy baja temperatura. Este líquido a baja temperatura extrae calor a través del evaporador y además se convierte en gas a baja presión, el cual regresa al compresor para cerrar el ciclo de refrigeración. Este proceso del aire acondicionado tendrá una eficiencia energética que relaciona la capacidad de enfriamiento del aire acondicionado en BTU/hr entre la potencia eléctrica de entrada dada en Watts, estableciéndose así la relación de eficiencia energética del aire acondicionado (EER, por sus siglas en inglés, *energy efficiency ratio*), [6].

El coeficiente o relación de eficiencia energética en aires acondicionados es mejor cuanto mayor sea dicho coeficiente. En la tabla 2, se muestra la evolución del EER de acuerdo a lo publicado en [6].

Tabla 2. Evolución de las eficiencias promediadas del EER en aires acondicionados

Año	1976	1980	1984	1988	1992	1996	2000	2004
<b>EER</b>	6.3	7.0	7.6	8.2	8.9	9.1	9.3	9.7

### III. ANÁLISIS DEL DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO

El diagnóstico energético es una parte importante de la evaluación del desempeño energético de cualquier sistema, y a través de dicho diagnóstico se identifican los usos de la energía por tipo de carga, así como se establecen los planes energéticos para reducir el uso y consumo de energía, [1]-[9]. A partir del análisis es posible también identificar la existencia de dispendios de energía de acuerdo al tipo de tarifa que se tiene establecida y a los consumos de energía que se muestran en los recibos del suministrador. La combinación de toda esta información permite correlacionar la forma del consumo

de energía con el uso de los equipos consumidores de energía y algunas variables exógenas al sistema.

El diagnóstico energético se llevó a cabo en el edificio Gimnasio-Auditorio del I.T. La Laguna, tomando en cuenta el consumo mensual por un año y realizando mediciones con registrador de energía en algunos días, además de tomar los datos de cada carga instalada dentro del edificio.

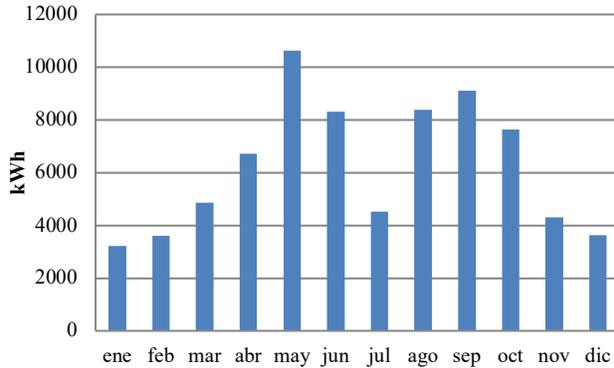


Figura 1. Consumo mensual de energía eléctrica durante un año

El consumo mensual de energía eléctrica está bajo la tarifa horaria GDMTH, teniendo registro horario base, intermedio y punta, mostrado en la siguiente figura:

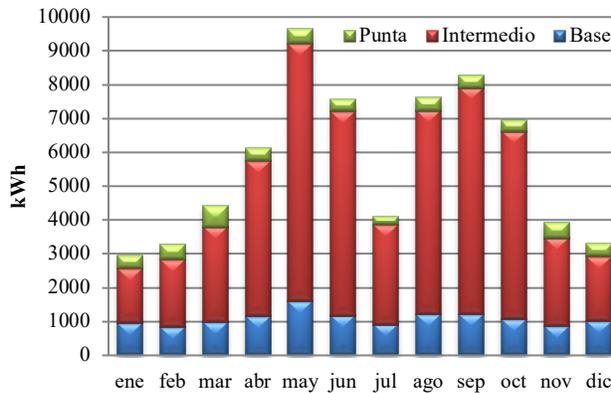


Figura 2. Consumo de energía en tarifa base (abajo), intermedio (en medio) y punta (arriba).

Considerando las actividades cotidianas en la institución, el horario de trabajo va desde las 6:30 hrs hasta las 23:00 hrs, por lo que en las madrugadas solo queda en funcionamiento los dispositivos de iluminación, algunos equipos de cómputo y switches para la red de internet. Analizando la gráfica de consumos en figura 2, se ve que existe consumo en tarifa base, por lo que se determina la potencia de la carga eléctrica que permanece conectada desde las 0:00 hrs a las 6:00 hrs.

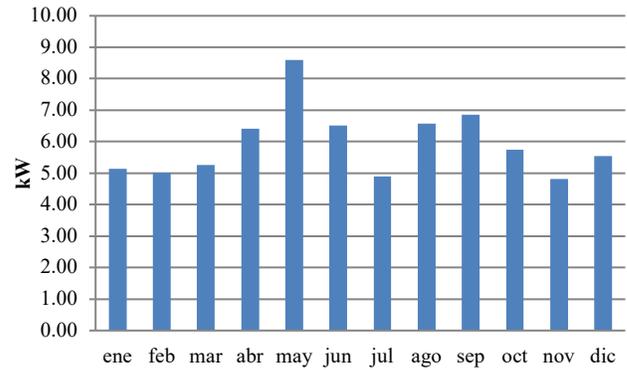


Figura 3. Estimación de carga diaria conectada en horario de madrugada en kW

En la figura 3 se observa que existe en promedio y de manera permanente por mes, una potencia conectada de 5 kW. Además se puede notar que existe incremento de potencia conectada en los meses donde se incrementa la temperatura medioambiental en la región, figura 4, por lo que esto es un indicador de que existen aparatos de aclimatación del edificio que permanecen encendidos.

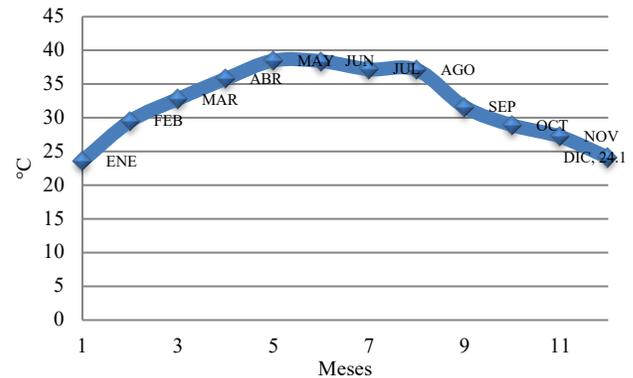


Figura 4. Temperaturas máximas promedio por mes

El conocer los tipos de cargas eléctricas conectadas en el edificio y su forma/tiempo de utilización permite por una parte tener un registro de dichas cargas y por otro lado tener un balance de energía al determinar aquellos tipos de equipos que consumen de mayor a menor cantidad de energía eléctrica. En este sentido se puede conocer los porcentajes de carga-energía que se consume por tipo de equipo y así establecer planes de ahorro de energía que sean de mayor impacto.

Se propusieron 4 tipos de equipos para contabilizar cantidades, potencia y energía consumida para un determinado mes del año. Los tipos de equipo fueron Aire acondicionado (A/C), iluminación, Electrodomésticos y equipo de oficina. En la figura 4 se muestran los porcentajes de potencia instalada por cargas que se utilizan en el edificio, de tal manera que se visualiza el impacto de

la cantidad de tipos de equipos que consumen energía eléctrica.

Para determinar el consumo mensual de energía eléctrica es necesario conocer los hábitos de uso para estimar el número de horas que operan los equipos. Esos hábitos de uso están en función de las temporadas del semestre, condiciones climáticas, eventos, entre otros. Por tanto se considera el mes de mayor consumo energético en el año, que reúne condiciones de altas temperaturas del clima, último mes del semestre y moderada cantidad de eventos. La figura 5 muestra los porcentajes estimados de consumo de energía eléctrica por tipo de equipo.

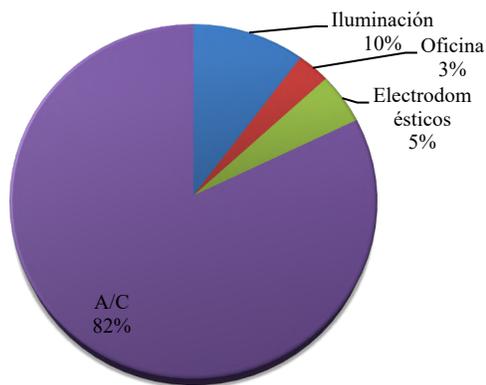


Figura 4. Porcentaje registrado de potencia instalada por tipo de carga

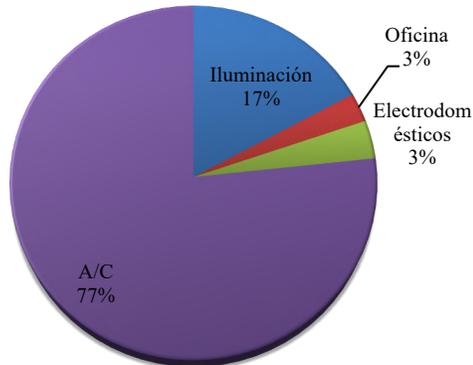


Figura 5. Porcentaje estimado de consumo de energía eléctrica por tipo de carga para mes de mayo

En estas figuras, figura 4 y 5, se aprecia que las cargas más importantes son el aire acondicionado y la iluminación, por lo que se pone especial énfasis en analizar estos dos tipos de cargas.

#### A. Diagnóstico del sistema de iluminación

El sistema de iluminación del edificio consta de mayormente lámparas fluorescentes de diferentes potencias, enseguida lámparas LED de diferentes potencias y por último lámparas de vapor de sodio. En total se cuenta con 136 elementos de iluminación dando un total de 6.8 kW instalados, cuyas potencias y energía eléctrica estimada se muestran en las siguientes figuras.

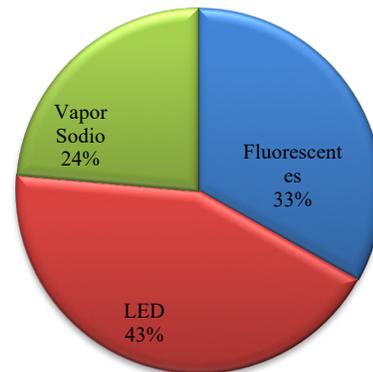


Figura 6. Porcentaje de potencia de iluminación instalada por tipo

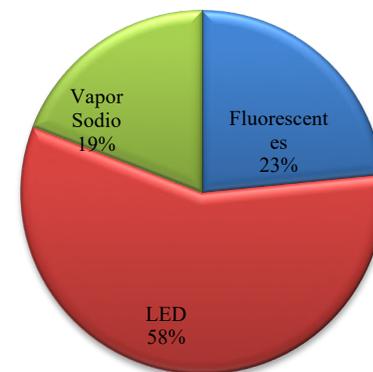


Figura 7. Estimación porcentual de energía eléctrica consumida por tipo de iluminación

Una revisión física de los niveles de iluminación a través de luxómetro y de la potencia eléctrica instalada, permite ver que el cambio de lámparas fluorescentes a tecnología LED es factible, ya que se puede ahorrar alrededor del 35% en el consumo de energía sobre este tipo de lámparas siendo que la potencia instalada en lámparas fluorescentes es de 2.25kW, además que los niveles de iluminación serían más adecuados. En términos generales del consumo energético, la iluminación representa el 17% del consumo total de la energía, por lo que reducir un 35% en iluminación significa en términos generales un 6% de ahorro en el consumo de energía de toda la instalación.

Finalmente se menciona que las áreas de oficinas y algunos espacios de actividades artísticas cuentan con buena iluminación exterior, por lo que pueden establecerse metas de reducción de consumos de energía eléctrica basada en el uso racional al apagar aquellas lámparas donde existe buena iluminación exterior.

#### B. Diagnóstico del sistema de aire acondicionado

El sistema de aire acondicionado del Gimnasio-

Auditorio del I.T.Laguna consta de 55 Ton de refrigeración (TR) a través de dos unidades centrales de 25TR que tienen tres etapas de acuerdo a la demanda de enfriamiento del área de las canchas y 4TR repartidos en tres minisplit para el área de oficinas. La primera etapa de una unidad central demanda 5.4 kWh de potencia eléctrica, mientras que la segunda etapa demanda 14.7 kW de potencia eléctrica y la tercera etapa es a potencia total de 23 kW.

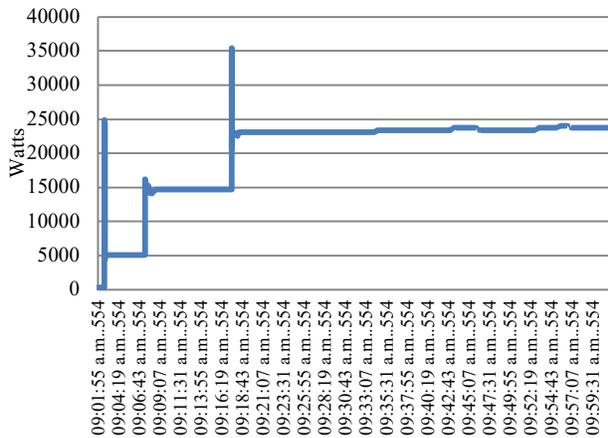


Figura 8. Demanda de potencia por etapa de una unidad central de refrigeración de 25 TR

El funcionamiento del equipo de las unidades centralizadas de aire acondicionado está en función de la temperatura detectada al interior del gimnasio en el área de las canchas. Dicha temperatura interior puede cambiar debido a dos factores principales: 1) a la ocupación que tenga en el momento y tiempo de duración, y 2) a la temperatura cálida del medioambiente.

Las siguientes figuras muestran diferentes escenarios de uso del Auditorio-Gimnasio, estando los factores de temperatura medioambiental como principal factor y la ocupación en segundo lugar.

En las figs 9 y 10 se muestran los grupos de barras en las potencias de 5kW, 15 kW y 23 kW. El caso mostrado en la figura 9 es de un día en la mañana con temperatura promedio de 26°C y la cantidad de tiempo de duración del registro es de 4 horas. De acuerdo a la estadística mostrada, la unidad central de A/C funciona principalmente en etapa 1 y etapa 2, donde la potencia de enfriamiento es al 50%; se aprecia muy pocas ocasiones trabajando en la etapa 3, que es un indicativo que la temperatura al interior se mantiene adecuada con media potencia. El caso mostrado en la figura 10 es de un día soleado al mediodía con temperatura promedio de 35°C y la cantidad de tiempo de duración del registro es de 1 hora. La estadística mostrada indica que la unidad central de A/C trabaja mayormente en etapa 3, es decir, al 100%

la potencia de enfriamiento, y un menor número de veces en etapa 2 que es de media potencia de enfriamiento.

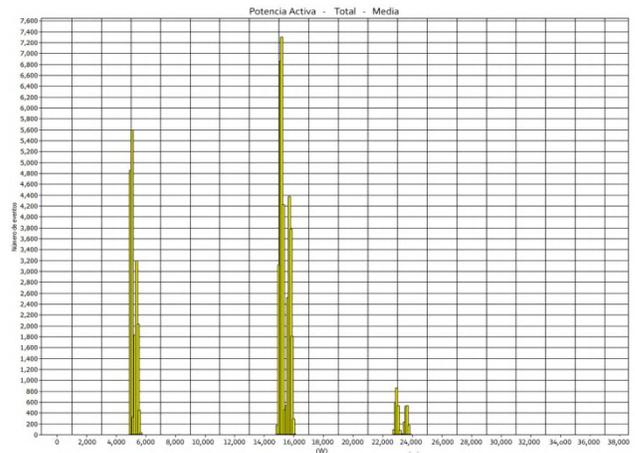


Figura 9. Estadística de demanda de energía eléctrica de una unidad central de A/C con baja demanda de refrigeración (tomadas del registrador)

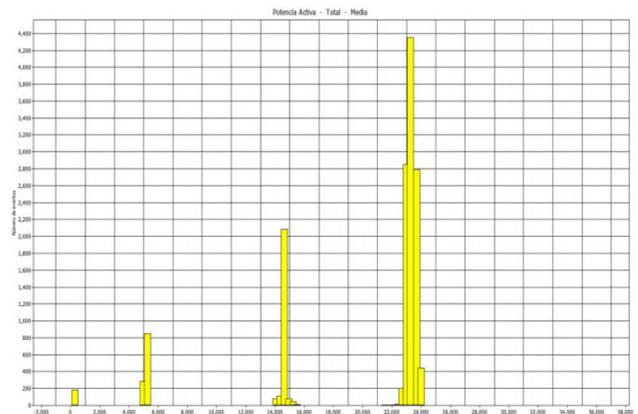


Figura 10. Estadística de demanda de energía eléctrica de una unidad central de A/C con alta demanda de refrigeración (tomadas del registrador).

Una revisión física de la edificación para detectar la pérdida del frío de la refrigeración permitió conocer los lugares por los que se escapa el frío, siendo estos los laterales de las gradas en los cuales hay un pasillo sin obstrucción para salida del aire, las dos puertas de lámina que se encuentran en la parte posterior del Gimnasio-Auditorio y la carencia de aislamiento térmico en la techumbre donde solo se tiene impermeabilizante en color blanco que ayuda a rechazar rayos de sol pero no aísla térmicamente. Debido a esto se considera que el impacto de la temperatura del medioambiente en la operación de los aires acondicionados es de suma importancia, por lo que es recomendable atender dichas fugas de energía.

#### IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los resultados reportados en este trabajo permiten establecer la relación del consumo de energía eléctrica con el uso de los equipos eléctricos de mayor importancia en cuanto a la potencia que éstos demandan. El tipo de equipo de mayor importancia es el aire acondicionado con un 77% del consumo de energía eléctrica y de acuerdo al comportamiento de la temperatura medioambiental se observó que el consumo de energía eléctrica sigue dicho comportamiento. Los meses más calurosos del año inician desde abril-mayo, concluyendo en los meses de agosto-septiembre, y los consumos de energía eléctrica se incrementan durante esos meses, excepto en el mes de julio cuando es época vacacional.

Por otro lado, revisando el desempeño energético se observó que existe consumo de energía eléctrica en las madrugadas, y el perfil de comportamiento de los incrementos de energía aparenta el uso de aires acondicionados, por lo que se tiene la recomendación de revisar este derroche de energía eléctrica. Además, las fugas de aire acondicionado para las unidades centrales de 25 TR deben ser atendidas para que aumente la eficiencia de operación de estas grandes unidades de aire acondicionado.

El segundo tipo de equipo de mayor importancia fue la iluminación, en donde existe un potencial de ahorro con la sustitución de lámparas fluorescentes por las del tipo LED, las cuales están en las áreas de oficinas, pasillos y baños. El área de canchas del Gimnasio-Auditorio cuenta con lámparas LED que otorgan buen nivel de iluminación.

Finalmente como recomendaciones y trabajo a futuro se propone la instalación de sistemas temporizadores de alimentación eléctrica en los aires acondicionados para que éstos operen solamente en un horario de trabajo acorde al gimnasio y así se evita que los equipos permanezcan encendidos durante la noche. Por otro lado se recomienda instalar sensores móviles de temperatura al interior del gimnasio para registrar y evaluar la necesidad de aislantes térmicos en techo, paredes o instalar sombras en las puertas metálicas. Por último, durante la ejecución de las mediciones se llegó a visualizar que los aires acondicionados del área de la cancha permanecen encendidos por algunas horas a pesar de que no existen actividades deportivas, por lo que también se pueden implementar medidas para ahorrar energía eléctrica cuidando estos derroches energéticos.

#### V. REFERENCIAS

- [1] Web CONUEE, <https://www.conuee.gob.mx/apf/>, Disposiciones administrativas de carácter general en materia de eficiencia energética en la APF, [consultado Feb 2020].
- [2] CIBSE Guide-F (2012), *Energy efficiency in buildings*, The Chartered Institution of Building Services Engineers, London.

- [3] Boemi, S.N., Irulegi, O., Santamouris, M., (2016) *Energy Performance of Buildings Energy Efficiency and Built Environment in Temperate Climates*, Springer.
- [4] NMX-J-SAA-50001-ANCE-IMNC-2011, *Sistemas de gestión de la energía – Requisitos con orientación para su uso*, NORMA MEXICANA IMNC – ANCE, Diciembre 2011.
- [5] NOM-020-ENER-2011, *Eficiencia energética en edificaciones.- Envoltante de edificios para uso habitacional*, NORMA Oficial Mexicana, Agosto 2011.
- [6] Shapiro, I.M., (2016), *Energy Audits and Improvements for Commercial Buildings*, Wiley
- [7] Thumann, A., Younger, W.J. (2008), *Handbook of energy audits*, CRC Press, 7<sup>th</sup> Edition.
- [8] *IEEE Standard Practice for Energy Management in Industrial and Commercial Facilities*, IEEE Standard 739-1995, 1995.
- [9] Nelson, V (2011), *Introduction to Renewable Energy*, CRC Press.

#### VI. BIOGRAFÍA

**Sellschopp Sánchez, Francisco Sergio.** Nació en Cd. Victoria, Tamaulipas el 26 de Agosto de 1972. Egresado de la carrera de Ingeniería Eléctrica del Instituto Tecnológico de Tepic en 1994 en la ciudad de Tepic, Nayarit, México.

Obtuvo el grado de M.C. en Ingeniería Eléctrica en 1999 en el Instituto Tecnológico de La Laguna y en 2003, el grado de Doctor en Ciencias en Ingeniería Eléctrica en el mismo instituto en la ciudad de Torreón, Coahuila, México. Actualmente forma parte de la planta académica del posgrado de Ingeniería Eléctrica del Instituto Tecnológico de la Laguna en Torreón, Coahuila. Sus áreas de investigación son máquinas y redes eléctricas, calidad y uso eficiente de la energía e integración de fuentes renovables a redes eléctricas.

El Dr. Sellschopp es reconocido como perfil deseable PRODEP.



**De La Fuente Guerrero, Juan Manuel.** Nació en Matamoros, Coahuila el 18 de Febrero de 1973. Egresado de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales del Instituto Tecnológico de La Laguna en 1998 en la Cd de Torreón, Coahuila, México.

Actualmente es docente de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico de la Laguna abordando temas de manejo de estadísticas, procesos de fabricación, sistemas de manufactura, medición y mejoramiento de la productividad, higiene y seguridad industrial.

**Mercado Mora, Noel.** Nació en Torreón, Coahuila el 30 de Marzo de 1994. Estudiante de X semestre de la carrera de Ingeniería Eléctrica del Instituto Tecnológico de La Laguna en la Cd de Torreón, Coahuila, México.

Actualmente es se encuentra realizando su residencia profesional sobre consumos de energía eléctrica en instalaciones del I.T. de La Laguna.



# IMPLEMENTACION DE DISEÑO “TENSIONADOR” EN MAQUINARIA CON ALTO INDICE DE SCRAP.

R.K. Martínez-Chong<sup>1</sup>, E.C. Ávila-Salomón<sup>1</sup>, K.A. Nájera-Muro<sup>1</sup>, I.R. Martínez-Díaz<sup>1</sup>.

**Resumen**—El presente proyecto busca implementar la aplicación de un prototipo en 3D, el cual lleva por nombre “Tensionador” en la empresa de giro textil, ubicada en la ciudad de Francisco I. Madero, Coahuila. El problema que se tiene actualmente es que los operadores pueden manipular la tensión del hilo, al hacer el ajuste del hilo a la tensión correcta, se genera tiempo de ocio (tiempo muerto) y esto puede afectar en la obtención de la meta diaria. Este proyecto se aplica en el área costura, el prototipo 3D, será ubicado en las máquinas de costura con el fin de generar una estandarización en la tensión del hilo, además se evitará que el operador manipule dicha tensión, con este prototipo se pretende generar la reducción de las piezas de scrap, además de reducir el tiempo de ocio y los costos de calidad, aumentando la eficiencia y mejorar la calidad del proceso.

**Palabras claves**—calidad, costos, eficiencia, productividad, kaizen, scrap.

**Abstract**— This project seeks to implement the application of a 3D prototype, which is called “Tensioner” in the textile business, located in the city of Francisco I. Madero, Coahuila. The current problem is that operators can manipulate the thread tension, when adjusting the thread to the correct tension, leisure time (dead time) is generated and this can affect the achievement of the daily goal. This project is applied in the sewing area, the 3D prototype, will be located in the sewing machines in order to generate a standardization in the thread tension, in addition it will prevent the operator from manipulating said tension, with this prototype it is intended to generate the reduction of scrap pieces, in addition to reducing leisure time and quality costs, increasing efficiency and improving process quality.

**Keywords**— costs, efficiency, kaizen, productivity, quality, scrap.

## I. INTRODUCCIÓN

El diseño se denomina como aquella operación de concebir, idear y proyectar un objeto independientemente de los medios en los que se plasma el proyecto y antes de iniciar su producción, Tomas Maldonado, para el International Council, determina que “el diseño consiste en coordinar, integrar y articular todos los factores que, de

una u otra manera se encuentran participes en un proceso constitutivo de la forma de un producto, dentro de las condiciones que determinan la producción de una sociedad dada”

El presente proyecto pretende mejorar la calidad en una empresa textil de la región, aplicando “el diseño de un prototipo 3D” denominado con el nombre de tensionador, en las máquinas de costura, dicho diseño fue creado en software “SolidWorks”, y tiene como fin evitar la manipulación por parte de los asociados (operadores), así mismo, reducir el scrap, eliminar mudas y aumentar la eficiencia de los trabajadores.

SolidWorks es un software de diseño para modelado mecánico en 2D y 3D, siendo la primera versión lanzada al mercado en 1995 con el propósito de hacer la tecnología CAD más accesible, este programa permite modelar piezas y conjuntos, extraer de ellos planos técnicos hasta información necesaria para la producción. Este programa funciona como base en las nuevas técnicas de modelado CAD. El proceso se lleva a cabo construyendo virtualmente la pieza o conjunto, posteriormente las extracciones se realizan de manera automatizada.

El tensionador se denomina como el mecanismo empleado en la máquina de costura para tensar el hilo de la aguja de coser, el concepto de tensión se enfoca al estado del hilo, el cual se encuentra sometido a la acción de costurar.

El mejorar la productividad se relaciona de manera directa con la filosofía del mejoramiento continuo, la cual supone que la forma de vida en el ambiente de trabajo, social y familiar, debe ser mejorada de manera constante, puesto que al hacer mejoras en los estándares del desempeño se mejora la calidad y productividad.

La productividad se define como la mejora del proceso productivo. La mejora significa una comparación favorable entre la cantidad de recursos utilizados y la cantidad de bienes y servicios producidos, así que la productividad se determina como un índice que se relaciona con aquello que produce el sistema, el cual se conoce como la salida o producto terminado, y los recursos utilizados para generarlos, conocidos como entradas o insumos.

La productividad es una medida de que tan eficientemente utilizamos el trabajo realizado y el capital para producir valor económico. Tener una alta productividad implica que se logra producir mucho valor económico con poco trabajo o poco capital. El aumento de productividad implica que se puede producir más con lo

<sup>1</sup> Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de San Pedro de las Colonias. Calzada del Tecnológico #53 Col. El Tecnológico C. P. 27800, San Pedro de las colonias, Coahuila, México. [Rafael.martinez@tecsanpedro.edu.mx](mailto:Rafael.martinez@tecsanpedro.edu.mx)

mismo.

Si reflejamos la productividad en términos económicos, la productividad se denomina como el crecimiento en producción que no se explica por los aumentos de trabajo, capital o cualquier otro insumo intermedio utilizado para producir.

## II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

El estudio comienza a partir del análisis de los niveles de scrap generados por la máquina, los cuales se ven reflejados principalmente en los costos que generan, y en su caso representan pérdida para la empresa.

### A. Análisis de datos.

- ✓ Se conoce que en todo el turno se generan al redor de 8 a 10 cortinas registradas en scrap.
- ✓ El precio de venta de cada cortina es de 10.6 dólares
- ✓ Realizando un pequeño cálculo se obtiene que se genera en costos de 84.4 a 106 dólares diarios en el modulo KW1.

### B. Descripción del problema.

Se encuentra como problema principal que la tensión del hilo es manipulada por los operadores, debido a que los tensionadores de la maquina no cuentan con ningún tipo de seguro, puesto que la tensión del hilo es manipulada por los asociados se provoca la falla de las maquinas por puntadas flojas lo cual arroja que el nivel de scrap se encuentre elevado.

### C. Objetivo.

Diseñar, imprimir y aplicar el prototipo 3D como seguro para evitar la manipulación de la tensión del hilo por parte de los asociados (operadores) y a su vez reducir los niveles de scrap generado.

### D. Metas.

Aplicar un diseño 3D nombrado “Tensionador”, en las máquinas de costura para así, estandarizar la tensión del hilo, de esta manera se reducirán las piezas de scrap que se obtienen.

### E. Análisis de las causas de scrap por medio del involucramiento en proceso.

Para desarrollar este punto se llevó a cabo:

- ✓ Realizar observaciones de manera directa en la operación de la máquina de costura.
- ✓ Obtener evidencias por medio de video o fotografías.

En la figura 1 se presenta el estado en el que se encontró la máquina de costura, se observa, que los tensionadores se encuentran descubiertos.

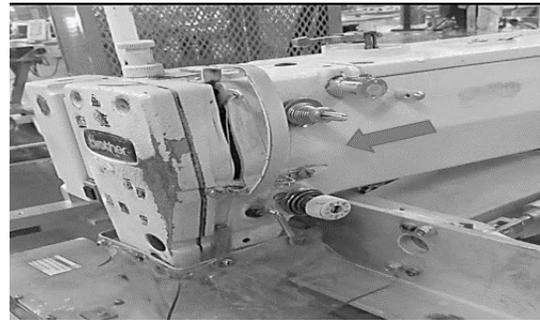


Figura 1. Estado de la máquina de costura.

Se llega a la conclusión de que “los asociados (operadores) manipulan las tensiones de la máquina, provocando así que las maquinas fallen por puntadas flojas o hilo reventado”

Se detecta como causa-raíz “tensionadores descubiertos” por lo que se toma como medida:

#### 1) Creación del primer prototipo.

Para llegar a este punto, luego de la observación e identificación del problema se realizó un diseño el software SolidWorks, posteriormente se llevó a cabo la impresión del prototipo 3D, se aplicó prototipo y se volvió a realizar observación de manera directa para verificar que el diseño estuviera realizando la función correcta.

En la figura 2 se observa la aplicación del primero prototipo 3D.



Figura 2. Aplicación del primer prototipo 3D.

Se detecto que “Al colocar el prototipo 3D (Tensionador) hay la probabilidad de presionar el resorte o los discos de la maquina; provocando alteraciones en la maquina”

Bajo este punto se detectó como causa- raíz “El diseño actual del Tensionador 3D permite sobrepasarse de las dimensiones de las perillas, provocando la presión del resorte y discos, esto causa (hilo dañado/reventado)”, gracias a este análisis se llegó al punto de:

#### 2) Crear el segundo prototipo 3D (rediseño)

Se realiza una modificación al primer prototipo 3D, generando así la aplicación de seguros para bloquear la

manipulación por parte del operador y así mismo obtener una barrera de acuerdo a la dimensión de las perillas, generando así que el resorte y el disco no se dañen, el hilo alcanza la tensión justa.

En la figura 3 se observa la aplicación del rediseño del prototipo 3D.

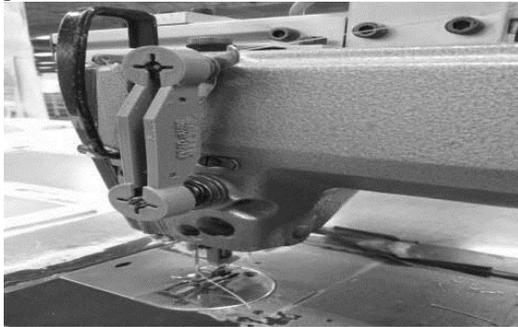


Figura 3. Aplicación del Rediseño tensionador 3D.

Con la aplicación de este diseño se observa que el nivel de scrap disminuye de manera considerable, así mismo se deja de presentar la manipulación por parte de los asociados (operadores), además este rediseño evitar que sobrepase la posición deseada a colocar.

#### F. Instrumentos aplicados.

##### ✓ Software SolidWorks

Se utilizó como instrumento principal el software SolidWorks, el cual se determina como es un software de diseño para modelado mecánico en 2D y 3D, siendo la primera versión lanzada al mercado en 1995 con el propósito de hacer la tecnología CAD más accesible. El proceso se lleva a cabo construyendo virtualmente la pieza o conjunto, posteriormente las extracciones se realizan de manera automatizada.

En la figura 4 se presenta la interfaz del software.

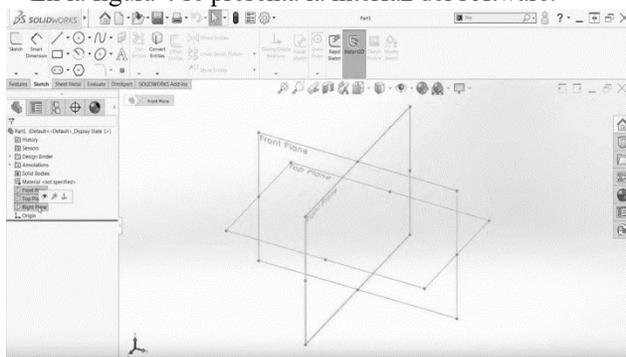


Figura 4. Interfaz de software "SolidWorks"

##### ✓ Impresora 3D.

Para llevar a cabo a impresión de los diseños 3D elaborados en software SolidWorks, se hizo uso de una impresora 3D que se encuentra dentro de la empresa. Una impresora 3D es una máquina capaz de realizar réplicas de diseños en 3D, creando piezas

o maquetas volumétricas a partir de un diseño hecho por ordenador.

En la figura 5 se puede apreciar la impresora 3D con la que cuenta la empresa.



Figura 5. Impresora 3D.

### III. RESULTADOS

Como beneficio inmediato al implementar el prototipo, se generaron menor cantidad de cortinas de Scrap, lo cual anteriormente era de 8 a 10 en promedio y se disminuyó en promedio de 3 a 5 cortinas por día de trabajo, lo cual aumentó la productividad al realizar una mayor cantidad de piezas buenas por día y se evitó el tiempo muerto por el ajuste de los hilos por parte de mantenimiento a las máquinas de coser.

La calidad en las prendas fue mayor, ya que el ajuste del hilo prácticamente fue perfecto por lo que se evitó que fuese muy holgado o apretado, según sea el caso, ya que es un factor preponderante por el cliente.

Para finalizar se destaca que este prototipo ha sido implementado en plantas hermanas del grupo industrial

### IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

La idea del diseño surge a través de la involucración directa que se tiene con el módulo, además de las observaciones realizadas durante algunos días y en base al primer diseño se llega a la creación del segundo diseño, el cual cumple con el fin de ajustar las perillas de la máquina, se obtiene como resultado que el número de piezas de scrap es igual a 0, reduciendo el tiempo de ocio, aumentando la eficiencia y calidad del producto y proceso, así mismo la reducción de costos por piezas dañadas en hilo reventado o puntadas flojas.

La aplicación del diseño fue solo en un módulo, dentro de la empresa existen tres módulos hermanos (iguales), así que con los resultados favorables que se obtuvieron se llega a la conclusión de que la aplicación del tensionador en todos los módulos podría beneficiar en mucho a la empresa.

## V. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Instituto Tecnológico Superior de San Pedro de las Colonias, por los medios proporcionados como apoyo para llevar a cabo el diseño del tensionador.

Se brinda el agradecimiento a la industria "ML Industries. Inc. de Fco. I. Madero S. de R.L. de C.V.", en el área OPW1 dentro del módulo WK1, por la oportunidad de la aplicación del tensionador, proporcionando confianza y apoyo en el proyecto.

## VI. REFERENCIAS

- [1] Ibarra-Balderas, Víctor Manuel; Ballesteros-Medina, Laura Lorena *Manufactura Esbelta Conciencia Tecnológica*, núm. 53, 2017 Instituto Tecnológico de Aguascalientes, México Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94453640004>
- [2] Armando Rodríguez Aguilera, G. G. (2012). *Eficacia y Eficiencia, premisas indispensables para la Competitividad*. Ciencias Holguín, vol. XVIII, núm. 3, 1-14.
- [3] Francisco Ganga Contreras, A. C. (marzo-diciembre 2014). *EL CONCEPTO DE EFICIENCIA ORGANIZATIVA: UNA APROXIMACION A LO UNIVERSITARIO*. Revista Lider Vol. 25. 2014, Páginas 126-150.
- [4] Gutiérrez Cortes Martha Gabriela, C. O. (junio 2018 Vol.2). *Estandarización de procesos, para la reducción de SCRAP en una empresa dedicada a la fabricación de tornillos para el sector automotriz*. Revista de Operations Technological, páginas 16-23.
- [5] Nagles García, N. (septiembre-diciembre, 2006). *Productividad: una propuesta desde la gestión del conocimiento*. Revista Escuela de Administration de Negocios, núm. 58, páginas 89-105.
- [6] Salazar, H. G. (2008). *Control Estadístico y Seis Sigma*. México, D.F.: McGRAW-HILL/INTERNAMERICANA EDITORES, S.A DE C.V.
- [7] Sanabria Rangel, P. E., Romero Camargo, V. d., & Flórez Lizcano, C. I. (julio-diciembre, 2014). *El concepto de calidad en las organizaciones: una aproximación desde la complejidad*. Universidad & Empresa, vol. 16, núm. 27, pp. 165-213.
- [8] Thompson, I. (abril 2012). *Definición de Eficiencia*. PromonegocioS.net.
- [9] Toledano De Diego, A., Mañes Sierra, N., & García, S. J. (año 2009). *"Las claves del éxito de Toyota"*. LEAN, más que un conjunto de herramientas y técnicas. Cuadernos de Gestion, vol. 9, num. 2, páginas 113-122.
- [10] Cota, A. V.-E. (2007). *Manual de Lean Manufacturing-Guia basica*. México D.F: editorial: Limusa.
- [11] Freivalds, B. W.-A. (2009). *Ingeniería industrial métodos, estándares y diseño del trabajo*. México D.F: McGraw-Hill/Interamericana editores, S.A de C.V.
- [12] Pulido, H. G. (2013). *Calidad total y productividad*. México D.F: McGRAW-HILL/InternamericanaEditores, S.A de C.V.

## VII. BIOGRAFÍA

**Martínez Chong, Rafael Kon.** Torreón Coahuila, 17 de febrero de 1982, Doctorado en Administración estratégica por el Instituto Internacional y de Administración Estratégica en la ciudad de Torreón Coahuila en el año 2019.

El actualmente trabaja como Docente en la carrera de Ingeniería Industrial en el Tecnológico Nacional de Mexico campus San Pedro, ubicado en San Pedro de las Colonias Coahuila, México.



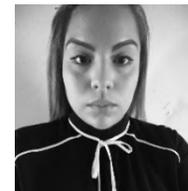
**Ávila Salomón Elsa Carolina.** San Pedro de las Colonias Coahuila, 16 de enero de 1979. Maestría en Administración de Seguridad e Higiene, Salud Ocupacional y Ecología, Universidad Autónoma de Coahuila. Torreón Coahuila. 2012. Ingeniero Químico. Instituto Tecnológico de La Laguna. Torreón, Coahuila. 2001. Diplomado en Docencia Universidad Autónoma de La Laguna. Torreón Coahuila. 2005. Diplomado en Competencias Docentes Básicas en el Nivel Superior. Centro Interdisciplinario de Investigación y Docencia en Educación Técnica. Santiago de Querétaro, Querétaro. 2008. Auditor Líder en el Sistema Integral (Calidad, Ambiental y OSHAS). WORLD REGISTER O.C. México D.F. 2014. Capacitación en la norma 50001.2018 Sistema de Gestión de Energía. Participación como auditor interno en el sistema de Gestión Integral modalidad autorías cruzadas en la Ciudad de Monclova, Coahuila en octubre 2019.

Ella actualmente labora en el Instituto Tecnológico Superior de San Pedro de las Colonias, en la Ciudad de San Pedro de las Colonias Coahuila, México. Maestro de tiempo completo, pertenece a la academia de Ciencias Básicas, colaborador en el Área de Innovación, Coordinadora de la Implementación del sistema de Gestión Ambiental, de la Norma ISO 14001, en el punto 44.6 Control Operacional y 4.4.7 Respuesta ante Emergencia en la Institución. Titular en las asignaturas de Química, Estadística Inferencial II, Administración de la Salud y Seguridad Ocupacional, Propiedad de los Materiales, Líneas de Investigación de interés: Química, Seguridad e Higiene y/o Desarrollo Sustentable.



**Nájera Muro Kevin Antonio.** Francisco Madero, Coahuila. 13 de abril de 1996. Actualmente está estudiando en el Instituto Tecnológico Superior de las Colonias en San Pedro, Coahuila, la carrera de ingeniería Industrial.

El actualmente realiza prácticas profesionales en la empresa textil "ML Industries. Inc. de Fco. I. Madero S. de R.L. de C.V.", en el área OPW1 dentro del módulo WK1.



**Martínez Diaz Iveth Del Rosario** Francisco Madero, Coahuila. 24 de enero de 1998. Actualmente está estudiando en el Instituto Tecnológico Superior de las Colonias en San Pedro, Coahuila, la carrera de ingeniería Industrial.

Ella realiza su servicio social en la escuela primaria Alfonso N. Urueta Carrillo, como requisito indispensable para poder realizar prácticas profesionales.



# Estudio de Absorción y Densidad de la Laja tipo Salmón Procedente de San José de Gracia, Molcaxac, Puebla, México

A. M. Morales-Tassinari<sup>1\*</sup>, E. Gómez-Alonso<sup>2</sup>, M. Zárate-Reyes<sup>1</sup>

**Resumen**—El estudio tuvo como propósito determinar el porcentaje de absorción y la densidad en la laja tipo Salmón procedente de San José de Gracia, Molcaxac, Puebla México. Para el ensayo de absorción se aplicó el procedimiento de la norma ASTM C121/C121M-09 utilizando 24 probetas con dimensión de 100X100X10 mm; además, para el ensayo de densidad se aplicó el procedimiento de la norma ASTM C97/C97M-15. Los ensayos consistieron en el secado de las probetas a  $60\pm 2^\circ\text{C}$  durante 48 horas, saturación en agua destilada a temperatura ambiente promedio de  $22\pm 2^\circ\text{C}$  durante 48 horas y suspensión en agua destilada a temperatura ambiente promedio de  $22\pm 2^\circ\text{C}$ . Los resultados obtenidos en este estudio fueron que la laja tipo Salmón extraída de la cantera tuvo un porcentaje de absorción del 4.38 % y una densidad de 2378 kg/m<sup>3</sup>. De acuerdo con los resultados obtenidos, la laja tipo Salmón procedente de San José de Gracia, Molcaxac, Puebla, México, no cumple con las especificaciones de la norma ASTM C629-03; por lo que, este material no es recomendado para usos donde exista demasiada humedad.

**Palabras claves**— Absorción, densidad, ensayo de absorción, ensayo de densidad, laja tipo Salmón.

**Abstract**—The study had the purpose to determine the percentage of absorption and density in the slate type Salmón from San José de Gracia, Molcaxac, Puebla México. For the absorption test the ASTM C121/C121M-09 standard procedure was apply using 24 specimens with a dimension of 100X100X10 mm; also, for the density test the ASTM C97/C97M-15 standard procedure was apply. The test consisted in the drying of the specimen at  $60\pm 2^\circ\text{C}$  for 48 hours, saturation in distilled water at an average room temperature of  $22\pm 2^\circ\text{C}$  for 48 hours and suspension in distilled water at an average room temperature of  $22\pm 2^\circ\text{C}$ . The results obtained in this study are that the slate type Salmón extracted from the quarry had an absorption percentage of 4.38 % and a density of 2378 kg/m<sup>3</sup>. According to the results obtained, the slate type Salmón from San José de Gracia, Molcaxac, Puebla, Mexico, not meets the specifications of the ASTM C629-03 standard; therefore, this material is not recommended for applications where there is too much moisture.

**Keywords**— Absorption, absorption test, density, density test, slate type Salmón.

<sup>1</sup> Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Tepexi de Rodríguez, Docente de Ingeniería Mecánica, Avenida Tecnológico s/n, Col. Barrio San Sebastián Sección Primera, C.P. 74690, Tepexi de Rodríguez, Puebla, México.

<sup>2</sup> Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Tepexi de Rodríguez. Estudiante de Ingeniería Mecánica. Av. Tecnológico s/n Col. Barrio San Sebastián Sección Primera, C.P. 74690, Tepexi de Rodríguez, Puebla, México.

\* tassinari.adolfo1973@gmail.com

## I. INTRODUCCIÓN

Desde hace mucho tiempo, la piedra laja ha sido utilizada como material para pisos y revestimientos de fachadas de casas y edificios; también, suelen usarse como piezas ornamentales. La laja o pizarra es una roca metamórfica microcristalina comúnmente derivada del esquistos y compuesta por mica, clorita y cuarzo; así, los minerales micáceos tienen una orientación subparalela y, por lo tanto, imparten una fuerte escisión a la roca que permite que esta última se divida en láminas delgadas pero resistentes [1]. Cabe mencionar que, la laja de grado arquitectónico debe de estar libre de grietas, costuras, comienzos u otros rasgos que puedan afectar su integridad estructural o función; además, las variaciones características de color inherentes de la cantera de la que se obtiene serán aceptables [2].

Las explotaciones de la laja son a cielo abierto realizadas mediante desmonte con maquinaria, perforación y voladura; de esta forma, la laja se separa con cuñas y otras herramientas clasificándose por tamaños, grosores y, en ciertos casos, se cortan y dimensionan empleando discos diamantados [3]. Los colores de la laja son variados desde el gris y ocre hasta el marrón; además, de colores azules, rojos, negros y verdes, según la incidencia de óxidos de hierro, manganeso y otros minerales. En la localidad de San José de Gracia, Molcaxac, Puebla, México, existe una cantera de laja tipo Salmón, que es una roca de color salmón con vetas oscuras; En la Figura 1, se muestra la cantera de laja tipo Salmón; mientras que en la Figura 2, se muestra la superficie de la laja tipo Salmón:



Figura 1. Fotografía de la cantera de laja tipo Salmón



Figura 2. Fotografía de la superficie de la laja tipo Salmón

Desde el punto de vista físico, las rocas presentan diferentes propiedades que se expresan por medio de parámetros que cuantifican determinados aspectos o comportamiento. En este sentido, las propiedades físicas de las rocas derivan de las características puramente petrográficas; de los minerales que las forman, de su tamaño y morfología; del volumen de poros, de su forma y de la naturaleza de los fluidos que rellenan estos poros [4]. Por lo que, pequeñas variaciones pueden producir cambios significativos en las propiedades físicas modificando su idoneidad; así, estas propiedades deben ser evaluadas en cada una de las zonas extractivas [5].

Entre las propiedades físicas importantes en las rocas destacan: la absorción que es la capacidad de una roca de llenar sus poros con agua, y la densidad que es la cantidad de masa por unidad de volumen [6]. Para determinar la absorción se realiza el ensayo de inmersión total, en el cual la filtración de agua se produce por succión y bajo la presión de la columna de agua; de esta forma, el frente húmedo avanza desde la superficie lateral hacia el núcleo interior [7]. Mientras que para determinar la densidad se realiza el ensayo de pesada hidrostática, el cual está basado en el principio de Arquímedes y para que el resultado del ensayo sea correcto debe garantizarse una buena saturación de las muestras [8].

Existen diversas investigaciones sobre las propiedades de absorción y densidad en rocas de diversas partes del mundo, por ejemplo en la cantera de La Planadera, Asturias, España, la caliza tipo Rojo Cornellana tiene una absorción de 0.2 % y una densidad de 2700 kg/m<sup>3</sup> [9]. También, en las canteras de Morata de Tajuña, Madrid, España, la caliza Morata Tajuña tiene un porcentaje de absorción de 1.6 % y una densidad de 2.58 g/cm<sup>3</sup> [10]. Además, en las canteras del Departamento de Córdoba, Colombia, la caliza denominada Mármol Royal Bronce tiene un porcentaje de absorción de 3.39 % y una densidad de 1.63 g/cm<sup>3</sup> [11].

En México también se han realizado investigaciones

sobre estas propiedades físicas, tal es el caso en el estado de Yucatán la piedra caliza tiene un porcentaje de absorción de 7.11 % y una densidad de 2.11 g/cm<sup>3</sup> [12]. También, en la Ciudad de Morelia, Michoacán, la roca del cerro El Colegio tiene un porcentaje de absorción de 0.88 % y una densidad de 2.62 g/cm<sup>3</sup> [13]. Además, en las canteras de San Juan Ixcaquixtla, Puebla, México, el travertino tipo Dorado Tepexi tiene un porcentaje de absorción de 0.91 % y una densidad de 2624 kg/m<sup>3</sup> [14]; mientras que, en la cantera de Agua de la Luna, Tepexi de Rodríguez, Puebla, México, el mármol tipo Café Tabaco tiene un porcentaje de absorción de 0.34 % y una densidad de 2773 kg/m<sup>3</sup> [15].

El presente estudio tiene como finalidad determinar el porcentaje de absorción y la densidad de la laja tipo Salmón procedente de San José de Gracia, Molcaxac, Puebla, México, aplicando los procedimientos de las normas ASTM C121/C121M-09 *Standard Test Method for Water Absorption of Slate* y ASTM C97/C97M-15 *Standard Test Methods for Absorption and Bulk Specific Gravity of Dimension Stone*. Este estudio, es importante debido a que la laja tipo Salmón para considerarse como material de exportación debe cumplir con los parámetros establecidos por la norma ASTM C629-03 *Standard Specification for Slate Dimension Stone* los cuales son: 0.25% de absorción mínima en exteriores y 0.45% de absorción mínima para interiores [16].

De acuerdo con la norma ASTM C121/C121M-09 para la obtención del porcentaje de absorción, las probetas deben secarse a una temperatura de 60±2 °C durante 48 horas para obtener su peso seco (A), y después, se saturan con agua destilada a temperatura de 22±2 °C durante 48 horas para obtener su peso saturado (B) [17]; por lo que el porcentaje de absorción (A<sub>A</sub>) se obtiene mediante la Ecuación (1):

$$A_A = \frac{B - A}{A} \times 100\% \quad 1$$

Ahora bien, la norma ASTM C97/C97M-15 menciona que para la obtención de la densidad, las probetas deben secarse a una temperatura de 60±2 °C durante 48 horas para obtener su peso seco (A), después se saturan con agua destilada a temperatura de 22±2 °C durante 48 horas para obtener su peso saturado (B), finalmente se obtiene el peso suspendido (C) mediante el método de pesada hidrostática [18]. Por lo tanto, la densidad (ρ) se obtiene mediante la ecuación (2) [18]:

$$\rho = \frac{A}{B - C} \times 1000 \quad 2$$

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

Los ensayos de absorción y densidad realizados a la laja tipo Salmón de la cantera ubicada en la localidad de San José de Gracia, Molcaxac, Puebla, México, se realizaron en el Laboratorio de Ciencias e Investigación en Materiales (LACIIM) ubicado en el Centro de Competitividad y Tecnología para la Industria del Mármol del Estado de Puebla (CECOTIMEP) perteneciente al Instituto Tecnológico Superior de Tepexi de Rodríguez (ITSTR) del Tecnológico Nacional de México (TecNM).

Además, para los ensayos de absorción y densidad se utilizaron los siguientes equipos y materiales: pulidora marca MTI KJ GRUOP modelo UNIPOL-820, vernier analógico marca MITUTOYO modelo 530-312, horno de secado marca MEMMERT modelo UP500, báscula digital marca METTLER TOLEDO modelo PB3002-S DeltaRange, contenedores de plástico duro con capacidad de 16 litros, termómetro digital marca MATEST-HANNA modelo HI-935009, 20 litros de agua destilada marca HERCOTEC, lijas con tamaño de grano 400. De la Figura 3a) a la Figura 3h), se muestran las fotografías de los equipos y materiales utilizados:



Figura 3. Equipos y materiales empleados en el ensayo de absorción y de densidad: a) Pulidora de muestras; b) Vernier analógico; c) Horno de secado; d) Báscula digital; e) Contenedores de plástico; f) Termómetro digital; g) Agua destilada; h) Lija con tamaño de grano 400.

A. Selección y preparación de las probetas

La empresa Lajas Gómez procesó las probetas para las pruebas de absorción y densidad; por lo que, se seleccionaron 24 probetas de acuerdo al color característico de la laja tipo Salmón y que cada cara tuviera una dimensión de 100X100X10 mm con una tolerancia máxima de +0.5 mm en cada lado. Las 24 probetas seleccionadas fueron pulidas con lija número 400 con una pulidora; esto se realizó, para eliminar el exceso de rugosidad superficial proveniente del proceso de corte. En la Figura 4, se muestra una fotografía del proceso de pulido de una probeta:



Figura 4. Fotografía del pulido de una probeta.

Después del pulido, se procedió a verificar que las 24 probetas tuvieran una dimensión de 100X100X10 mm con una tolerancia de  $\pm 0.5$  mm en cada una de sus caras; esto se realizó, para dar cumplimiento del tamaño de probeta recomendado por la norma ASTM C121/C121M-09. Finalmente, a las 24 probetas se le asignó un número para identificarlas durante los ensayos de absorción y densidad; por lo que, se les asignaron la numeración de la PA01 a la PA24. En la Figura 5, se muestra una fotografía de las 24 probetas preparadas y numeradas:

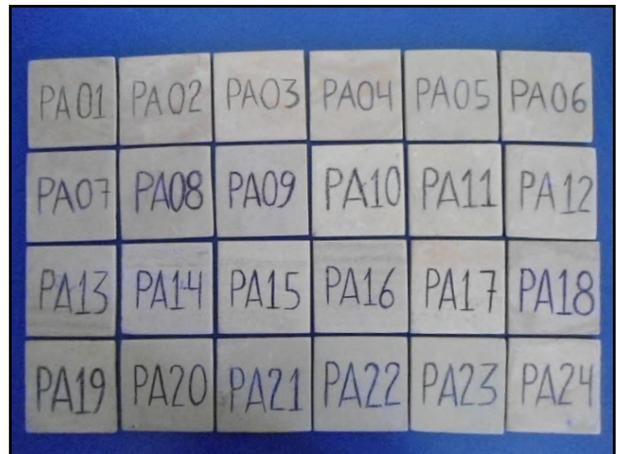


Figura 5. Fotografía de las 24 probetas numeradas.

*B. Obtención del peso seco de las probetas*

De acuerdo con la norma ASTM C121/C121-09, para el secado inicial de las probetas, se precalentó el horno a una temperatura de 60°C; después se introdujeron las 24 probetas dentro del horno a una temperatura de 60±2°C durante 48 horas; en la Figura 6, se muestra la fotografía del secado:



Figura 6. Fotografía del secado de las probetas.

Para garantizar que las 24 probetas estuvieran secas se pesaron con una báscula digital en la hora 46, 47 y 48; por lo tanto, como en estas tres horas consecutivas las 24 probetas no tuvieron cambio en su peso, se consideró que en la hora 48 las 24 probetas estaban totalmente secas. En la Figura 7, se muestra una fotografía del peso seco de la probeta PA01:



Figura 7. Fotografía del peso seco de la probeta PA01.

Cabe mencionar que, las 24 probetas secas fueron pesadas a una temperatura ambiental de 22±2 °C.

*C. Obtención del peso saturado de las probetas*

Después de obtener el peso seco de las 24 probetas, se sumergieron en agua destilada a temperatura ambiente promedio de 22±2°C durante 48 horas para que se saturaran; en la Figura 8, se muestra la fotografía de la saturación de las 24 probetas:



Figura 8. Fotografía de las 24 probetas inmersas en agua destilada.

Para garantizar que las 24 probetas estuvieran saturadas, se pesaron con una báscula digital en la hora 46, 47 y 48; por lo tanto, como en estas tres horas consecutivas las 24 probetas no tuvieron cambio en su peso, se consideró que en la hora 48 las 24 probetas estaban totalmente saturadas. En la Figura 9, se muestra la fotografía del peso saturado de la probeta PA01:



Figura 9. Fotografía del peso saturado de la probeta PA01.

Cabe mencionar que, las 24 probetas saturadas fueron pesadas a una temperatura ambiental de 22±2 °C.

*D. Obtención del peso suspendido de las probetas*

De acuerdo con la norma ASTM C97/C197M-15, para la obtención del peso suspendido, las probetas saturadas se

colocaron en una canastilla previamente conectada a la báscula digital; en la Figura 10, se muestra la fotografía del peso suspendido de la probeta PA01:



Figura 10. Fotografía del peso suspendido de la probeta PA01.

Cabe mencionar que, las 24 probetas suspendidas fueron pesadas a una temperatura ambiental de 22±2 °C.

### III. RESULTADOS

De acuerdo con la norma ASTM C121/C121M-09, a partir del peso seco ( $W_1$ ) y del peso saturado ( $W_2$ ) se obtiene el porcentaje de absorción ( $A_A$ ) de cada probeta individual aplicando la Ecuación 1 [17]:

$$A_A = \frac{B - A}{A} \times 100\% \quad 1$$

Además, la norma ASTM C97/C97M-15 menciona que a partir del peso seco (A), del peso saturado (B) y del peso suspendido (C) se obtiene la densidad ( $\rho$ ) de cada probeta individual aplicando la Ecuación 2 [18]:

$$\rho = \frac{A}{B - C} \times 1000 \quad 2$$

En la Tabla I, se muestra el resultado del porcentaje de absorción y la densidad de la laja tipo Salmón de la cantera ubicada en la localidad de San José de Gracia, Molcaxac, Puebla, México:

TABLA I  
RESULTADOS DEL PORCENTAJE DE ABSORCIÓN Y DE LA DENSIDAD

Probeta	Peso Seco A (g)	Peso Sat. B (g)	Peso Susp. C (g)	Absorción $A_A$ (%)	Densidad $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )
PA01	162.06	169.75	100.95	4.75	2356

PA02	166.43	172.96	103.95	3.92	2412
PA03	175.69	182.77	109.58	4.03	2400
PA04	162.44	168.62	101.54	3.80	2422
PA05	165.49	173.62	102.97	4.91	2342
PA06	166.75	173.19	103.99	3.86	2410
PA07	163.61	171.26	101.79	4.68	2355
PA08	158.25	165.69	98.54	4.70	2357
PA09	163.62	169.14	102.10	3.37	2441
PA10	152.53	161.45	95.00	5.85	2295
PA11	151.63	159.56	94.26	5.23	2322
PA12	155.08	163.55	96.61	5.46	2317
PA13	165.57	170.88	103.39	3.21	2453
PA14	161.75	166.96	100.94	3.22	2450
PA15	158.40	164.82	98.57	4.05	2391
PA16	165.40	170.84	103.28	3.29	2448
PA17	176.97	183.91	110.54	3.92	2412
PA18	156.38	162.68	97.73	4.03	2408
PA19	164.52	172.24	102.47	4.69	2358
PA20	169.38	177.15	105.44	4.59	2362
PA21	159.30	166.74	99.07	4.67	2354
PA22	163.35	171.31	101.48	4.87	2339
PA23	172.72	180.92	107.79	4.75	2362
PA24	164.87	173.65	102.69	5.33	2323
Promedio				<b>4.38</b>	<b>2378</b>
Desviación Estándar				<b>0.74</b>	<b>46</b>

### IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Es importante mencionar que, la norma ASTM C629-03 *Standard Specification for Slate Dimension Stone* cubre las especificaciones sobre las características del material, requisitos físicos y muestreo apropiados para la selección de lajas para fines generales de construcción y estructurales [16]; además, el *Marble Institute of America* ha declarado un rango de densidad [2]. Por lo tanto, en la Tabla II se muestra la comparación del resultado obtenido en el ensayo de absorción con respecto a los establecidos por la norma ASTM C629-03 y del resultado obtenido en el ensayo de densidad con respecto a lo establecido por la *Marble Institute of America*:

TABLA II  
COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON LOS VALORES DE LA NORMA

Propiedades	Parámetros	Resultados Obtenidos
Absorción (%) máximo <sup>[16]</sup>	0.25 (interiores)	4.38
	0.45 (exteriores)	
Densidad (kg/m <sup>3</sup> ) mínimo <sup>[2]</sup>	2723	2378

Como se muestra en la Tabla II, el porcentaje de absorción obtenido de 4.38% está por arriba de los valores máximos establecidos por la norma ASTM C629-03; además, la densidad obtenida de 2378 kg/m<sup>3</sup> está por debajo del valor mínimo establecido por la *Marble Institute of America*.

Con base en los resultados obtenidos en los ensayos de absorción y densidad, se concluye que la laja tipo Salmón procedente de San José de Gracia, Molcaxac, Puebla, México, no cumple con la especificación de absorción máxima de la norma ASTM C629-03 ni con la densidad mínima de la *Marble Institute of America*; por lo tanto,

este material no se recomienda para usos donde exista mucha humedad.

En este sentido, es recomendable utilizar hidrofugantes, que son productos que una vez aplicados sobre la superficie de la roca impiden la entrada de agua líquida en los poros de la roca, permitiendo la transpiración de la roca en forma de vapor de agua [19]. Así, con este tipo de protección se mitigan los problemas de absorción; por lo que, el material puede mantenerse seco, permitiendo con esto una durabilidad por un mayor tiempo.

#### V. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la empresa Lajas Gómez por las facilidades brindadas para la recolección de las muestras; además por haber procesado las probetas. De igual manera, agradecen al Instituto Tecnológico Superior de Tepexi de Rodríguez por prestar sus instalaciones y equipos para la realización de los ensayos de absorción y densidad.

#### VI. REFERENCIAS

- [1] Standard terminology relating to dimension stone, ASTM Standard C119-16, 2016.
- [2] Dimension Stone Design Manual Version VIII: Slate. USA: Marble Institute of America, 2016.
- [3] T. Villanueva. "La minería de la pizarra en Castilla y León, España" España: Sociedad de Investigación y Explotación Minera de Castilla y León (SIEMCALSA), 2010.
- [4] D. Benavente, A. Bernabéu y J. Cañaveras, "Estudio de propiedades físicas de las rocas", Enseñanzas de las Ciencias de la Tierra, vol. 12, no. 1, pp. 62-68, 2004.
- [5] M. Urisevich, E. Pardo, E. Ruiz-Agudo y C. Cardell. "Evaluación de las propiedades físicas de dos rocas carbonáticas usadas como material de construcción actual e histórico en Andalucía Oriental, España", Materiales de Construcción, vol. 61, no. 301, pp. 93-114, 2011.
- [6] R. Sastre y F. Muñoz. Propiedad de los Materiales y Elementos de Construcción. España: Universitat Politècnica de Catalunya, 2010.
- [7] C. Vielba y F. Hernández. "Ensayos de caracterización del comportamiento frente al agua de la piedra natural", Materiales de Construcción, vol. 52, no. 267, pp. 43-54, 2002.
- [8] F. Alonso, Durabilidad de materiales rocosos. Oviedo, España: Universidad de Oviedo, 2013.
- [9] L. Suárez, L. Calleja, I. Díez, V. Ruíz, A. Rodríguez y F. Alonso. "Características tecnológicas de las rocas ornamentales de Asturias", Trabajos de Geología, no. 23, pp. 73-84, 2002.
- [10] E. Pérez-Moserrat, C. Peropadre, R. Fort y M. Varas-Muriel. "La caliza de Morata de Tajuña, Comunidad de Madrid: una piedra tradicional de construcción en la capital a principios del siglo XX", Boletín Geológico y Minero, vol. 128, no. 4, pp. 963-988, 2017.
- [11] R. Acevedo y M. González-Guillot. "Estudio preliminar de las características petrográficas, petrofísicas y comportamiento mecánico de rocas naturales tipo "Piedra Bogotana" y "Mármol Royal Bronze" utilizadas en construcciones patrimoniales y recientes en Colombia", Revista UIS Ingenierías, vol. 18, no. 3, pp. 203-222, 2019.
- [12] L. Alonzo y L. Espinosa. "Estudio de las propiedades de la roca caliza de Yucatán", Ingeniería, vol. 7, no. 1, pp. 27-36, 2003.
- [13] M. Navarrete, W. Martínez, E. Alonso, C. Lara, A. Bedolla, H. Chávez, D. Delgado y J. Arteaga. "Caracterización de propiedades físico-mecánicas de rocas ígneas utilizadas en obras de infraestructura". ALCONPAT. vol. 3, no. 2, pp. 113-114, 2013.
- [14] A. Morales, S. Flores y J. Hernández, "Determinación de las propiedades de absorción y densidad de la roca caliza travertino tipo dorado tepexi", Ingenierías, vol. 1, no. 1, pp. 08-14, 2015.
- [15] A. Morales, M. Velasco, P. Cruz y C. Chametla. "Estudio de absorción y densidad en el mármol tipo Café Tabaco procedente de Agua de Luna, Tepexi de Rodríguez, Puebla, México", en Memorias del Congreso Internacional de Investigación Academia Journals CICS Tuxpan 2017, vol. 9, no. 4, pp. 1366-1371, 2017.
- [16] Standard Specification for Slate Dimension Stone, ASTM Standard C629-03, 2004.
- [17] Standard Test Method for Water Absorption of Slate, ASTM Standard C121/C121M-09, 2009.
- [18] Standard Test Methods for Absorption and Bulk Specific Gravity of Dimension Stone, ASTM Standard C97/C97M-15, 2015.
- [19] I. De Rosario y J. Feijoo, Alteración de las rocas y otros materiales de construcción en los monumentos: Técnicas de Conservación. Vigo, España: Servizo de Publicacións da Universidade de Vigo, 2016a.

#### VII. BIOGRAFÍA

**Morales Tassinari, Adolfo Manuel.** Nació el 19 de Junio de 1973 en Veracruz, Veracruz, México. Es:



-Ingeniero Industrial Mecánico titulado en 1998 por el Instituto Tecnológico Veracruz ubicado en Veracruz, Veracruz, México.

-Maestro en Ciencias en Ingeniería Mecánica titulado en 2015 por el Instituto Tecnológico de Veracruz ubicado en Veracruz, Veracruz, México.

El actualmente labora en el Instituto Tecnológico Superior de Tepexi de Rodríguez ubicado en Tepexi de Rodríguez, Puebla, México, como Docente de Ingeniería Mecánica; además, es líder de la línea de investigación de Caracterización e Industrialización de Materiales Pétreos.

M.C. Morales es miembro de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Mecánica (SOMIM) desde septiembre de 2017; además, obtuvo la certificación como Auditor Líder Internacional en Sistemas de Gestión en 2009, la certificación como Green Belt Lean Six Sigma en 2015, el reconocimiento al Mérito Investigador durante el Congreso Internacional de Academia Journals Fresnillo 2017, la certificación CSWA de SolidWorks en 2018 y la certificación SolidWorks Accredited Educator en 2018.

**Gómez Alonso, Emanuel.** Nació el 24 de Mayo de 1994 en San José de Gracia, Molcaxac, Puebla, México. Es estudiante de Ingeniería Mecánica en el Instituto Tecnológico Superior de Tepexi de Rodríguez ubicado en Tepexi de Rodríguez, Puebla, México.

**Zárate Reyes, Moises.** Nació el 02 de Diciembre de 1979 en Tepeaca, Puebla, México. Es:



-Licenciado en Física titulado en 2009 por la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla ubicada en Puebla, Puebla, México.

-Maestro en Física titulado en 2010 por la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla ubicada en Puebla, Puebla, México.

-Doctor en Física titulado en 2015 por la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla ubicada en Puebla, Puebla, México.

# Crecimiento de nanoalambres para aplicaciones en Celdas Solares.

J. I. Barker-Garza<sup>1</sup>; A. Dutt<sup>2</sup>; G. Santana-Rodriguez<sup>2</sup>; C. Álvarez-Macías<sup>1\*</sup>, A. G. Esmeralda-Gomez<sup>3</sup>.

**Resumen**— El correcto funcionamiento de una Celda Solar (CS) está directamente ligado a dos principales factores; su capacidad de absorción de la luz incidente y su fotoconductividad [1][2]. Para poder implementar un material semiconductor como capa ventana en la estructura CS, es necesario analizar sus propiedades ópticas; cómo su absorción y su capacidad anti-reflejantes [3]. Recientemente, estructuras basadas en nanoalambres de distintos materiales se han propuesto para implementar en las distintas capas que conforman una CS. Sin embargo, entre sus limitantes está su adecuación para formar homouniones estables dentro del dispositivo. En este trabajo se presentan resultados de los análisis ópticos realizados a nanoalambres de silicio (*SiNW*'s), obtenidos por la técnica denominada "*Bottom up*" que es compuesta por *Sputtering* y *PECVD* (Depósito de vapor químico asistido por plasma), para su implementación como posible capa anti-reflejante en la estructura. Utilizando SEM se comprobó con visualización la existencia de los nanoalambres; mediante EDS se constató la obtención de *SiNW*'s con la existencia silicio; utilizando espectroscopía FTIR se analiza su capacidad de pasivación para la unión, y con análisis de espectrofotometría UV-Vis se logró observar la eliminación de reflexiones en la muestra.

**Palabras claves**— Absorción, nanoalambres, Celdas Solares, *PECVD*, Reflexión.

**Abstract**— The proper functioning of a Solar Cell (CS) is directly linked to two main factors; its ability to absorb incident light and its photoconductivity [1][2]. To use a semiconductor material as a window layer in the structure, its absorption and anti-reflective properties must be analyzed [3]. Recently, structures based on nanowires (*NW*'s) of different materials have been analyzed for implementation in the different layers that make up a CS. However, one of the limitations is the adequacy of these materials used to form the homojunction of the device. The objective of this research is to discuss the results of optical measurement performed in nanowires based in Silicon (*SiNW*'s) obtained by a technique called "*Bottom-up*" based in a combination of sputtering and *PECVD* (plasma-assisted chemical vapor deposit) techniques, for its implementation as a possible anti-reflective layer in the structure. The existence of the *SiNW*'s was confirmed through SEM microscopy; EDS confirmed the existence of silicon in the *SiNW*'s; Using FTIR spectroscopy, its passivation capacity for the junction is analyzed and through UV-Vis

spectrophotometry analysis, the elimination of reflections in the sample was observed.

**Keywords**— Absorption, nanowires, Solar Cells, *PECVD*, Reflection.

## I. INTRODUCCIÓN

Dado que la eficiencia es uno de los principales factores que atañe el avance tecnológico de la energía fotovoltaica, muchas investigaciones internacionales trabajan en métodos y técnicas para incrementarla. Sin embargo, una limitante en el desarrollo de novedosas estructuras de Celdas Solares está basado en el límite "*Shockley-Queisser limit*", que indica que existe un 33.7% como máximo de eficiencia de conversión para las CS de una sola capa o "*single junction*" de tipo homounión, siendo superior en estructuras multicapa de tipo heterounión [4]. Es por ello que la mayoría de las investigaciones se enfocan a elaboración de CS de homounión basadas en silicio. El silicio (Si) es uno de los materiales más abundantes en la tierra, además de que es un semiconductor que cuenta con excelentes propiedades ópticas y electrónicas, las cuales, pueden ser modificadas por medio de su manipulación morfológica en distintas escalas, que a su vez también puede modificar el ancho de banda prohibida (gap) [5],[6].

No obstante, la tecnología de CS basadas en Si ha tenido sus limitantes al elaborar CS de homounión con superficies planas, las cuales no aprovechan mucha de la radiación incidente al presentar una alta reflexión estando expuestas a la radiación solar. Ante esta situación, se han desarrollado técnicas de tratamientos químicos sobre el Si para realizar distintos grados de texturización en la superficie frontal, para mejorar el atrapamiento de la radiación incidente y atacar el problema de la reflexión.

Las CS de Si negro son la terminología utilizada para nombrar las CS de silicio cristalino con grados distintos de texturización de superficies, de las cuales las más comunes son las de forma piramidal en la superficie del sustrato [7]. Estas estructuras tienen baja reflectancia superficial y parecen oscuras (negras) y, por lo tanto, se las denomina "*Black Silicon* o silicio negro".

<sup>1</sup> TecNM / Instituto Tecnológico de La Laguna, División de Estudios de Posgrado e Investigación. Blvd. Revolución y Av. Instituto Tecnológico de La Laguna, S/N, Col. Centro, C.P. 27000, Torreón, Coah., México.

<sup>2</sup>Instituto de Investigaciones en Materiales, Universidad Nacional Autónoma de México, A.P. 70-360, Coyoacán C.P. 04510, D.F., Mexico

<sup>3</sup>Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad Autónoma de Coahuila, Carr. Torreón-Matamoros, km 7.5, 27276, Coahuila, México.

\* calvarezm@correo.itlalaguna.edu.mx.

Gracias a los avances de la ciencia e ingeniería de los materiales, el silicio en la nanotecnología ha tenido un gran impacto en campos como la fotónica, el magnetismo, la óptica, etc. Recientemente, en el desarrollo de CS de tercera generación, los semiconductores a películas delgadas, basadas de nanoalambres (*NW's*, por sus siglas en inglés) han atraído la atención de manera considerable debido a su capacidad de absorción de luz incidente y menor densidad de material, haciendo interesante el costo-beneficio de su implementación [3]. Sin embargo, muchas de estas estructuras son películas delgadas de distintos materiales que se depositan sobre la superficie de una estructura elaborada, lo que pierde su carácter de homounión [8].

Una de las soluciones está en utilizar el mismo Si de las estructuras elaboradas para mantener la homounión, lo que implica el desarrollo de texturizado *Black Silicon* a escala de nanoalambres para obtener superficies de *NW's* basadas en Si (*SiNW's*), en donde la luz solar sea dispersada entre las nanoestructuras al estar el dispositivo expuesto a la radiación solar [9].

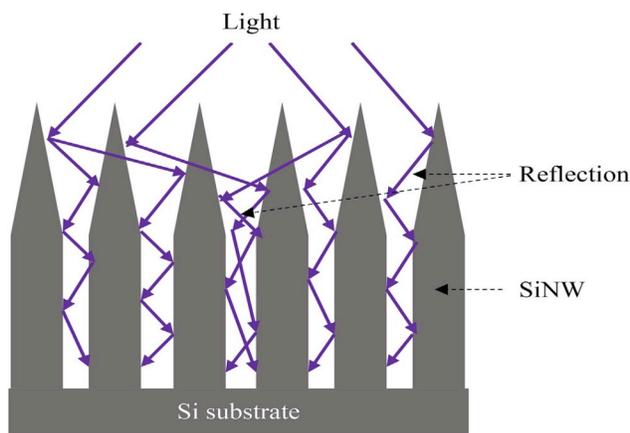


Fig. 1 Esquema de dispersión de la luz solar en una superficie con nanoalambres [9].

Existen diversos tipos de crecimiento de *SiNW's* reportados en la literatura que generalmente se dividen en dos; cuando se remueve material a partir de silicio en bulto para obtener nanoestructuras, conocido como crecimiento "*top-down*" y cuando se utilizan sustancias precursoras para construir nanoestructuras sobre la superficie de Si, conocida como "*bottom-up*" [10].

Una de las técnicas de tipo *bottom-up*, que comúnmente se emplea, consiste en depositar sobre sustratos de Si un metal catalizador por medio de la técnica *sputtering*. Utilizando la técnica *PECVD* se realiza un tratamiento basado en plasma de hidrógeno que promueve el crecimiento de nano-gotas con el metal catalizador. Posteriormente, se genera en la cámara de *PECVD* un

plasma de Ar donde el gas que se utilice como precursor de Si reacciona con el plasma de Ar en la cámara; saturando las nano-gotas de Sn, luego el Si se precipita en cada una de las nano-gotas de Sn hasta formar nanoestructuras:

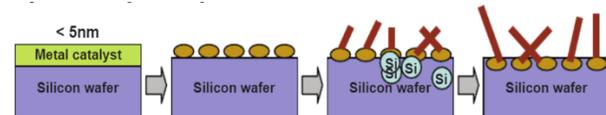


Fig. 2 Esquema representativo de la técnica *bottom-up* llevada a cabo [8].

En el presente trabajo se reportan las especificaciones de la técnica *bottom-up* empleada para la obtención de *SiNW's* y se muestran los resultados de las caracterizaciones empleadas en las muestras obtenidas.

## II. DESARROLLO EXPERIMENTAL.

El crecimiento de los *SiNW's* se llevó a cabo sobre obleas de silicio tipo n+ de baja resistividad, a las cuales se les realiza el proceso de preparación y limpieza descrito a continuación:

- **Limpieza previa:** Con el propósito de eliminar el polvo en la superficie de los sustratos, éstos son sumergidos en una solución jabonosa para posteriormente ser enjuagados con agua corriente y secados con gas nitrógeno.
- **Fase de desengrase:** Para desengrasar, los sustratos son sometidos a baño ultrasónico en una solución de tricloroetileno durante 3 minutos y posteriormente secados con gas nitrógeno.
- **Disolución de sales:** Para disolver las sales generadas, se repite el mismo proceso anterior pero esta vez con acetona en lugar de tricloroetileno.
- **Eliminación de óxido superficial:** Para eliminar el óxido, los sustratos se sumergen en una solución HF:HNO<sub>3</sub>:H<sub>2</sub>O; 1:10:100, durante un minuto, posteriormente se enjuagan con abundante agua desionizada y se secan con gas nitrógeno.
- **Eliminación de moléculas de agua:** Por último, cada sustrato se sumerge en alcohol isopropílico por 10 segundos y se seca con gas nitrógeno.

Una vez realizada la preparación de sustratos, se inicia el proceso de la técnica *bottom-up* empleada.

### A. Proceso RF Sputtering

Dentro de la cámara de vacío del reactor se colocan los sustratos Si n+ y se utiliza estaño como blanco para ser el catalizador. El ambiente en la cámara se realiza con gas argón a flujo y presión controladas para activar el plasma.

La tabla 1 muestra los parámetros utilizados en el reactor donde sólo se varió la potencia de trabajo en función

del tiempo transcurrido.

Depósitos realizados a 30 sccm de flujo de Ar y a 0.22 mTorr de Presión	
Tiempo (min)	Potencia (W)
0.5	5
1	10
1.5	15
2	20
2.5	25
3	30
3.5	35
4	40
4.5	45

Tabla 1. Parámetros de depósito por técnica Sputtering.

Al terminar el proceso, las muestras se inspeccionan mediante microscopía electrónica de barrido (SEM, por sus siglas en inglés), (Fig. 1) y posteriormente son colocadas en la cámara de reactor del sistema *PECVD* para realizar la siguiente etapa.

**B. Proceso PECVD**

Dentro de la cámara de vacío del sistema *PECVD*, la muestra se somete a un tratamiento de plasma de H<sub>2</sub> que promueve la condensación del Sn formando “nano-gotas” de Sn. Los parámetros utilizados en el sistema *PECVD* son los siguientes:

- Presión base → 0 Torr
- Presión de H<sub>2</sub> → 0.119 Torr
- Flujo de H<sub>2</sub> → 80 sccm
- Presión de trabajo → 500 mTorr
- Tiempo → 1 min
- Temperatura → 400 °C
- Potencia → 10 w

Tras haber logrado la formación de “nano-gotas” de Sn, la cámara del *PECVD* se limpia de H<sub>2</sub> con la introducción de Ar, con el cual se inicia el plasma. Posteriormente, en presencia de plasma de Ar, se introduce diclorosilano (H<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>Si) a la cámara, que en nuestro caso es el precursor de Si, esto para lograr saturación de Si en las nano-gotas de Sn, causando precipitación y formación de los *SiNW*'s. Los parámetros utilizados para esta etapa son:

- Presión base → 0 Torr
- Presión de H<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>Si → 0.014 Torr
- Flujo de H<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>Si → 15 sccm
- Presión de trabajo → 500 mTorr
- Tiempo → 10 min
- Temperatura → 400 °C
- Potencia → 5 w

Al terminar este segundo proceso, las muestras se vuelven a inspeccionar con SEM (Fig. 2).

**III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

La figura 1 muestra una de las micrografías obtenidas de la inspección de las muestras después de realizar el proceso de *RF Sputtering*. En la micrografía de la figura 1 se puede apreciar la película delgada de Sn metálico depositada sobre el sustrato de Si n<sup>+</sup> en dicha etapa. Estas películas de Sn metálico mostraron espesores de alrededor de 160 nm en promedio.

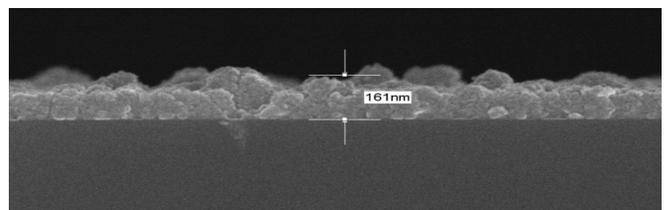


Fig. 1 Imagen SEM de Sn metálico.

La figura 2 muestra una de las micrografías obtenidas de la inspección morfológica después de realizar el proceso *PECVD*.

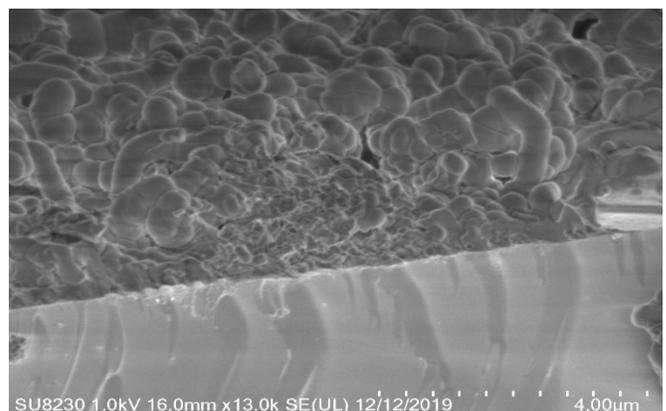


Fig. 2 Imagen SEM de SiNW's vista transversal (imagen obtenida en el laboratorio de SEM de la Universidad Autónoma de Coahuila, Torreón.).

En la micrografía de la figura 2 es posible observar que sobre el sustrato de Si hubo un crecimiento basado en la conformación de estructuras nanométricas alargadas.

En la figura 3 se muestra la micrografía de una imagen frontal de una muestra que se le realizó ambos procesos y en la cual se constata el crecimiento de *SiNW's*, así como sus tamaños promedio.

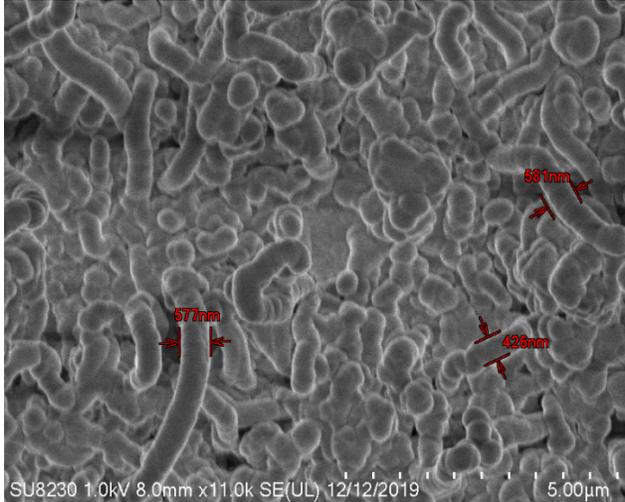


Fig. 3 Imagen SEM de los *SiNW's* vistos de frente. (obtenida en el laboratorio de SEM de la Universidad Autónoma de Coahuila, Torreón).

Por medio de la técnica EDS se analizó la composición de los *SiNW's* obtenidos. La figura 4 muestra el espectro y los resultados de la técnica, así como la imagen de la zona de análisis.

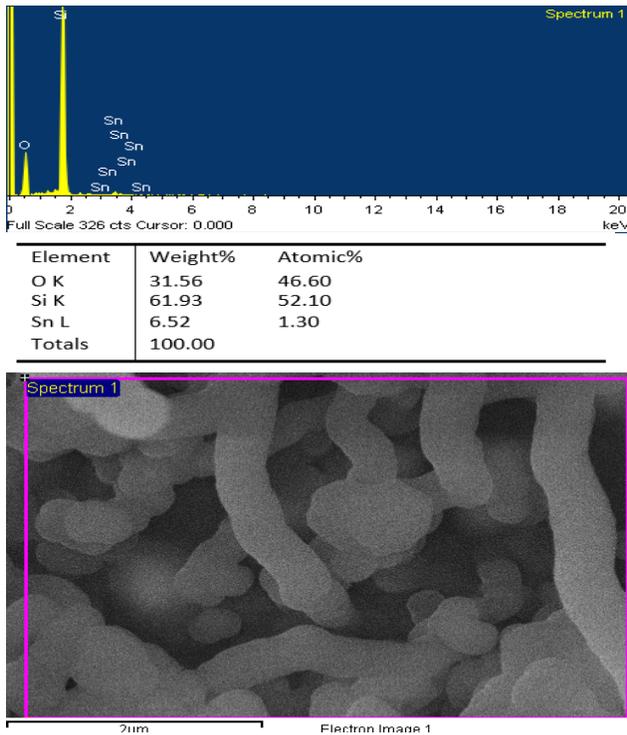


Fig 4. Caracterización EDS de los *SiNW's*

Con los resultados de la figura 4, se corrobora la presencia de Si en las nanoestructuras, así como la presencia del catalizador Sn, lo que resulta la composición de los *SiNW's*.

Para la caracterización óptica, la figura 5 muestra los resultados de espectrofotometría UV-Vis en los que se realiza la comparación de la reflectancia obtenida en el sustrato de Si n+, con y sin el depósito de *SiNW's*.

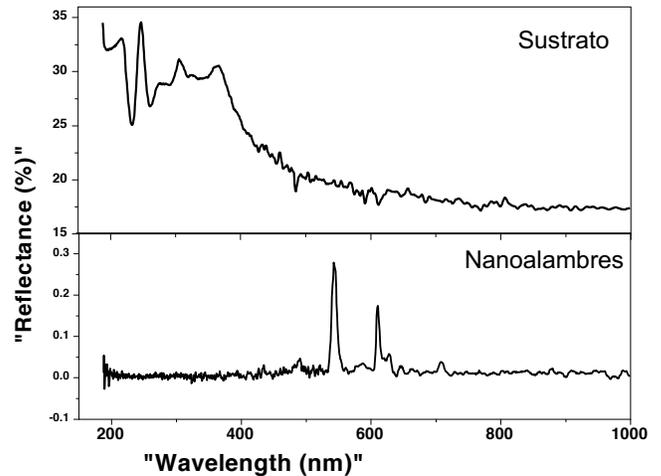


Fig. 5 Espectro de las reflectancias obtenidas con técnica de UV-Vis (sustrato de Si en bulto vs película con *SiNW's*).

Los resultados de la figura 5 son contundentes debido a la gran diferencia que se puede observar entre una reflectancia y otra, es decir, se aprecia la ventaja del texturizado a base de *SiNW's* como una capa anti-reflejante.

#### IV. CONCLUSIÓN

Se muestran avances en la obtención de *SiNW's* depositados sobre sustratos de Si tipo n+ por medio de la técnica de tipo *bottom-up* que consiste en la implementación de los procesos de *Sputtering* y *PECVD*. El trabajo describe la metodología utilizada en ambas etapas de la técnica para la obtención satisfactoria de los *SiNW's*.

Mediante SEM, se logró determinar el espesor de la capa catalizadora de Sn que promueve el crecimiento de los *SiNW's*, siendo este valor alrededor de 160 nm. Con la misma técnica SEM se constató la existencia de los *SiNW's*, al realizar la segunda etapa de la técnica *bottom-up*. Las dimensiones obtenidas de los anchos de las estructuras son de 400 a 600 nm, mientras que los largos son entre 2 y 3 µm.

Las caracterizaciones químicas por EDS confirman que las estructuras son basadas en Si con una base de Sn. Mientras que las caracterizaciones ópticas por espectrofotometría UV-Vis comprobó que los *SiNW*'s contribuyen a que se neutralice la reflexión de luz, garantizando que esa radiación sea absorbida por una estructura fotovoltaica en la cual se le realice el depósito de *SiNW*'s en su superficie, lo que contribuiría de manera significativa al aumento en la eficiencia de conversión.

#### V. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Instituto de Investigaciones en Materiales de la Universidad Nacional Autónoma de México (IIM-UNAM) donde se llevó a cabo la parte experimental del trabajo. A la Facultad de Mecánica-Eléctrica de la Universidad Autónoma de Coahuila su colaboración con el uso del Microscopio Electrónico de Barrido para realizar las caracterizaciones morfológicas. También al TecNM/Instituto Tecnológico de La Laguna, a PRODEP y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada, a través del CVU: 932105, para los estudios de maestría, así como la beca de movilidad para realizar la estancia de investigación.

Los autores ofrecen un agradecimiento especial al laboratorio "Maver" del IIM UNAM. Donde se realizan las investigaciones (preparación de muestras y caracterizaciones)- con los números de proyecto- PN 4797 e IA100219 del Dr. Guillermo Santana y el Dr. Ateet Dutt.

#### VI. REFERENCIAS

- [1] Goetzberger, A. (2005). Workshop on " Physics for Renewable Energy " Crystalline Silicon Solar Cells Crystalline Silicon Solar Cells.
- [2] Zhang, X. G. (2007). Electrochemistry of Silicon Etching. In "Encyclopedia of Electrochemistry" (Vol. 3).
- [3] Surana, K. (2011). "Towards Silicon Quantum Dot Solar Cells: Comparing Morphological Properties and Conduction Phenomena in Si Quantum Dot Single Layers and Multilayers". P- 161
- [4] Shockley, W., & Queisser, H. J. (1961). "Detailed balance limit of efficiency of p-n junction solar cells. *Journal of Applied Physics*", P. 510-519
- [5] Vu XT, GhoshMoulick R, Eschermann JF, Stockmann R, Offenhausser A, Ingebrandt S. (2010) "Fabrication and application of silicon nanowire transistor arrays for biomolecular detection. *Sensor Actuator B Chem*". p. 144.
- [6] Zhang GJ, Ning Y. (2012) "Silicon nanowire biosensor and its applications in disease diagnostics".
- [7] C. Ramos, O. Nájera-Ruiz. (2019). "Performance improvement of black silicon solar cells by a new passivation scheme".
- [8] R. Romero, M.C. López. (2004). "Electrical properties of the n-ZnO/c-Si heterojunction prepared by chemical spray pyrolysis".

[9] M. Sahoo, P. Kale. (2019). "Integration of silicon nanowires in solar cell structure for efficiency enhancement": A review.

[10] L. Jae, G. Robert. (2010). "Templated Si-based Nanowires via Solid-Liquid-Solid (SLS) and Vapor-Liquid-Solid (VLS) Growth: Novel Growth Mode, Synthesis, Morphology Control, Characteristics, and Electrical Transport".

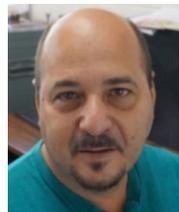
#### VII. BIOGRAFÍA



**Barker Garza Jericó Israel.** Nacido en Torreón, Coahuila, México, el día 9 de abril de 1992. Egresado como Ingeniero eléctrico del Instituto Tecnológico de la Laguna en Torreón, Coahuila México, en 2017.

Estudiante del programa PNPC de la Maestría en Ciencias de la Ingeniería Eléctrica, de la División de Estudios de Posgrado e Investigación del

Instituto Tecnológico de la Laguna en Torreón, Coahuila, México.



**Santana Rodríguez Guillermo.** Profesor Investigador Titular C, T.C. en el Instituto de investigaciones en materiales de la UNAM. Con más de 140 publicaciones internacionales indizadas y más de 1600 citas, el Dr. Santana es Investigador SNI nivel 3, PRIDE D. Actualmente es líder del grupo y jefe del laboratorio de Materiales avanzados para energías renovables (MAVER) del IIM-UNAM.



**Ateet Dutt.** Profesor Investigador de carrera asociado C, T.C. en el Instituto de investigaciones en materiales de la UNAM. Con más de 30 publicaciones internacionales indizadas y más de 80 citas, el Dr. Dutt es Investigador SNI nivel 1. Actualmente es colaborador principal del grupo del laboratorio de Materiales avanzados para energías renovables (MAVER) del IIM-UNAM



**Álvarez-Macias Carlos.**

Profesor investigador titular C de la División de estudios de Posgrado e Investigación del Instituto Tecnológico de La Laguna en la Ciudad de Torreón Coahuila, México.

Con más de 15 artículos internacionales indizados, el Dr. Álvarez es miembro de la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES), de la Sociedad Internacional de Energía Solar (ISES, por sus siglas en Inglés) y del Sistema Nacional de

Investigadores nivel I, es responsable de un cuerpo académico registrado en PRODEP y preside la academia de la Ingeniería en energías Renovables de su institución.



**Esmeralda Gómez Alma Graciela,** Nacida en Saltillo, Coahuila, México, el día 10 de julio de 1987. Egresada como Ingeniera en materiales con especialidad en aceros y fundiciones por el

Instituto Tecnológico de Saltillo, curso una Maestría en ciencias de la ingeniería mecánica con especialidad en materiales y Doctorado en Ingeniería de Materiales en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad

Autónoma de Nuevo León.

Actualmente colabora como Profesor-Investigador de tiempo completo en la Universidad Autónoma de Coahuila en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, además de cumplir como responsable del laboratorio de microscopía electrónica dando servicios de caracterización y análisis de falla para la industria de la región.

# Sistema de Control Difuso Ball&Plate mediante PDI

*J. Sifuentes-Mijares<sup>1\*</sup>, F. Camacho-Villalobos<sup>1</sup>, M.A. Lara-Molina<sup>1</sup>, K.A. Heredia-Mendoza<sup>1</sup>.*

**Resumen**— Este documento muestra la implementación de un control difuso aplicado a un mecanismo diseñado no lineal subactuado llamado “Ball&Plate”. El objetivo principal de control es llevar a una posición deseada una esfera que está sobre una plataforma plana. Otro objetivo de control es lograr que esta esfera siga una trayectoria específica. Para conseguir el movimiento de la esfera, el mecanismo de dos grados de libertad utiliza dos servomotores para modificar los ángulos de inclinación X-Y de la plataforma, logrando así mover indirectamente la esfera. Se utiliza una cámara, en conjunto con MATLAB y el entorno de programación visual de Simulink, para realizar los cálculos del control. Así es que se obtiene la posición actual de la esfera; mediante el procesamiento digital de las imágenes capturadas por la cámara. Posteriormente, la señal de salida de control es enviada vía puerto serie a una tarjeta Arduino, a la cual están conectados los dos servomotores que mueven la plataforma. Este trabajo se realizó con la finalidad de contar con un sistema para pruebas didácticas en laboratorio, de un sistema de control no lineal subactuado.

**Palabras claves** — Procesamiento Digital de Imágenes (PDI), Control Difuso, Ball&Plate, Subactuado.

**Abstract**— This document shows the implementation of a fuzzy control applied to a designed nonlinear underactuated mechanism called “Ball & Plate”. The main purpose of the control is to bring a sphere on a flat platform to a desired position. Another objective of control is to ensure that this sphere follows a specific path. To get the motion of the sphere, the mechanism of two degrees of freedom uses two servomotors to modify the X-Y inclination angles of the platform, thus achieving to move the sphere indirectly. A camera, together with MATLAB and Simulink visual programming environment are used to compute the control. In addition, the current position of the sphere is obtained by digital processing of the captured images by the camera. Subsequently, the control output signal is sent via the serial port to an Arduino card, to which are connected the two servomotors that move the platform. This work was carried out in order to have a didactic system for lab practices with an underactuated nonlinear control system.

**Keywords** — Digital Image Processing (DIP), Fuzzy Control, Ball & Plate, underactuated.

<sup>1</sup> Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de la Laguna, DIE & DEPI, Boulevard Revolución y Av, Tecnológico de la Laguna, Centro SN, C.P. 27000, Torreón, Coahuila, México.

\* [jsifuentesm@correo.itlaguna.edu.mx](mailto:jsifuentesm@correo.itlaguna.edu.mx).

## I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de control automático han llegado a tener una participación muy importante en el avance de la ingeniería y la ciencia. Estos han llegado a formar parte de la vida cotidiana. El sistema de control Ball&Plate representa uno de los equipos didácticos más importantes en el estudio de los sistemas de control no lineal subactuados. Este sistema ayuda a los estudiantes de ingeniería y posgrado a comprender de manera más sencilla este tipo de sistemas de control, permitiendo probarlos de forma práctica. El sistema de control, junto con el mecanismo Ball&Plate, es un equipo muy utilizado para la enseñanza, el cual también es complejo y cuyo objetivo es el de controlar la posición de una esfera, que rueda libre sobre una plataforma, un plano de dos dimensiones. Este sistema, es un sistema subactuado de dos grados de libertad, el cual usa la inclinación de la plataforma para influir indirectamente en la posición de la esfera [1].

En este proyecto se busca implementar un control difuso en este sistema, el cual debe tener las siguientes restricciones:

- La esfera no se desliza sobre la plataforma.
- La esfera es simétrica y de material homogéneo.
- Se desprecian las fricciones.
- La esfera se mantiene siempre en contacto con la plataforma (no rebota).

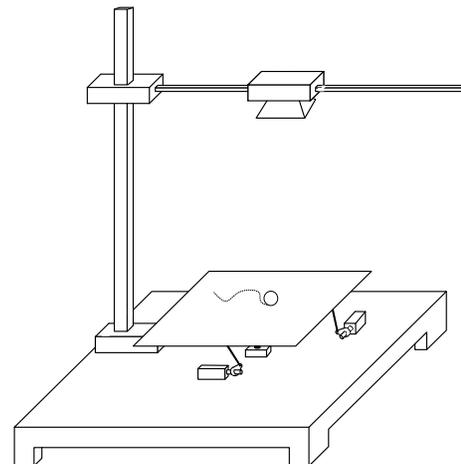


Figura 1. Sistema Ball&Plate.

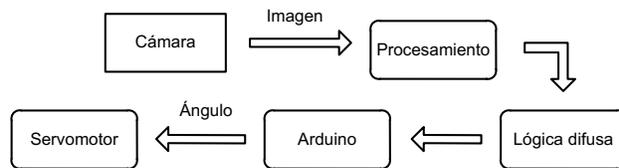


Figura 2. Diagrama general del sistema Ball&Plate.

En la Figura 1 se puede observar el diseño del sistema para el que se implementó el control. En éste se pueden apreciar dos servomotores bajo la plataforma, ubicados a 90° uno del otro, para poder controlar el eje X y el eje Y [2]. Además, se ve como existe un soporte para sujetar la cámara, justo arriba del plano, para poder medir la posición y velocidad de la esfera. El flujo del proceso de este sistema puede resumirse en la Figura 2.

## II. MODELO FÍSICO

Para la creación del sistema físico del Ball&Plate se utilizaron los siguientes materiales [3]:

Una tabla de madera 30cm x 30cm (plano del sistema).

- Una cámara Logitech C920 HD Pro Webcam.
- Un Arduino UNO.
- Una base de madera 45cm x 45cm.
- 2 servomotores MG995 con torque de 11 kg/cm (alimentados con 6V cada uno).
- Una esfera montada en una carcasa, llamada “bola loca”.
- Una varilla de metal de ¼”.
- Una barra de madera (para hacer el soporte de la cámara).
- Piezas metálicas (para hacer los soportes de los servomotores y la articulación de la cámara).
- Tornillos de 1/8”.
- Una pelota amarilla fosforescente para tenis de mesa (esfera del sistema).

Primero, lo que se hizo fue poner soportes para los motores, sobre la base.

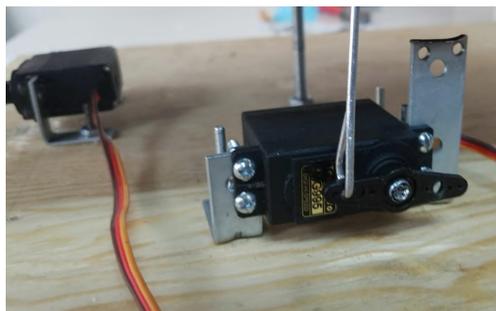


Figura 3. Soportes y servomotores.



Figura 4. Soporte principal del sistema.

En la Figura 3 se puede observar cómo se colocaron los servomotores a 90° uno del otro y cómo en la flecha del motor se colocaron unas varillas que se unen a la plataforma del sistema [4].

Los servomotores son actuados por una señal modulada en ancho de pulso. Mediante esta señal se indica al servomotor a cuántos grados debe de ubicarse.

En seguida, se colocó el soporte principal del plano. En la Figura 4 se observa cómo una varilla de ¼” de diámetro está soldada a la “bola loca”. También se fijó esta varilla a la base del todo el sistema. Este soporte principal permite colocar el plano principal arriba. La bola loca se utiliza como articulación universal para que el plano pueda moverse en toda dirección, además de funciona como soporte y ayuda a que los servomotores no carguen todo el peso del plano y la esfera.

En la Figura 5 se aprecia cómo se colocó un soporte de madera para la cámara. También, se utilizaron piezas metálicas para emular una articulación y así desplazar la barra de madera horizontal y hacer pruebas con la cámara a distintas distancias.

En la Figura 6 se aprecia el sistema físico construido del Ball&Plate, preparado para probar el control de éste.



Figura 5. Soporte de la cámara.



Figura 6. Sistema físico del Ball&Plate.

### III. COMUNICACIÓN

Ahora algo importante en este proyecto es cómo se hará que los datos que genera el controlador se transformen en señales de entrada a los actuadores para que los servomotores se muevan y así poder probar el controlador difuso. Lo que se hizo fue crear un programa para la interfaz de Arduino, para que este reciba los datos que se le mandarán desde Simulink, adecuando la información para que el sistema responda como se desea. En la Figura 7 se observa el listado del programa hecho para Arduino, con el cual recibe una serie de datos desde Simulink. El Arduino es el encargado de mover los servomotores como le es indicado desde el sistema de control.

```
#include <Servo.h>
Servo servox;
Servo servoy;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  servox.attach(9);
  servoy.attach(10);
}
void loop() {
  while (Serial.available() > 0) {

    float X = Serial.parseInt();
    float Y = Serial.parseInt();

    if(Serial.read() == '\n')
    {
      Serial.println(X);
      servox.write(X);
      delayMicroseconds(50);

      Serial.println(Y);
      servoy.write(Y);
      delayMicroseconds(50);
    }
  }
}
```

Figura 7. Programa de Arduino utilizado.

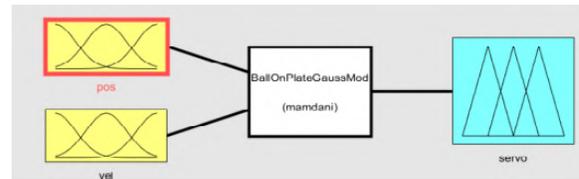


Figura 8. Sistema de lógica difusa utilizado.

La función Serial.parseInt de Arduino ayuda a separar datos recibidos, esta función es útil porque Simulink envía los movimientos de X y Y de manera codificada en conjunto, y así mediante esta instrucción se pueden separar y leer para que cada servomotor realice un movimiento independiente.

### IV. LÓGICA DIFUSA

Para este proyecto se tuvo que diseñar un sistema de lógica difusa apropiado para este controlador.

Algo importante a tomar en cuenta es que cada eje (X y Y, para el movimiento del plano) tendrá su propia lógica difusa. Esto se logra teniendo como salida un valor en grados para cada servomotor, lo que significa que cada servomotor tendrá su lógica difusa, aunque para este caso será la misma.

En la Figura 8 se observa la lógica difusa que se utilizó.

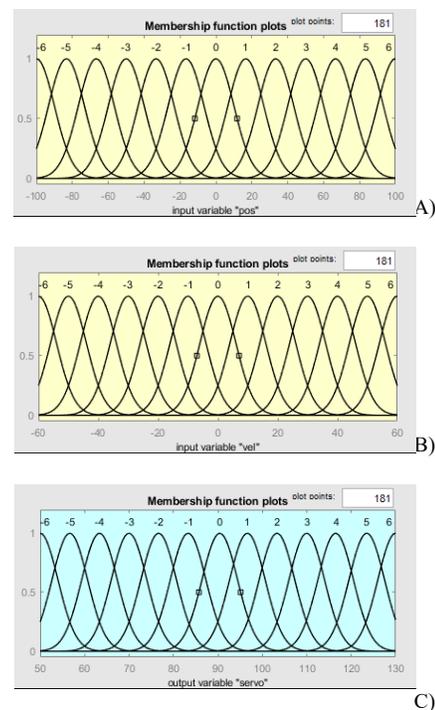


Figura 9. A) Función de membresía de la entrada del error de posición. B) Función de membresía de la entrada de velocidad. C) Función de membresía de la salida del ángulo del servomotor.

TABLA I

Reglas Difusas del sistema Ball&Plate

		Error de posición (pos)												
		-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
Velocidad (vel)	-6	6	6	6	5	4	4	3	2	0	-1	-2	-3	-3
	-5	6	6	6	5	4	4	4	2	1	0	-2	-3	-3
	-4	6	6	5	4	4	3	3	2	1	-1	-2	-3	-3
	-3	6	6	5	4	3	2	2	1	1	-1	-3	-3	-3
	-2	5	5	4	4	2	2	1	1	0	-2	-3	-3	-3
	-1	5	4	4	4	1	1	1	0	0	-2	-3	-4	-4
	0	4	4	4	3	1	1	0	0	-1	-1	-3	-4	-4
	1	4	4	3	2	0	0	-1	-1	-1	-4	-4	-4	-4
	2	3	3	3	2	0	-1	-1	-2	-2	-4	-4	-5	-5
	3	3	3	3	1	-1	-1	-2	-2	-3	-4	-5	-6	-6
	4	3	3	2	1	-1	-2	-3	-3	-4	-4	-5	-6	-6
	5	3	3	2	0	-1	-2	-4	-4	-5	-6	-6	-6	-6
	6	3	3	1	0	-2	-3	-4	-4	-5	-6	-6	-6	-6

Ésta consiste en 2 entradas y una salida. Las entradas son error de posición “pos” y velocidad “vel”, mientras que la salida es un valor de ángulo al que se moverá el servomotor “servo”.

Nota: Algo importante que hay que tener en cuenta es que el valor del ángulo al que se mueve el servomotor no es el mismo al que se mueve el plano.

En la Figuras 9 se puede observar que esta lógica difusa está conformada por 13 funciones de membresía cada una (entradas y salidas), lo cual hace que la lógica difusa sea más exacta, ya que es mejor tener una mayor cantidad de funciones de membresía.

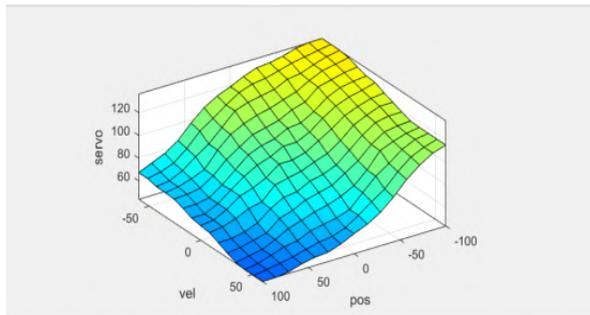


Figura 10. Superficie de control.

En la Tabla I se puede observar la entrada que ha sido nombrada error de posición de la esfera, ubicada horizontalmente; por su parte, la velocidad de la esfera está situada verticalmente. Al relacionar las dos entradas con la salida, se generan las 169 reglas difusas de este sistema Ball &Plate [5].

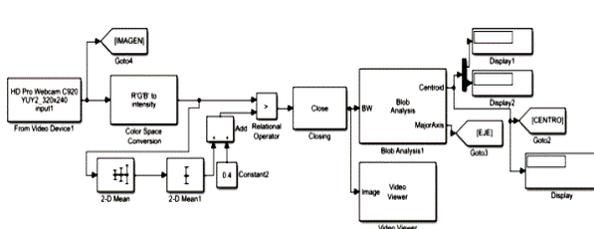


Figura 11. Sistema para la detección del centroide, en Simulink.

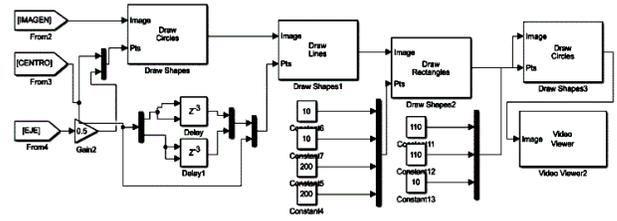


Figura 12. Sistema para señalar a la esfera y su dirección.

En la Figura 10 se observa la superficie de control, la cual se puede notar que tiene una caída suave, y es casi plana en la vecindad cercana del origen, siendo esto una característica deseada en los sistemas de control difuso.

### V. SISTEMA DE CONTROL

La primera parte del sistema es la detección del centroide, como se muestra en la Figura 11. La imagen en RGB es convertida a escala de grises y se utilizan dos bloques “2-D Mean” para sumarle el radio de la esfera que observa la cámara. Luego, mediante el bloque “Closing” se hacen las operaciones de erosión y dilatación, haciendo que la esfera se vea blanca y el plano se vea negro [6].

Posteriormente, en la Figura 12 se observa cómo se introduce el centroide y el eje mayor de la esfera para dibujar un círculo alrededor de él. Además, se utiliza un delay para obtener una línea que indique la dirección hacia la que se mueve la esfera. Finalmente, se agrega un cuadrado para observar el área de operación del control difuso y un círculo para observar el radio en el que buscará estar la esfera, el cual representa el centro [7].

En la Figura 13 se observa una resta del centroide menos una constante igual a 110, haciendo así que el centro de la imagen sea 0,0. Esto es porque, como la resolución de la cámara se ajustó a 220x220, su centro se ubica en el renglón 110, columna 110. Posteriormente, se coloca un switch con una condición, debido a que cuando en la imagen no se detecta ningún centroide, este por default da -1,-1, entonces se busca anular esto sustituyendo ese -1,-1, por un 0,0.

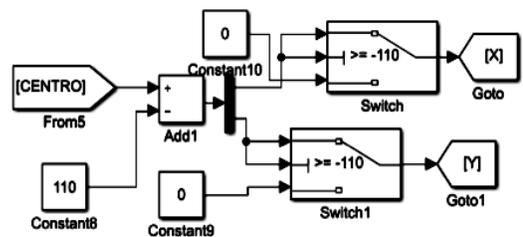


Figura 13. Sistema para hacer que el centroide esté en 0,0.

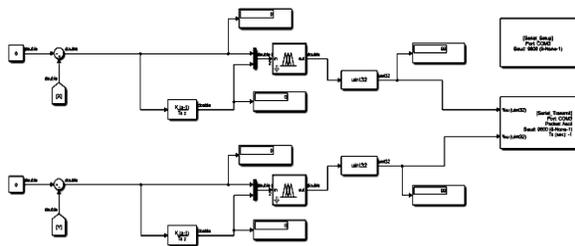


Figura 14. Sistema de control con referencia igual a cero para el sistema Ball&Plate.

Para finalizar, se desarrolló el sistema de control (ver Figura 14). Se introdujo una referencia igual a cero y el centroide es restando. La referencia indica dónde se quiere que se posicione la esfera en la imagen. La salida del sumador es el error de posición, que sirve como una de las entradas al bloque correspondiente al controlador difuso; por otra parte, este mismo error de posición se toma para unirlo a un derivador discreto, ya que esto hace que a la salida del derivador se obtenga la velocidad de la esfera, siendo ésta otra entrada. Estas dos entradas se conectan al controlador difuso mediante un multiplexor. La salida del multiplexor corresponde a los grados que debe girar el servomotor y ésta es conectada a un convertidor uint32, ya que sólo se necesitan grados superiores a cero. La salida del convertidor se transporta a hacia un bloque llamado “WaijungBlockset”, el cual sirve para establecer la comunicación serial con el Arduino.

Sin embargo, para que esta comunicación funcionara, se tuvo que cargar antes un programa en el Arduino, para que los datos obtenidos sean leídos por los servomotores como grados (mediante el uso de una librería), y que estos vayan separados (estos son los datos enviados por el sistema de control difuso, para controlar a cada servomotor independiente).

Cabe señalar que el sistema de control utilizado para el servomotor X es el mismo utilizado para el servomotor Y, pero su respuesta varía es diferente porque no es el mismo error de posición en el eje X que en el eje Y.

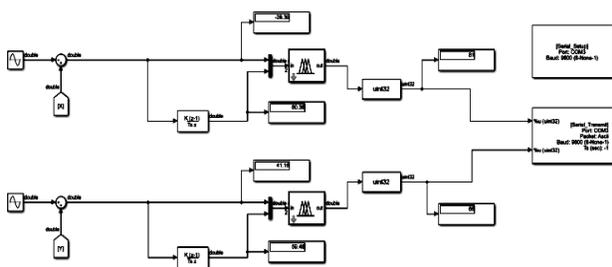


Figura 15. Sistema de control para realizar las trayectorias circular y elipsoidal con el sistema Ball&Plate.

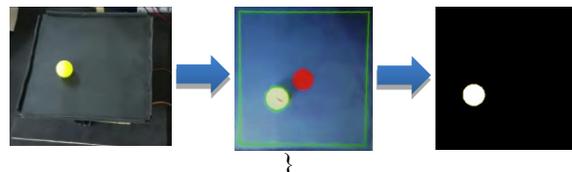


Figura 16. Procesamiento digital de la imagen capturada por la cámara.

También, se logró que la esfera realizara una trayectoria circular sobre el plano (ver Figura 15). Para esto se introdujo como referencia una señal cosenoidal (o señal senoidal desfasada 90° respecto a la señal de referencia del eje Y) para el eje X y una señal senoidal para el eje Y, ambas de amplitud 50Vp y frecuencia de 2 rad/seg.

Para que la esfera realizara una trayectoria elipsoidal, se aumentó la amplitud de la señal de referencia del eje X a 70Vp, dejando la amplitud de la señal de referencia del eje Y a 50Vp.

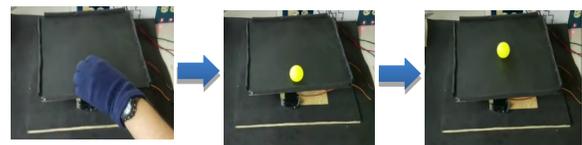


Figura 17. Seguimiento de la esfera hacia el centro.

## VI. RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos al probar el funcionamiento del sistema Ball &Plate.

Primeramente, se probó el procesamiento digital de una imagen capturada (ver Figura 16).

En la Figura 17 se observa que la esfera se depositó en el plano utilizando un guante oscuro. Esto se realizó de esa manera debido a que: al procesar las imágenes digitalmente, la cámara ignora cualquier color oscuro, para así enfocarse únicamente en la esfera, que es de un tono más claro.

Finalmente, se observa que la esfera termina en el centro del plano, que representa la posición deseada, cumpliendo así uno de los objetivos de control establecidos.

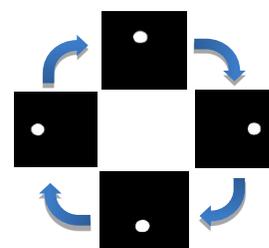


Figura 18. Trayectoria circular de la esfera.

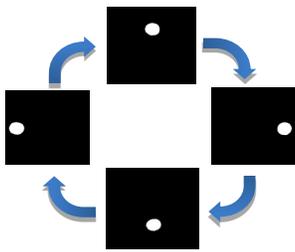


Figura 19. Trayectoria elipsoidal de la esfera.

Otro objetivo que se cumplió fue el de lograr que la esfera siguiera una trayectoria específica. En la Figura 18 se observan las capturas de imágenes mientras la esfera seguía una trayectoria circular; también, en la Figura 19 se observa la trayectoria elipsoidal que siguió la esfera al cambiar la referencia del sistema de control del eje X.

### VII. CONCLUSIÓN

El control difuso resultó ser de gran utilidad al aplicarlo en un sistema Ball&Plate, ya que se cumplió con los dos objetivos de control planteados, siendo el principal llevar a la esfera a una posición deseada (en este caso, el centro del plano). También se logró que esta misma esfera siguiera dos trayectorias diferentes (circular y elipsoidal). Sin embargo, para que este sistema fuera de alta precisión se necesitó hacer uso de 13 funciones de membresía gaussianas para las entradas y la salida. Además, si la tabla donde se mueve la esfera no es lo suficientemente plana, el sistema perderá precisión, lo cual no es deseable.

Hay que tomar en cuenta que se necesita una cámara con un alto número de fotogramas por segundo (fps) para que el movimiento de la esfera no vaya demasiado retrasado en comparación con el tiempo real.

También, las flechas de los servomotores tienen que ir ajustadas al principio de tal manera que la esfera no se mueva en el plano cuando los servomotores estén estáticos a 90°.

Por otra parte, es necesario resaltar que este sistema no utiliza para nada el modelo matemático del Ball&Plate para lograr controlarlo.

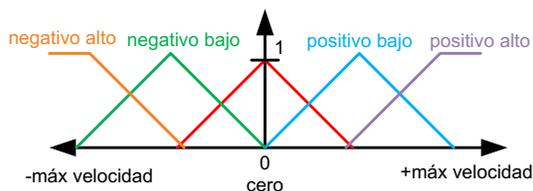


Figura 20. Funciones de membresía del control difuso de un péndulo invertido.

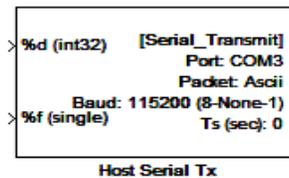


Figura 21. Bloque Host Serial Tx.

Se concluye que el sistema construido del Ball&Plate, si cumple para funcionar didácticamente y poder probar el funcionamiento de controladores difusos utilizando PDI.

### VIII. APÉNDICES

#### A. Control Difuso

Los controladores difusos son de las aplicaciones más importantes de la teoría difusa. Ellos trabajan de una forma bastante diferente a los controladores convencionales; el conocimiento del experto se usa en vez de ecuaciones diferenciales para describir un sistema.

Este conocimiento puede expresarse de una manera muy natural, empleando las variables lingüísticas que son descritas mediante conjuntos difusos.

Como ejemplo se tiene un péndulo invertido, del cual sus funciones de membresía se pueden observar en la Figura 20 [8].

#### B. Lógica Difusa

La lógica difusa es una metodología que proporciona una manera simple y elegante de obtener una conclusión a partir de información de entrada vaga, ambigua, imprecisa, con ruido o incompleta. En general la lógica difusa imita como una persona toma decisiones basada en información con las características mencionadas.

La lógica difusa arroja una gráfica llamada “Superficie de control” la cual entre más “suave” sea su caída es mucho mejor y más exacto para el sistema.

#### C. Host Serial Tx

El bloque Host serial Tx (ver Figura 21) recibe los valores que lanza el control difuso y los envía como un vector a la interfaz de Arduino. Y este se complementa con el HOST SERIAL SETUP en el cual se configura a dónde quieres mandar los datos, en este caso Arduino. Cabe mencionar que este bloque se obtiene instalando el WaijungBlockset en Simulink desde el sitio web <http://waijung.aimagin.com/>.

### IX. REFERENCIAS

- [1] Devono, D; Bugeja, M. (2015). “Application of Sliding Mode Control to the Ball and Plate Problem”, in *Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics (ICINCO)*, pp. 412-419.

- [2] M. Polanía, E. C. (2016). "Diseño, implementación y control de sistema de balance ball on plate", *Revista SENNOVA*, Vol. 2, No. 2, pp. 135-149.
- [3] Araujo Puerta, A. (2018), "Diseño y control de un sistema Ball and Beam con realimentación visual con Raspberry-Pi", Depto. Ing. de Sistemas y Automática, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla.
- [4] Sáez, D. (2011). "Apuntes Control Difuso", Dpto. Ing. Eléctrica, U. Chile, Tech. Rep. El. 5205.
- [5] Kuncan, M.; Kaplan K.; Acar, F.;Kundakçi, I. y Ertunç, H. (2016) "Fuzzy Logic Based Ball on Plate Balancing System Real Time Control by Image Processing, *"International Journal of Natural and Engineering Sciences"*, pp. 28-32.
- [6] Pérez Olvera, C. A. (2009), "Control visual difuso de un sistema no-lineal", Centro de Investigación en Computación, Instituto Politécnico Nacional.
- [7] Rastogi, A.; Shooja, R. y Chiru, C. (2013), "BALANCING BALL ON PLATE USING FUZZY LOGIC", Suecia, Mälardalen University, Tech. Rep. DVA 406.
- [8] Sánchez Haro, D. (2017). "Plataformas de bajo coste para experimentación en control", Eng. dissertation, Escolad'Enginyeria de Barcelona Est, Universitat Politècnica de Catalunya.

## X. BIOGRAFÍA



**Sifuentes Mijares, Juan.** Nació en Gómez Palacio Durango, México, el 5 de agosto de 1968. Es Ingeniero Industrial en Electrónica por el Instituto Tecnológico de La Laguna. Es Maestro en Ciencias en Ingeniería Eléctrica con especialidad en Control Automático por el Instituto Tecnológico de La Laguna. También es Doctor en Ciencias en Ingeniería Eléctrica con especialidad en Control Automático por el Instituto Tecnológico de la Laguna. Estuvo en Valencia, España, realizando estudios de Doctorado en Diseño de Sistemas Digitales.

Ha trabajado como profesoren diferentes escuelas, tales como: La Universidad Iberoamericana IBERO, el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, la Universidad Autónoma del Noreste UANE y actualmente se desempeña como profesor investigador del Instituto Tecnológico de la Laguna (TecNM Campus La Laguna).

El Dr. Sifuentes-Mijares recibió el premio al mejor artículo de su área durante el congreso internacional World Automation Congress, celebrado en la Gran Isla de Hawaii en el 2014. Es miembro del consejo de posgrado de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Eléctrica.

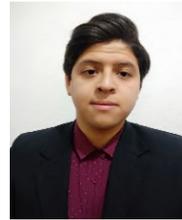


**Camacho Villalobos, Fernando.** Nació en Torreón, Coahuila, México, el 19 de enero de 1998. Ingeniero Electrónico por el Instituto Tecnológico de la Laguna (TecNM Campus La Laguna), Torreón, Coahuila, México, egresado en 2019.

Él actualmente cursa la Maestría en Ciencias en Ingeniería Eléctrica (perteneciente al PNPC), en la Línea de Investigación de Instrumentación Electrónica, en el Instituto Tecnológico de la Laguna, Torreón, Coahuila, México. En 2019 realizó su Residencia Profesional en el Departamento de Ingeniería de Cervecería Modelo de Torreón. Durante el estudio de su carrera se especializó en Mecatrónica y Control.

El Ing. Camacho participó en la Feria de Proyectos 2019-1 del Departamento de Eléctrica-Electrónica y Energías Renovables del Instituto Tecnológico de la Laguna.

**Lara Molina, Mario Alberto.** Nació en Torreón, Coahuila, México, el 5 de julio de 1998.



Él actualmente cursa el último semestre de Ingeniería Electrónica en el Instituto Tecnológico de la Laguna (TecNM Campus La Laguna), Torreón, Coahuila, México. Durante el estudio de su carrera se ha estado especializando en Mecatrónica y Control.

Lara participó en las Ferias de Proyectos 2018-1 y 2019-1 del Departamento de Eléctrica-Electrónica y Energías Renovables del Instituto Tecnológico de la Laguna.

**Heredia Mendoza, Kevin Antonio.** Nació en Torreón, Coahuila, México, el 23 de junio de 1996. Ingeniero Electrónico por el Instituto Tecnológico de la Laguna (TecNM Campus La Laguna), Torreón, Coahuila, México, egresado en 2019.



Él actualmente labora como Especialista en Sistemas Fotovoltaicos en Fronius México, Santa Catarina, Nuevo León, México. Durante el estudio de su carrera se especializó en Mecatrónica y Control y Electrónica de Potencia.

El Ing. Heredia participó en la Feria de Proyectos 2019-1 del Departamento de Eléctrica-Electrónica y Energías Renovables del Instituto Tecnológico de la Laguna.

# Efecto de la utilización del diseño de experimentos sobre la producción del polvo útil de zinc

J.F. Magallanes-Armendariz<sup>1</sup>, R.A. Herrera-García<sup>1\*</sup>, E.D. Chiw-Gramillo<sup>1</sup>,  
L.I. Chairez-Acosta<sup>1</sup>, B. Carrera-Barraza<sup>2</sup>

**Resumen**—El objetivo del presente trabajo es incrementar la calidad a un 80% del polvo útil de zinc identificando los factores y su nivel de significancia que influyen directamente en el proceso de producción. Durante el proceso para la fabricación del polvo de zinc con una producción de 61.3 ton diarias aproximadamente el 75% es polvo útil de zinc siendo este un recurso clave para la separación de impurezas en una solución rica en zinc. Se utilizó un diseño de experimentos 2<sup>k</sup> completo. Los datos obtenidos de la experimentación se validaron estadísticamente se cumplió con supuesto de normalidad, varianza constante e independencia. Se realizó un análisis de varianza para obtener la variabilidad del proceso y conocer los efectos que influyen significativamente en la respuesta de salida. Se determinaron los niveles óptimos logrando un 81% promedio de zinc útil con los factores temperatura, tipo de boquilla y distancia de atomizado a los niveles 570 C°, DGG (doble gota grande), 10 pulgadas, respectivamente, el factor presión se determinó que no fue significativo. Con el uso de la metodología de diseños de experimentos es posible mejorar el rendimiento de un proceso, reducir su variabilidad o los costos de producción.

**Palabras claves**—Zinc, factores, Diseño, experimentos, DOE, ANOVA.

**Abstract**— Purpose of this work was to improve useful zinc dust quality to 80%, identifying both most influencing factors and significance level in production process. A complete 2<sup>k</sup> design of experiment was used, considering 61.3 tons zinc production on a daily basis, using a rich in zinc solution for the separation of impurities and obtaining only 75% useful zinc dust. Data obtained from the experimentation were statistically validated, with the assumption of normality, constant variance and independence. An analysis of variance was performed to obtain the variability of the process and to know the effects that significantly influence the output response. Optimum levels were determined by achieving an 81% of useful zinc in average, considering following factors: temperature, type of nozzle and spray distance at levels of 570 C°, DGG (large double drop), 10 inches, respectively, the pressure factor was determined not significant. Use of DOE allows the improvement in performance of a process, along with variability and production costs reduction.

**Keywords**— Zinc, factors, Design, experiments, DOE, ANOVA.

## I. INTRODUCCIÓN

Las organizaciones necesitan métodos, técnicas y herramientas que les permitan distinguirse de sus competidores proporcionando productos y servicios que cumplan las necesidades de los clientes. Además, siempre en busca de incrementar la productividad en sus operaciones sin descuidar la calidad de sus productos lo cual los llevara a márgenes de ganancia superiores a los proyectados. La presencia de fenómenos aleatorios en todo proceso lleva a practicar la experimentación y por ende la necesidad de usar métodos/técnicas estadísticas que apoyarán a distinguir entre la gran variedad de combinaciones y la relación entre variables que en conjunto proporcionarán el producto final con las características deseadas por los clientes finales.

La experimentación juega un papel fundamental virtualmente en todos los campos de la investigación y el desarrollo. El objetivo de la experimentación es obtener información de calidad. Información que permita desarrollar nuevos productos y procesos, comprender mejor un sistema (un proceso industrial, un procedimiento analítico) y tomar decisiones sobre como optimizarlo y mejorar su calidad, y comprobar hipótesis científicas. (Ferré & Rius, n.d.) [1]

Un experimento diseñado y ejecutado apropiadamente permite realizar en forma adecuada el análisis estadístico y la interpretación de los resultados. De esta forma el investigador puede tomar decisiones acertadas acerca de la variable objeto de estudio. De aquí la importancia de los diseños estadísticos de experimentos en la generación de información confiable. (Gata Molina & Más Diego, 2016) [2]

El diseño de experimentos es una herramienta importante en la industria manufacturera hasta en las empresas de servicio ya que se utiliza para mejorar el desempeño de un proceso, además tiene múltiples aplicaciones en el desarrollo de nuevos procesos. (Pérez, 2009) [3]

<sup>1</sup> Tenologico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Torreón, carretera antigua Torreón San Pedro km 7.5 cp. 27170Torreón Coahuila, México.

<sup>2</sup> Tenologico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Avenida Tecnológico N° 1555. Periferico Gómez-Lerdo Km 14.5, cp. 35150, Lerdo Durango México.

\* [herrera.ramon@icloud.com](mailto:herrera.ramon@icloud.com)

El diseño de experimentos, puede considerarse como un conjunto o serie de diversas pruebas que permite identificar diferentes aspectos de una o varias variables que se encuentren incluidos en el proceso, esto con el fin de obtener información que permita mejorar el sistema o proceso sobre el cual se estén realizando los experimentos o análisis. (Rojas & Almario Calderón , 2019) [4]

Sánchez, 2009 “El diseño de experimentos se puede definir como un conjunto de métodos que se utilizan para manipular un proceso con el fin de obtener información de cómo mejorarlo” (Ferré & Rius, 2002) [5]

La clave de un diseño de experimentos exitoso está en la definición del problema a investigar, es decir, generar un proceso desde el punto de vista sistémico, de tal manera que el experimento a analizar pueda verse como un conjunto de elementos interactuando entre sí para lograr un fin común afectados por variables internas y externas como el medio ambiente.(Gonzalez Almaguer, 2016) [6]

Montgomery (2001) establece que la importancia del diseño de experimentos recae en la necesidad que tienen las empresas de contar con procesos óptimos con la menor variabilidad para incrementar la calidad en sus productos o servicios. [7]

De acuerdo a Montgomery (2004) el DE es una prueba o serie de pruebas en las cuales se introducen cambios deliberados en las variables de entrada de un proceso o sistema, de manera que sea posible observar e identificar las causas de los cambios en la respuesta de salida. Una buena técnica de diseño de experimentos resulta más eficaz y proporciona mejores resultados a un bajo costo, cuando se basa en estudiar simultáneamente los efectos de todos los factores de interés. (Rojas & Almario Calderón , 2019) [4]

Para obtener el valor óptimo se aplica una estrategia experimental que se conoce como Diseño de Experimentos (DOE); el cual consiste en seleccionar el tipo de diseño a utilizar, identificar los factores de interés con el fin de encontrar la combinación que mejor respuesta de a todas características de calidad  
El diseño estadístico de experimentos contempla una amplia variedad de estrategias experimentales que son adecuadas para generar la información que se busca el diseño factorial completo  $2^k$  es una de ellas. Este describe los experimentos mas adecuados para conocer simultaneamente que efecto tienen k factores sobre una respuesta descubrir si interaccionan entre ellos. (Ferré J. 2003) [8]

El término experimento factorial o arreglo factorial hace referencia a la constitución de los tratamientos o combinaciones de tratamientos que se desean comparar. Este término no afecta lo que se conoce como diseño de tratamientos, pues este se refiere a la selección de factores que se desean estudiar los niveles de los factores a ensayar y combinaciones de éstos. Los tratamientos en el análisis factorial consisten en todas las combinaciones se forman de los distintos niveles de los factores. (Pérez Redondas, 2016) [9]

En el proceso de la producción de zinc útil para la separación de impurezas en una solución rica en zinc en la empresa metalúrgica donde se realizó el proyecto no existe un método de trabajo que especifique los niveles óptimos de los factores que influyen directamente en la calidad del producto que permitan optimizar recursos y cumplir con las especificaciones del cliente.

Se espera que a través de DOE conocer los factores y/o interacciones que mayor influencia tienen sobre el proceso de producción y así establecer los niveles adecuados de operación que incrementen la producción de polvo de zinc útil.

## II. METODOLOGÍA

El presente estudio se realizó en una empresa del ramo metalúrgico de la Comarca Lagunera (26° N) durante el año 2019. Actualmente se tiene una infraestructura instalada para la fabricación de polvo de zinc capaz de producir en promedio 1,840 ton. mensuales o 61.3 ton. diarias, de las cuales aproximadamente 50% es polvo grueso (útil), 25% polvo fino (útil) y 25% polvo de rechazo.

Este porcentaje se obtiene mediante pruebas de granulometría que se realizan a lo largo del turno utilizando mallas de 65, 100 y 200 micras ( $\mu\text{m}$ ) para determinar el polvo de rechazo, polvo grueso y el polvo fino respectivamente. La producción de polvo de zinc es un recurso clave para la separación de impurezas en una solución rica en zinc y debido a esto la especificación aceptable de polvo fino/grueso de zinc deberá ser equivalente al 80%.

Los ingenieros de proceso y la experiencia del personal operativo han detectado los factores de operación que influyen en la producción de polvo:

1. Distancia de atomizado (in)
2. Presión de aire (kg)
3. Tipo de Boquilla de atomizado
4. Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )

Estos factores son manejados y controlados por el personal en base a su experiencia desconociendo a qué niveles precisos se debe operar para obtener un polvo de

mayor calidad.

Para optimizar procesos de fabricación, condiciones de reacción y métodos de análisis entre otros, es necesario conocer qué variables influyen significativamente en el sistema y cómo lo afectan. (Ferré J., 2003) [8]

En el caso que se presente una mayor producción de polvo de rechazo (no útil) se vuelven a modificar las variables hasta que se produce polvo útil esto se hace indiscriminadamente y sin control.

Debido al requerimiento de incremento de producción de zinc metálico que se mencionó anteriormente se pretende que a través de esta metodología para encontrar la manera de reducir la producción de polvo de rechazo y establecer parámetros fijos del manejo de los factores mencionados.

De igual forma establecer mejores prácticas de operación que se verán reflejadas directamente a la poca exposición física del personal con el metal fundido y al ruido ocasionado por la atomización del aire.

En este estudio del tipo exploratorio el objetivo fundamental persigue establecer para las variables identificadas como significantes en el proceso de producción de polvo de zinc niveles óptimos. Es por eso que mediante el DOE 2<sup>k</sup> se busca optimizar el proceso de producción de polvo de zinc para incrementar la calidad del polvo útil (fino/grueso) de 75% a más del 80% como mínimo, ya que cada factor se estudia a dos niveles y la experimentación permite analizar todas las combinaciones de cada nivel de cada factor con los otros factores.

Para establecer el diseño de los factores y sus respectivos niveles se tomaron en cuenta los niveles actuales de operación mostrados en la Tabla I, de la información histórica de operación se observaron otros niveles a los que se llegó a operar y se obtuvieron altos porcentajes de polvo útil.

TABLA I  
FACTORES Y NIVELES ACTUALES DE OPERACIÓN

FACTORES	NIVELES
Temperatura (°C)	500
Presion (Kg)	5
Tipo Boquilla	Doble gota
Distancia de atomizado (in)	5

### III. DESARROLLO DE ACTIVIDADES

Una vez que se establecieron los factores y sus niveles se realizó un diseño de experimentos 2<sup>4</sup>. Es decir, un diseño con cuatro factores con dos niveles cada mismos que se muestran en la Tabla II.

TABLA II  
FACTORES Y NIVELES A CONTROLAR

FACTORES		NIVEL BAJO	NIVEL ALTO
A	Temperatura (°C)	520	570
B	Presión (Kg)	5.5	6
C	Tipo Boquilla	DGC*	*DGG
D	Distancia de atomizado (in)	8	10

\*DGC = Doble gota chica, \*DGG= Doble gota grande

Es importante mencionar que los niveles que se mencionan de la información histórica siempre fueron hechos a prueba y error sin tener en ningún momento la certeza de que esos niveles fueran los mejores a los que se opera actualmente, por lo cual, basándose en las pruebas realizadas, con la experiencia y conocimiento en el proceso se establecieron los siguientes factores y sus respectivos niveles.

### IV. APLICACIÓN DEL MÉTODO

Ya que el objetivo es evaluar e identificar la significancia de k factores en el proceso de producción de polvo de zinc y determinar los niveles optimos. La Tabla III y la Figura 1 muestran el diseño experimental para los cuatro factores, estos expresados en unidades codificadas.

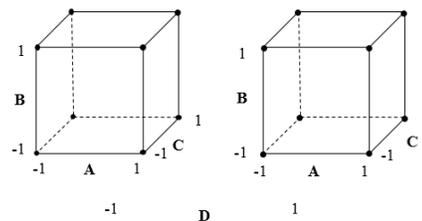


Figura 1. Diseño experimental para cuatro factores en unidades codificadas

TABLA III  
DISEÑO EXPERIMENTAL 2<sup>4</sup> UNIDADES CODIFICADAS

	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>
1	-	-	-	-
2	+	-	-	-
3	-	+	-	-
4	+	+	-	-
5	-	-	+	-
6	+	-	+	-
7	-	+	+	-
8	+	+	+	-
9	-	-	-	+
10	+	-	-	+
11	-	+	-	+
12	+	+	-	+
13	-	-	+	+
14	+	-	+	+
15	-	+	+	+
16	+	+	+	+

El diseño experimental para el estudio sustituyendo las unidades codificadas (+ y -) por los valores originales o reales obtenemos nuestro diseño experimental que se muestra en la Tabla IV la cual presenta también de manera estructurada la lista de experimentos a realizar. Por ejemplo, el experimento uno se realizó a una Temperatura (A) de 520 °c, con una Presión (B) de 5.5 kg, con un Tipo de Boquilla (C) Doble Gota Grande y una Distancia de atomizado (D) de 8 pulgadas.

Antes de realizar la experimentación de manera aleatoria hay que establecer el número de réplicas, así como estar seguros de la factibilidad de realizar cada experimento, si por parte del área operativa no ve factible llevar a cabo algún experimento se puede analizar la posibilidad de reemplazarlo o establecer una estrategia que convenza al área operativa para que se pueda completar el diseño experimental con la mínima pérdida de información para el análisis final.

TABLA IV  
DISEÑO EXPERIMENTAL 2<sup>4</sup> UNIDADES ORIGINALES

	Unidades Codificadas				Unidades Originales			
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	A	B	C	D
1	-	-	-	-	520	5.5	DGG	8
2	+	-	-	-	570	5.5	DGG	8
3	-	+	-	-	520	6	DGG	8
4	+	+	-	-	570	6	DGG	8
5	-	-	+	-	520	5.5	DGC	8
6	+	-	+	-	570	5.5	DGC	8
7	-	+	+	-	520	6	DGC	8
8	+	+	+	-	570	6	DGC	8
9	-	-	-	+	520	5.5	DGG	10
10	+	-	-	+	570	5.5	DGG	10
11	-	+	-	+	520	6	DGG	10
12	+	+	-	+	570	6	DGG	10
13	-	-	+	+	520	5.5	DGC	10
14	+	-	+	+	570	5.5	DGC	10
15	-	+	+	+	520	6	DGC	10
16	+	+	+	+	570	6	DGC	10

V. RESULTADOS

En la Tabla V se muestran los porcentajes de polvo de zinc útil obtenidos de los experimentos incluyendo las replicas

TABLA V  
RESULTADOS OBTENIDOS. PORCENTAJE DE POLVO DE ZINC ÚTIL

	A	B	C	D	Réplica I	Réplica II
1	520	5.5	DGG	8	73%	75%
2	570	5.5	DGG	8	80%	81%
3	520	6	DGG	8	68%	70%
4	570	6	DGG	8	82%	81%
5	520	5.5	DGC	8	59%	78%
6	570	5.5	DGC	8	72%	71%
7	520	6	DGC	8	66%	81%
8	570	6	DGC	8	71%	73%
9	520	5.5	DGG	10	82%	71%
10	570	5.5	DGG	10	74%	75%
11	520	6	DGG	10	79%	77%
12	570	6	DGG	10	74%	74%
13	520	5.5	DGC	10	69%	69%
14	570	5.5	DGC	10	83%	81%
15	520	6	DGC	10	71%	67%
16	570	6	DGC	10	81%	66%

Para dar conclusiones certeras sobre los datos que se recolectaron, es importante validar estadísticamente los resultados [10].

Los datos fueron analizados con el software MINITAB

dada su diversidad para realizar cálculos matemáticos y gráficos. Se presentan los resultados en la tabla V, para validar estos resultados es necesario comprobar las gráficas de los supuestos de normalidad, varianza constante e independencia los cuales en este experimento se cumplieron.

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para obtener la variabilidad del proceso para saber los efectos que influyen significativamente en la respuesta de salida, la el cual se presenta en la Tabla VI.

TABLA VI  
ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA)

Factor	GL	SC	MC.	F	p
A	1	133.82	133.823	5.60	0.026
B	1	5.21	5.210	0.22	0.644
C	1	100.02	100.017	4.19	0.051
D	1	3.56	3.559	0.15	0.703
A*C*D	1	196.75	196.750	8.23	0.008
Error	26	621.35	23.898		
Total	31	1060.71			

Del análisis de varianza se puede observar que los factores principales A, D y la interacción ACD resultaron significativos (Valor  $p < 0.05$ ).

La existencia de la interacción ACD dificulta la interpretación de los efectos sobre la respuesta, pero con apoyo de una gráfica de cubos (Figura 2) apoya a la interpretación.

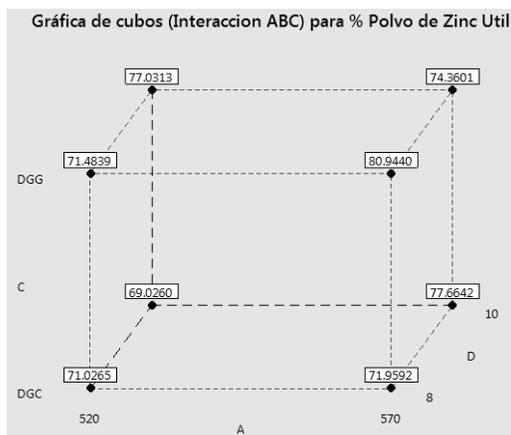


Figura 2. Gráfica de cubos Interacción ABC

Como se comentó el valor  $p$  de esta interacción fue menor a 0.05, lo que nos demuestra que hay evidencia estadística para suponer que estos factores en conjunto influyen sobre la generación de polvo de zinc útil por lo cual se debe decidir sobre las nuevas condiciones de operación.

Las condiciones de operación que pueden observar en la Figura 1 nos indican que para obtener en promedio un 81% de polvo de zinc útil se deben de manejar los factores según se muestran en la Tabla VII.

TABLA VII  
CONDICIONES DE OPERACIÓN

FACTORES		NIVEL
A	Temperatura (°C)	570
C	Tipo Boquilla	DGG
D	Distancia de atomizado (in)	10

De los factores que se seleccionaron para el estudio es importante considerar que, aunque el factor Presión (B) no resultó ser significativo para la producción de polvo de zinc es necesario para la operación por lo cual la presión que se deberá de manejar será bajo consideraciones del área operativa según convenga a sus intereses.

## VI. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

El diseño de experimentos es altamente efectivo para procesos, el objetivo fue incrementar a más del 75% el polvo de zinc útil y al desarrollar experimento se logro incrementar en 6 puntos porcentales el polvo de zinc útil llegando al 81%. Con esta técnica se puede llegar a mejorar el rendimiento de un proceso, reducir su variabilidad o los costos de producción.

Se ha demostrado que la aplicación de DOE en un proceso en este caso metalúrgico demostró operar a niveles óptimos de los factores que influyen directamente en el proceso de producción de polvo de zinc así mismo se logró optimizar recursos y mejorar la calidad del producto.

Si bien el caso de estudio puede permitir utilizar alguna otra estrategia de experimentación se decidió el factorial debido a que permitió investigar todas las combinaciones de los niveles de los factores, de igual manera en cuestión operativa permitió hacer un mayor número de pruebas y el costo no era representativo para la gerencia.

En base a los resultados obtenidos se recomienda utilizar ésta metodología en los procesos donde se tiene una identificación y control de variables que permitan el desarrollo de pruebas experimentales.

## VII. REFERENCIAS

- [1] Ferré, J. & Rius, X. (2002). Introducción al diseño estadístico de experimentos. 2019, agosto 22, de [www.quimica.urv.es](http://www.quimica.urv.es) Recuperado de <http://www.quimica.urv.es/quimio/general/dis.pdf>
- [2] Gata Molina, A. & Más Diego, S M. (2016). Diseño de experimentos aplicado a investigaciones agrícolas

relacionadas con el campo electromagnético. 2019, septiembre 22, de <https://dialnet.unirioja.es> Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5434550>

- [3] Pérez, G. & Arango, M D. & Agudelo, Y. (2009). Aplicación del diseño de experimentos para el análisis del proceso de doblado. 2019, septiembre 22, de [www.redalyc.org](http://www.redalyc.org) Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/1492/149212825011>
- [4] Rojas, B E. & Almarío Calderón, J D. (2019). Propuesta para la realización guías de laboratorio sobre el tema diseño de experimentos para la asignatura métodos experimentales del programa de Ingeniería Industrial de la Universidad de Ibagué. 2019, noviembre 14, de <https://repositorio.unibague.edu.co/jspui/handle/20.500.12313/821> Recuperado de <https://repositorio.unibague.edu.co/jspui/bitstream/20.500.12313/821/1/Trabajo%20de%20grado.%20Pdf>
- [5] Ferré, J. & Rius, F. X. (2002). Introducción al diseño estadístico de experimentos. 2019, agosto 12, de [www.quimica.urv.es](http://www.quimica.urv.es) Recuperado de <http://www.quimica.urv.es/quimio/general/dis.pdf>
- [6] González Almaguer, C A. (2016). Diseño de Experimentos y Técnicas de Fase Creativa para reducir el tiempo de diseño de nuevos productos Agroindustriales en zonas marginadas de México. 2019, noviembre 5, de <https://www.tdx.cat> Recuperado de [https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/387114/T\\_CAGA1de1.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/387114/T_CAGA1de1.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [7] Montgomery, D. C. (2004). Diseño y Análisis de Experimentos. México: Limusa Wiley.
- [8] Ferré, J. (2003). El diseño factorial completo 22. 2019, agosto 15, de [www.quimica.urv.es](http://www.quimica.urv.es) Recuperado de <http://www.quimica.urv.es/quimio/general/disfact.pdf>
- [9] Pérez Redondas, L. (2016). Estudio de la microporosidad en aceros al manganeso mediante la aplicación de la técnica del diseño de experimentos. 2019,septiembre 28, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=78508> Recuperado de <http://hdl.handle.net/10651/38387>
- [10] Ilzarbe Izquierdo, Laura, & Tanco, Martín, & Viles, Elisabeth, & Álvarez Sánchez-Arjona, María Jesús (2007). El diseño de experimentos como herramienta para la mejora de los procesos. Aplicación de la metodología al caso de una catapulta. *Tecnura*, 10(20), 127-138. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=2570/257021012011>



**Magallanes A. Jesús Francisco**, 31 de marzo de 1984, Torreón Coahuila. Instructor Lean Six Sigma Green Belt, SigmaPro, 2019, Especialidad en Métodos Estadísticos, CIMAT 2018, Black Belt LSSI (Lean Sigma Institute) 2015, Maestría en Administración de Sistemas de Calidad, Universidad del Valle de México Campus Laguna, Torreón, Coahuila, México (2014). Ingeniería Industrial, Instituto Tecnológico de la Laguna, Torreón, Coahuila, México (2006).

El actualmente labora en la Metalúrgica Met-Mex Peñoles ubicada en boulevard Laguna 3200 poniente, Torreón, Coahuila, México o, como Ingeniero Industrial B y como Docente en la Universidad Iberoamericana (campus Laguna) impartiendo materias como análisis y diseño de experimentos, dirección de operaciones, ingeniería de la producción, control estadístico de la calidad, mejora de procesos (seis sigma), de igual forma en la Universidad Tec Milenio (campus Laguna) impartiendo el programa de Metodología de Optimización de Procesos (DMAIC), finalmente ha impartido clases a nivel posgrado en la Universidad Autónoma del Noroeste (UANE) con los programas de estadística aplicada a los negocios y simulación con Promodel.



**Herrera G. Ramon Alberto**. Torreón Coah. México, 06 agosto de 1984. Maestro en Administración y Alta Dirección de la Facultad de Contabilidad y Administración de la Universidad Autónoma de Coahuila (2010), Ingeniero Industrial egresado del Instituto Tecnológico de la Laguna (2006). El actualmente labora en el Instituto Tecnológico de Torreón Ubicado en carretera Torreón-San Pedro km 7.5, como Profesor de tiempo completo con perfil deseable PRODEP 2018 en la Carrera de Ingeniería Logística impartiendo materias como Programación de procesos productivos, Mejora de procesos, Estadística Inferencial, Cultura de Calidad, es miembro de la Asociación Mexicana de Logística, ha ocupado cargos administrativos dentro de la Institución como Jefe de departamento de Ingenierías (2012), Jefe de la División de Estudios Profesionales (2013), Jefe del departamento de Recursos Materiales y Servicios (2016). Las líneas de investigación de interés están orientadas a la optimización de la producción, control de la calidad y aseguramiento de la cadena de suministro.

**Cháirez A. Luvianka Ivonett**. Torreón, Coah. México. 28 de febrero de 1976. Licenciada en Comercio Exterior y Aduanas por la Universidad Iberoamericana Plantel Laguna (2004), Certificada en Competencias de Enseñanza del Idioma Inglés como Segunda Lengua por la Universidad de Olds, Alberta, Canadá (2004) y Maestra en Innovación Educativa por la Universidad La Salle Laguna (2015). En el Instituto Tecnológico de Torreón fue Jefa de la División de Estudios Profesionales de 2007 a 2010; Jefa de Implementación del Programa de Lengua Extranjera de 2003 al 2018; Coordinadora de las carreras de Ingeniería en Logística e Ingeniería en Gestión Empresarial de 2012 a 2014; Presidenta de la Academia de Ingeniería en Logística de 2014 a 2017; Docente del Área de Ciencias Económico Administrativas de 2003 a la fecha, y Perfil PRODEP en 2018. Las líneas de investigación de interés son las relacionadas a la Innovación educativa, la Gestión de la cadena de suministro, la Optimización del transporte; entre otros.



**Chiw G. Esmeralda Daniela**. Torreón, Coahuila, 30 de septiembre de 1981. Ingeniero Industrial, Instituto Tecnológico de la Laguna, Torreón, Coahuila, México. Titulación 2003. Maestría en Ciencias en Ingeniería Industrial, Instituto Tecnológico de la Laguna, Torreón, Coahuila, México. Titulación 2005. Actualmente labora en el Instituto Tecnológico de Torreón en la ciudad de Torreón, Coahuila, México, desempeñándose como docente de las materias de Investigación de Operaciones, Administración de la Salud y Seguridad Ocupacional, Cadena de Suministro, entre otras. Es secretaria de la academia de Ingeniería en Logística. Es responsable de la oficina de proyectos de docencia de la carrera de Ingeniería en Logística. Cuenta con experiencia en el desarrollo, implantación y mejoramiento de Sistemas de gestión de calidad, sistemas de gestión de inocuidad alimentaria y sistemas para laboratorios de ensayo y calibración en empresas públicas y privadas. Las líneas de interés del autor son:

mejoramiento de la cadena de suministro, logística, gestión de la calidad y manufactura avanzada. M.C. Chiw, es miembro de la Asociación Mexicana de Logística.



**Carrera Barraza Brenda.** Torreón Coahuila. México, 15 enero de 1978. Doctora en Administración Estratégica del Instituto Internacional de Administración Estratégica (2018), Maestra en Ciencias en Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico de la Laguna (2008), Ingeniera Industrial del Instituto Tecnológico de la Laguna. Actualmente labora en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, ubicado en Av. Tecnológico No. 1555 Sur Periférico Gómez - Lerdo Km. 14.5, C.P. 35150 Cd. Lerdo, Dgo, como profesor de tiempo completo en la Carrera de Ingeniería Industrial impartiendo materias como Estadística Inferencia I, Estadística Inferencia II, Formulación y Evaluación de Proyectos, Tópicos de Manufactura, Ergonomía, Control Estadístico de la Calidad

# CONTROL DE INVENTARIO DE MÁQUINAS EXPENDEDORAS DE PRODUCTOS USANDO IoT

J. I. Vega-Luna<sup>1</sup>, M. A. Lagos-Acosta<sup>1</sup>, G. Salgado-Guzmán<sup>1</sup>, J. F. Cosme-Aceves<sup>1</sup>, F. J. Sánchez-Rangel<sup>1</sup>, V. N. Tapia-Vargas<sup>1</sup>.

**Resumen**—Se presenta un sistema cuyo objetivo fue acceder el inventario de máquinas expendedoras de productos usando IoT. Se implantó una red compuesta por cinco nodos usando tecnología de comunicación inalámbrica Long Range. En cada máquina expendedora se instaló un nodo. Los nodos están integrados por un controlador ESP8266, un transceptor inalámbrico y la interfaz electrónica a la máquina expendedora. Uno de los nodos funciona como maestro de la red y el resto como esclavos. Los esclavos reportan al maestro la cantidad de productos disponibles en cada máquina. Desde una computadora conectada a la Internet se puede acceder el inventario de cada máquina. Cuando la cantidad de un producto alcanza el mínimo configurado, el maestro transmite un mensaje al teléfono móvil de mantenimiento de las máquinas. Las pruebas de comunicación realizadas mostraron que el alcance de la red fue 7.2 Kilómetros sin línea de vista. Basándose en estos resultados se concluye que el sistema puede usarse en otras aplicaciones de monitoreo remoto de larga distancia.

**Palabras claves**—Inalámbrica, inventario, IoT, Long Range, máquinas expendedoras.

**Abstract**—This paper presents a system whose objective was to access the inventory of product vending machines using IoT. A network consisting of five nodes was implemented using Long Range wireless communication technology. A node was installed on each vending machine. The nodes are integrated by an ESP8266 controller, a wireless transceiver and the electronic interface to the vending machine. One of the nodes functions as a network master and the rest as slaves. Slaves report to the master the quantity of products available on each machine. The inventory of each machine can be accessed from a computer connected to the Internet. When the quantity of a product reaches the configured minimum, the master transmits a message to the mobile maintenance telephone of the machines. The communication tests carried out showed that the network's reach was 7.2 Kilometers without line of sight. Based on these results, it is concluded that the system can be used in other remote long distance monitoring applications.

**Keywords**—Inventory, IoT, Long Range, vending machines, wireless.

## I. INTRODUCCIÓN

Una máquina expendedora de productos, o vending machine (VM) en inglés, es una máquina que proporciona una variedad de productos. Su función es vender sin la presencia de un empleado. Tiene como objetivo automatizar la venta de artículos para disminuir costos y tiempo, usando la tecnología para vender más con bajo costo de operación. Se encuentran instaladas en casi cualquier lugar como por ejemplo escuelas, hospitales, centros comerciales, aeropuertos y lugares de trabajo. En su aparición, se utilizaban para la venta de golosinas, bebidas y artículos pequeños. Actualmente, las VM expenden una variedad de productos como los son: artículos electrónicos, libros, boletos de transporte y renta de otros artículos [1].

Con el desarrollo de la tecnología en telecomunicaciones y sistemas digitales, las VM representan la tercera forma de ventas y consumo más grande del mundo, reemplazando a una cantidad importante de canales de distribución tradicionales. Las VM incorporan cada vez más tecnología como luces led, pantallas táctiles de alta definición y altavoces estéreo para interactuar con el usuario. Esto ha permitido mejorar la publicidad integrando herramientas de mercadeo. Algunas VM entregan gratis productos a cambio de una acción, como por ejemplo un “me gusta” en la página de Facebook de un vendedor. Ya que la ventaja principal de una VM es su disponibilidad y la de los productos que entrega, la falta de un producto y/o el mal funcionamiento de la máquina trae como consecuencia clientes insatisfechos o la pérdida de ganancias [2].

En la actualidad, las VM son dispositivos electro-mecánicos que solo necesitan la intervención de un empleado para suministrar productos y efectivo o realizar labores de mantenimiento. Comúnmente, el ciclo de operación es el siguiente: 1) Abastecimiento de la máquina con artículos y efectivo, 2) El cliente compra los productos, 3) Se programa la recarga y mantenimiento, 4) Se determinan los productos de mayor demanda, 5) Se embarcan los productos a recargar y 6) Se realiza la recarga y mantenimiento.

A pesar de que la recarga y mantenimiento son periódicos, las tareas de surtir artículos agotados y reparar fallas de funcionamiento son reactivas. De manera similar, algunas acciones, como por ejemplo determinar los productos de mayor demanda para optimizar las ventas es

<sup>1</sup> Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, Departamento de Electrónica, Área de Sistemas Digitales, Av. San Pablo 180, Colonia Reynosa, C.P. 02200, Ciudad de México, México.

\* vlji@azc.uam.mx.

una labor que se realiza casi manualmente. Hoy en día, pocos tipos de VM conectan a la Internet, además tienen funcionalidades limitadas. Es necesario que la operación de este tipo de máquinas sea supervisada remotamente para llevar cabo acciones preventivas que afecten su operación [3].

Este trabajo se realizó por requerimiento de una empresa propietaria de máquinas expendedoras. Se solicitó realizar una red de cinco máquinas expendedoras conectadas a la Internet para poder determinar remotamente el inventario, si existe alguna falla o falta efectivo en ellas. En caso de que la cantidad de un producto sea el mínimo configurado se debe enviar un mensaje de WhatsApp a un teléfono móvil. La máquina más lejana se ubica a 700 metros del punto de acceso WiFi a la Internet. La instalación de la red no debe modificar ningún componente de las máquinas.

Tomando en cuenta lo solicitado, fundamentalmente el alcance de la red, la tecnología de comunicación indicada debe ser inalámbrica de largo alcance.

Durante los últimos años, ha surgido una variedad de tecnologías de comunicación de radio frecuencia de gran cobertura geográfica, bajo costo y bajo consumo de energía que brindan buena relación costo/beneficio, entre las cuales se encuentran: WiFi, Bluetooth Low Energy (BLE) y LoRa (Long Range). Los transceptores WiFi son de bajo costo, tienen alcance de 15 a 25 metros con línea de vista, proporcionan gran ancho de banda y consumen relativamente una cantidad alta de energía eléctrica [4]. La tecnología BLE tiene alcance de 100 metros nominalmente con línea de vista, proporciona una cantidad mediana de ancho de banda y es de bajo consumo de energía. Por su parte, la tecnología LoRa usa transceptores de bajo costo, proporciona un alcance de varios Kilómetros con línea de vista, tiene un ancho de banda pequeño y es de bajo consumo de energía.

Considerando las características anteriores se usó en este trabajo tecnología inalámbrica LoRa para implantar una red LPWAN (Low Power Wide Area Network) [5]. LoRa es un protocolo abierto desarrollado por LoRa Alliance que permite crear redes LPWAN para el mercado de IoT. El protocolo LoRa define la capa física del modelo OSI o modulación inalámbrica para llevar a cabo la comunicación de larga distancia, usando transceptores de radio de baja potencia que transmiten pequeñas cantidades de información a baja velocidad, logrando mayor tiempo de vida de baterías. Las LPWAN que usan el protocolo LoRa son conocidas como LoRaWAN y son utilizadas por operadores de redes inalámbricas que usan el espectro sin licencia para comunicar dispositivos IoT a través de su red. Las LoRaWAN proporcionan mayor cobertura que las redes inalámbricas celulares. Muchos operadores de redes celulares complementan su oferta de redes inalámbricas/celulares con LoRaWAN ya que se integran

a la infraestructura existente para ofrecer a los clientes soluciones basadas en aplicaciones de IoT alimentadas por baterías [6].

Se pueden implantar soluciones de IoT usando LoRaWAN sin necesidad de tecnologías de transmisión inalámbrica tradicionales como WiFi o celular. Las redes LoRaWAN usan arquitectura de estrella y los nodos establecen el enlace inalámbrico de baja frecuencia con uno o más puertas de enlace conectadas a la Internet. Las puertas de enlace transmiten información a un servidor de red ubicado en la nube, usando una conexión IP estándar, lo cual permite desarrollar e implantar fácilmente redes de IoT. La velocidad de transmisión de una LoRaWAN varía en el rango de 0.3 Kbps a 50 Kbps. Para maximizar la duración de la batería de dispositivos finales y capacidad de la red, el servidor administra la velocidad para cada nodo de la red [7].

Con una puerta de enlace o estación base LoRa se pueden cubrir ciudades completas o áreas de cientos de kilómetros cuadrados. Las LoRaWAN tienen una capacidad de miles de nodos y usan dos capas de seguridad: una para la red y otra para la aplicación. La seguridad de la red sirve para autenticar el nodo y la seguridad en la aplicación garantiza que el operador de la red no tenga acceso a la información de la aplicación del usuario final [8].

La solución aquí presentada consistió de una LPWAN compuesta por seis nodos. En cada una de las cinco VM se instaló un nodo el cual trabaja como esclavo en la red. El sexto nodo funciona como maestro de la red. Los nodos esclavo se implantaron usando la tarjeta Huzzah 8266. Las funciones de los nodos esclavo son transmitir al nodo maestro la cantidad restante de un producto cada vez que se realice la venta de alguno de ellos y el código de falla o error reportado por la VM correspondiente. Por su parte, el papel del nodo maestro es implantar el servidor y página web desde la cual se visualiza el inventario y código de falla de cada máquina, así como transmitir el mensaje de alerta de WhatsApp cuando la cantidad de un producto alcanza el mínimo. La comunicación entre los nodos de la LPWAN se realiza usando tecnología LoRa, mientras que la conexión de la red a la Internet se lleva a cabo utilizando comunicación WiFi.

Durante los últimos años, las investigaciones y aplicaciones con VM se han enfocado en tres líneas: 1) Desarrollo de algoritmos de operación; 2) Interfaces de usuario y 3) Uso de telecomunicaciones y monitoreo remoto. En cuanto a la primera línea de investigación, los trabajos recientes han planteado el uso de algoritmos usados para determinar estadísticamente la tendencia en el consumo de productos considerando la ubicación de la VM y tipo de productos ofertados [9]. Se han incorporado tecnologías recientes para implantar interfaces de usuario interactivas con sistemas basados en CPU, GPU y FPGA

para reconocimiento de rostros y recomendación de productos [10]. Respecto al monitoreo remoto, se han realizado redes de VM móviles utilizando comunicación inalámbrica, programación distribuida y redes neuronales que permiten a los usuarios ver la ubicación de las máquinas en un mapa de una aplicación en un teléfono inteligente [11] o creando VM inteligentes con: sistemas embebidos y sensores de última tecnología para mejorar los mecanismos en la seguridad en los pagos [12], algoritmos de clasificación y detección de productos usando visión por computadora, procesamiento digital de imágenes y técnicas de aprendizaje profundo [13] y manejo de productos grandes como por ejemplo las VM empleadas en algunos países para la venta de automóviles [14].

Por otra parte, el uso de la tecnología LoRa en aplicaciones de IoT ha crecido rápidamente los últimos tiempos. Se ha empleado esta tecnología en diversas áreas de la vida humana y la sociedad entre las que se encuentran: el monitoreo de variables y dispositivos en granjas y campos agrícolas [15], en edificios y casas inteligentes [16], en procesos industriales [17], en medicina y cuidado de la salud [18] y en ciudades eléctricas para medida de uso y consumo de energía eléctrica [19] y calidad del aire [20].

Basándose en lo anteriormente expuesto, no se ha realizado hasta ahora una aplicación de IoT similar a la desarrollada en este trabajo. El ciclo de operación, supervisión, mantenimiento y abastecimiento de VM continúa siendo, en su mayor parte, manual, lo que impacta negativamente en las ventas. Algunas soluciones conectan la máquina, a través de la Internet, a una computadora, instalada y operada por el propietario de la VM, mediante la cual se recibe el inventario al final del día, lo que implica costos e información desactualizada. Los beneficios de la aplicación aquí desarrollada son los siguientes: 1) La instalación no es intrusiva, usa comunicación inalámbrica y no modifica el funcionamiento ni arquitectura de la máquina expendedora; 2) Fue programada usando bibliotecas de funciones de libre uso y código abierto, lo cual reduce el tiempo y complejidad de la implantación; 3) Usa una plataforma de IoT en la nube de reciente creación que proporciona el servicio de mensajería oportunamente sin costo adicional y 4) Proporciona remotamente en línea el inventario y código de falla, en caso de presentarse, de las máquinas de la red.

## II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

El desarrollo de este trabajo consistió en dividirlo en dos partes: la LPWAN y la interfaz de usuario como se indica en el diagrama funcional de la Figura 1.

### A. La LPWAN

La red LPWAN está compuesta por cinco nodos esclavo y un nodo maestro. En la Figura 2 se muestra la arquitectura de los nodos esclavo, los cuales están integrados por los elementos siguientes: una tarjeta Huzzah 8266, una interfaz con la máquina expendedora y un transceptor LoRa.

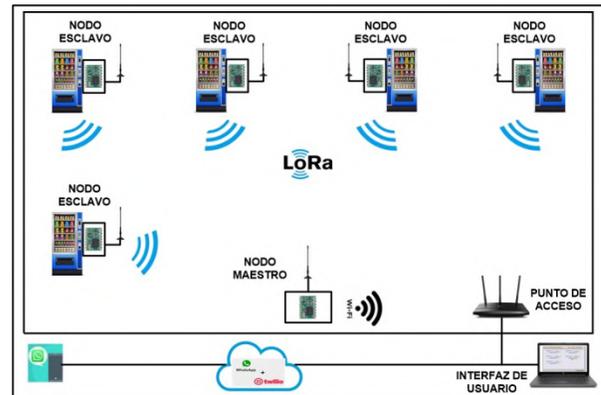


Figura 1. Diagrama funcional del sistema

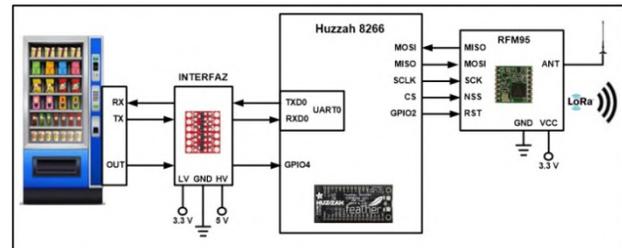


Figura 2. Arquitectura de los nodos esclavo

La tarjeta HUZAZH contiene el procesador ESP 8266, el cual integra: un microcontrolador cuya frecuencia de trabajo es 80 MHz, Memoria Flash de 4 MB, Interfaz WiFi 802.11 b/g/n, 9 terminales GPIO de entrada/salida de propósito general, un puerto I<sup>2</sup>C, un puerto SPI y dos puertos UART.

Las VM tienen un conector a través del cual proporcionan dos salidas. Por medio de la terminal OUT suministran un pulso activo bajo indicando el momento de la entrega de un producto o que la máquina se encuentra en estado de falla o error y por medio de la terminal TX proporcionan, en forma serie, el código del producto vendido, la cantidad restante del producto o el estado de falla o error. Este último puede ser por ejemplo: atasco de un producto o falta de efectivo o de un producto, entre otros. Ya que el nivel alto de voltaje de las terminales TX, RX y OUT de las máquinas es 5 V, se utilizó como interfaz, entre la máquina y la tarjeta Huzzah 8266, el circuito convertidor de nivel lógico bidireccional,

conectándolas al UART0 y a la terminal GPIO4 de la Huzzah 8266 cuyo nivel alto de voltaje es 3.3 V.

El transceptor LoRa usado en los nodos esclavo es el circuito RFM95. Este dispositivo cuenta con una interfaz SPI y sus características principales de operación son las siguientes: alimentación de 3.3 V, potencia de salida de +5 a +20 dBm hasta 100 mW, consumo de corriente ~100 mA durante la transmisión y ~30 mA durante la escucha activa, alcance 2 Km con línea de vista con antenas unidireccionales sintonizadas o hasta 20 Km usando antenas direccionales, velocidad de transmisión RF de 0.018 a 37.5 Kbps y velocidad de transmisión del SPI de hasta 300 Kbps. Por medio del puerto SPI, el transceptor RFM95 puede controlarse desde un host externo. El host implanta la interfaz de comunicación entre ambos dispositivos usando un protocolo maestro/esclavo. En este trabajo el host externo es el controlador de la tarjeta HUZAZH que realiza las funciones de maestro y el transceptor RFM95 las de esclavo. La interfaz tiene dos tipos de mensajes: paquetes de comando y paquetes de respuesta. El maestro siempre envía paquetes de comando, mientras que el esclavo siempre transmite paquetes de respuesta. Cuando el maestro envía un paquete debe esperar que el esclavo envíe un paquete de respuesta antes de transmitir otro paquete de comando. El transceptor RFM95 es un esclavo y no puede iniciar una transacción con el maestro. Los paquetes de comando consisten de los siguientes campos: preámbulo (4 bytes), inicio de trama (1 byte), tipo de comando (1 byte), número de mensaje (1 byte), longitud del mensaje (2 bytes), mensaje (hasta 256 bytes) y checksum para verificar la integridad del paquete (2 bytes). En los nodos esclavo el puerto SPI del transceptor RFM95 se conectó al puerto SPI de la tarjeta Huzzah 8266. Para lograr el alcance requerido de la red, el transceptor RFM95 de los nodos usa una antena exterior de ganancia tipo Omni Lora de 915 MHz cuyas características son las siguientes: ganancia 8 dBi, conector tipo N hembra, impedancia 50 ohms y longitud 1,145 mm.

La programación de la tarjeta Huzzah 8266 de los nodos esclavo se realizó usando el ambiente de desarrollo de Arduino IDE y ejecuta las siguientes acciones: configura las terminales GPIO, inicializa los puertos SPI y UART0 así como el transceptor RFM95 y entra a un ciclo continuo donde espera la interrupción de la terminal GPIO4, proveniente del pulso de salida activo bajo de la máquina expendedora, o del puerto SPI, proveniente del nodo maestro. La rutina de servicio de la interrupción de la terminal GPIO4 realiza la lectura de la información recibida en el puerto UART0 que indica el código del producto vendido o código de falla o error, proporcionado por la VM, y transmite al nodo maestro, por medio del transceptor LoRa RFM95, la información anterior. La rutina de servicio de la interrupción del puerto SPI lleva a cabo las actividades siguientes: recibe del nodo maestro el

número de máquina a la cual debe solicitar el inventario de productos, solicita y recibe el inventario y lo transmite al nodo maestro. Para implantar las actividades anteriores se utilizaron las bibliotecas siguientes de código abierto: *RH\_RF95.h* para realizar la comunicación de la tarjeta Huzzah 8266 con el RFM95 y *SPI.h* para desarrollar la rutina de interrupción del puerto SPI.

El nodo maestro está compuesto una tarjeta Huzzah 8266 y el transceptor LoRa. La programación de la tarjeta Huzzah 8266 del nodo maestro se realizó usando el ambiente de desarrollo de Arduino IDE. El programa principal lleva a cabo las siguientes acciones: configura la terminal GPIO2, inicializa el puerto SPI y la interfaz WiFi e invoca la función que implanta el servidor web. El programa principal puede ser interrumpido por la recepción de la información transmitida por las máquinas expendedoras recibida a través del transceptor LoRa RFM95.

La rutina de servicio de la interrupción realiza las tareas siguientes: lee la información recibida en el puerto SPI, si la cantidad del producto es igual o menor a la cantidad mínima configurada, transmite el mensaje de alerta de WhatsApp, el nombre y cantidad del producto al teléfono móvil a través de la plataforma de servicios Twilio. Si el código de falla es diferente a 0, transmite en un mensaje de WhatsApp la descripción de la falla o error. Además de las bibliotecas de funciones de código abierto usadas en los nodos esclavo, en la programación del nodo maestro se emplearon las bibliotecas siguientes: *ESP8266WiFi.h* para realizar la comunicación con la interfaz WiFi y *ESP8266WebServer.h* para implantar el servidor web.

#### B. La interfaz de usuario

La interfaz de usuario es una página creada con HTML mostrada por el servidor web. Cuando el usuario selecciona en la interfaz la VM cuyo inventario desea visualizar, el servidor web transmite al nodo esclavo correspondiente el mensaje de solicitud de inventario para mostrarlo en la página. El botón *Configuración* de la interfaz permite configurar los parámetros de operación siguientes: número del teléfono móvil, código, nombre y cantidad mínima de productos y descripción de códigos de falla o error. En la Figura 3 se muestra la página principal de la interfaz de usuario.

### III. RESULTADOS

Una vez construida la red y verificada la comunicación con el punto de acceso, se configuraron los parámetros de operación en la interfaz de usuario y se probó el funcionamiento del sistema completo. Las cinco máquinas vendieron productos diferentes y la interfaz de usuario mostró el inventario correctamente. También se agotaron algunos productos y efectivo y se atascaron despachadores de productos, reportando la interfaz los eventos y transmitiendo los mensajes de alerta de WhatsApp. No se

presentaron problemas en la comunicación entre los nodos de la LPWAN. La distancia entre el nodo esclavo más lejano y el nodo maestro son 700 metros.

Ya que la señal transmitida por los nodos sufre interferencia y es difractada o absorbida en el medio, el alcance de la misma depende del valor de potencia establecida en el transceptor LoRa, factores ambientales y obstáculos en la ruta de señal. Las pruebas anteriores se realizaron bajo las siguientes condiciones: sin línea de vista entre los nodos, el valor de potencia de transmisión RF configurado en el transceptor RFM95 fue 20 dBm-100 mW, frecuencia de RF 915 MHz, ancho de banda BW 125 KHz y la temperatura y humedad del ambiente 22 °C y 14 %, respectivamente.



Figura 3. Interfaz de usuario

Para determinar el alcance de la LPWAN se llevó a cabo un segundo grupo de pruebas. En la realización de estas pruebas se ubicó un nodo esclavo a diferentes distancias del nodo maestro sin línea de vista. En cada ubicación se solicitó mostrar el inventario de la VM asociada al nodo en la interfaz de usuario. Los resultados de estas pruebas indicaron que el alcance de la red LPWAN es 7.2 Kilómetros sin línea de vista. A distancias mayores se perdió el enlace entre el nodo esclavo y el nodo maestro. En este grupo de pruebas se realizó y se ejecutó un programa en el nodo maestro para mostrar el valor del indicador de potencia de la señal recibida (RSSI-Received Signal Strength Indication) en el IDE de Arduino. Los resultados mostraron que la atenuación del valor de RSSI disminuye considerablemente después de 7.2 Kilómetros y continua haciéndolo constantemente hasta que la comunicación se pierde a 8 Kilómetros, como se indica en la gráfica de la Figura 4. En caso de usar este sistema en un lugar con diferentes condiciones ambientales, es recomendable realizar estas pruebas para determinar las limitaciones en el alcance.

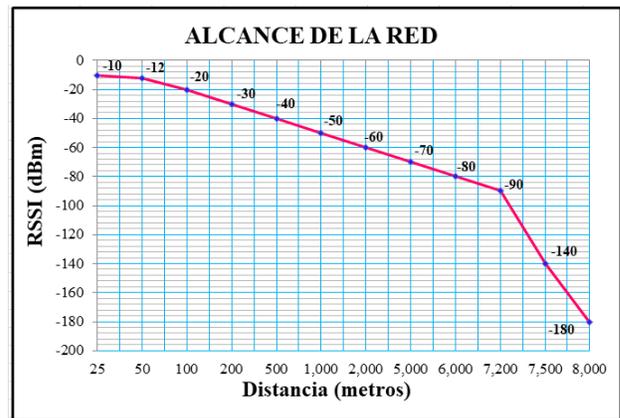


Figura 4. Alcance de la red LoRa

#### IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

A partir de los resultados logrados se obtuvieron las conclusiones siguientes: 1) La instalación de la red no es intrusiva, ya que no es necesario instalar cableado adicional tanto para implantar la LPWAN como para acceder a la Internet; 2) El alcance de 7.2 Kilómetros, es mayor al que puede obtenerse usando otras tecnologías inalámbricas tradicionales; 3) La aplicación aquí presentada puede usarse en otros ambientes donde sea necesario llevar el control de inventario, los nodos esclavo solo necesitan como entrada el pulso activo bajo y recibir en forma serie el código y cantidad restante del producto y 4) Pueden adicionarse funcionalidades a los nodos esclavo como por ejemplo, integrar una pantalla táctil y una cámara para reconocimiento facial e interactuar con el usuario con propósitos de mercadeo y publicidad.

Si es necesario incrementar el alcance de la red, se recomienda integrar nodos esclavo en los cuales el transceptor LoRa se configure como repetidor o extensor de la red, para lo cual existen bibliotecas de código abierto.

#### V. REFERENCIAS

- [1] Semenov, V. P.; Chernokulsky, V. y Razmochaeva, N. (2017). "The cashless payment device for vending machines — Import substitution in the sphere of vending", in Proceedings International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies".
- [2] Kulmukhanova, N.; Daribay, A. y Temirtayev, I. (2018). "ZhardEM Medicine Vending Machine", in Proceedings International Conference on Computing and Network Communications (CoCoNet).
- [3] Asyhari, M. W.; Sigit, R. y Sukaridhoto, S. (2019). "Vending Machine Monitoring System Integrated with Webservice", in Proceedings International Electronics Symposium (IES).
- [4] Rubio, E. (2016). "Innovative wireless technologies for real-time rotational molding processes optimization", IEEE Latin America Transactions, Vol. 14, Issue: 1, pp. 78-82.
- [5] Lu, C.; Saifullah, A. y Li, B. (2016). "Real-Time Wireless Sensor-Actuator Networks for Industrial Cyber-Physical Systems", Proceedings of the IEEE, Vol. 104, Issue: 5, pp. 1013-1024.

- [6] Raza, U.; Kulkarni, P. y Sooriyabandara, M. (2017). "Low Power Wide Area Networks: An Overview", IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 19, Issue: 2, pp. 855-873.
- [7] Lee, H. C. y Ke, K. H. (2018). "Monitoring of Large-Area IoT Sensors Using a LoRa Wireless Mesh Network System: Design and Evaluation", IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. 67, Issue: 9, pp. 2177-2187.
- [8] Georgiou, O. y Raza, U. (2017). "Low Power Wide Area Network Analysis: Can LoRa Scale?", IEEE Wireless Communications Letters, Vol. 6, Issue: 2, pp. 162-165.
- [9] Ahmadi, B.; Choudhuri, C. y Simeone, O. (2014). "Cascade Source Coding With a Side Information Vending Machine", IEEE Transactions on Information Theory, Vol. 60, Issue: 11, pp. 6888-6901.
- [10] Siebenhandl, K.; Schreder, G. y Smuc, M. (2013). "A User-Centered Design Approach to Self-Service Ticket Vending Machines", IEEE Transactions on Professional Communication.
- [11] Longzhang, S.; Changjun, Q. y Xiaoyan, W. (2019). "Design of removable vending machine and research on the key implementation technology", The Journal of Engineering, Vol. 2019, Issue: 13, pp. 402-405.
- [12] Wyglinski, A. M.; Huang, X. y Padir, T. (2013). "Security of Autonomous Systems Employing Embedded Computing and Sensors", IEEE Micro, Vol. 33, Issue: 1, pp. 80-86.
- [13] Zhang, H.; Li, D. y Ji, Y. (2019). "Towards New Retail: A Benchmark Dataset for Smart Unmanned Vending Machines", IEEE Transactions on Industrial Informatics, Early Access Article, Date of Publication: 21 November 2019, DOI: 10.1109/TII.2019.2954956.
- [14] Vehicular vending machine [The Big Picture] IEEE Spectrum, Volume: 47, Issue: 5 | Magazine Article | Publisher: IEEE
- [15] Benaissa, S.; Plets, D. y Tanghe, E. (2017). "Internet of animals: characterisation of LoRa sub-GHz off-body wireless channel in dairy barns", Electronics Letters, Vol. 53, Issue: 18, pp. 1281-1283.
- [16] Xu, W.; Zhang, J. y Kim, J. Y. (2019). "The Design, Implementation, and Deployment of a Smart Lighting System for Smart Buildings", IEEE Internet of Things Journal, Vol. 6, Issue: 4, pp. 7266-7281.
- [17] Leonardi, L.; Battaglia, F. y Lo Bello, L. (2019). "RT-LoRa: A Medium Access Strategy to Support Real-Time Flows Over LoRa-Based Networks for Industrial IoT Applications", IEEE Internet of Things Journal, Vol. 6, Issue: 6, pp. 10812-10823.
- [18] Wu, F.; Redouté, J. M. y Yuce, M. R. (2018). "WE-Safe: A Self-Powered Wearable IoT Sensor Network for Safety Applications Based on LoRa", IEEE Access, Vol. 6, pp. 40846-40853.
- [19] De Castro-Tomé, M.; Nardelli, P. H. J. y Alves, H. (2019). "Long-Range Low-Power Wireless Networks and Sampling Strategies in Electricity Metering", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 66, Issue: 2, pp. 1629-1637.
- [20] Zhao, L.; Wu, W. y Li, S. (2019). "Design and Implementation of an IoT-Based Indoor Air Quality Detector With Multiple Communication Interfaces", IEEE Internet of Things Journal,

y redes de computadoras. El Ing. Lagos realiza investigación con redes de computadoras.



Salgado realiza investigación con redes inalámbricas de sensores y actuadores.

**Salgado-Guzmán Gerardo.** Ingeniería Electrónica, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1992. Labora actualmente en el Departamento de Electrónica de la UAM-Azcapotzalco. Sus líneas de trabajo son: aplicaciones de microprocesadores y microcontroladores y sistemas operativos. El Ing. Salgado realiza investigación con redes inalámbricas de sensores y actuadores.



Cosme realiza investigación con sistemas embebidos y seguridad en redes de computadoras.

**Cosme-Aceves José Francisco.** Ingeniería Electrónica, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1985. Labora actualmente en el Departamento de Electrónica de la UAM-Azcapotzalco. Su línea de trabajo es lenguajes de descripción de hardware. El Ing. Cosme realiza investigación con sistemas embebidos y seguridad en redes de computadoras.



Sánchez-Rangel realiza investigación con aplicaciones de microprocesadores y microcontroladores.

**Sánchez-Rangel Francisco Javier.** Ingeniería Electrónica, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1987. Maestría en Ciencias de la Computación, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1999. Labora actualmente en el Departamento de Electrónica de la UAM-Azcapotzalco. Sus líneas de trabajo son: aplicaciones de microprocesadores y microcontroladores.

**Tapia-Vargas Víctor Noé.** Ingeniería Electrónica, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1987. Maestría en Ciencias de la Computación, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1999. Labora actualmente en el Departamento de Electrónica de la UAM-Azcapotzalco. Sus líneas de trabajo son: aplicaciones de microprocesadores y microcontroladores.

## VI. BIOGRAFÍA



aplicaciones de microprocesadores y microcontroladores y sistemas operativos. El M. en C. Vega realiza investigación con redes inalámbricas de sensores y actuadores.

**Vega-Luna José Ignacio.** Ingeniería Electrónica, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1985. Maestría en Ciencias de la Computación, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1990. Labora actualmente en el área de Sistemas Digitales del Departamento de electrónica de la UAM-Azcapotzalco. Sus líneas de trabajo son:



aplicaciones de microprocesadores y microcontroladores

# SISTEMA DE AUTENTICACIÓN BASADO EN BOTONES MULTICOLORES

J. I. Vega-Luna<sup>1</sup>, M. A. Lagos-Acosta<sup>1</sup>, G. Salgado-Guzmán<sup>1</sup>, J. F. Cosme-Aceves<sup>1</sup>, F. J. Sánchez-Rangel<sup>1</sup>, L. López-Aparicio<sup>2</sup>, V. N. Tapia-Vargas<sup>1</sup>.

**Resumen**—Se presenta un sistema de autenticación basado en botones multicolores. El sistema se compone de un arreglo matricial de teclas de 3x3. Cada tecla tiene asociado un led RGB. El control de la matriz se realiza con un microcontrolador Arduino Mega 2560 y el procesamiento de la información y cifrado es a través de una tarjeta Raspberry Pi. El sistema genera combinaciones aleatorias de colores, distintas para cada tecla, de forma tal que el usuario debe presionar la secuencia de teclas de colores preestablecida y personalizada como su autenticación para usar un dispositivo o entrar a una instalación. Para autenticarse, el usuario debe suministrar en tiempo y forma la secuencia preestablecida. Los resultados de las pruebas indicaron que las autenticaciones acertadas fueron 95%, el tiempo promedio para suministrar las cuatro combinaciones fue 4.2 segundos y la secuencia de colores a recordar con más eficiencia fue de cuatro colores.

**Palabras claves**— Arduino, autenticación, botones multicolores, led RGB, Raspberry Pi.

**Abstract**—This paper presents an authentication system based on multicolored buttons. The system consists of a 3x3 key matrix array. Each key has an RGB LED associated. The control of the matrix is carried out with an Arduino Mega 2560 microcontroller and the processing of the information and encryption is through a Raspberry Pi card. The system generates random combinations of colors, different for each key, so that the user must press the sequence of preset and customized color keys as their authentication to use a device or enter an installation. To authenticate, the user must provide the preset sequence in a timely manner. Test results indicated that successful authentications were 95%, the average time to type the four combinations was 4.2 seconds and the sequence of colors to remember more efficiently was four colors.

**Keywords**— Arduino, authentication, multicolored buttons, Raspberry Pi, RGB led.

## I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de autenticación de usuarios son cada vez

más importantes en las nuevas tecnologías digitales de acceso a áreas restringidas, validación en cajeros automáticos y acceso a información en equipos de cómputo, entre otros usos. Los sistemas más comúnmente usados validan la autenticación de usuarios empleando una clave numérica compuesta de cuatro a ocho dígitos. Los sistemas de autenticación que ocupan más de ocho dígitos son inviables e imprácticos por la dificultad de recordar cadenas numéricas grandes.

Un sistema digital para proporcionar acceso y uso de recursos a personas autorizadas debe detectar y excluir las no autorizadas. El acceso es controlado usando un procedimiento de autenticación para establecer con cierto grado de confianza la identidad del usuario y conceder privilegios y acceso autorizado a recursos e instalaciones.

Para intentar determinar la identidad de un individuo, se aplica una o varias pruebas declaradas previamente, las cuales deben cumplirse para autorizar el acceso o uso de recursos. Los factores de autenticación aplicados en seres humanos se clasifican generalmente en los tipos siguientes: 1) Algo que el usuario “es”, 2) Algo que el usuario “tiene”; 3) Algo que el usuario “sabe”; 4) Algo que el usuario “hace”; 5) Autenticación mediante dos factores "algo que el usuario tiene", más "algo que sabe", y 6) Autenticación de triple factor, compuesta por "algo que el usuario tiene", más "algo que sabe", más "quién es". Uno de los métodos de autenticación que los usuarios consideran más seguro es el biométrico con la huella dactilar [1].

Los métodos de acceso a servicios digitales a través de un proceso de identificación han sido un tema de preocupación desde que el inicio de la Internet [2]. No es un asunto de poca importancia tomando en cuenta que en los últimos seis años han sido robados 112,000 millones de dólares mediante fraudes relacionados con la usurpación de la identidad digital, según un informe de IBM. Es por eso que, la industria no cesa en su empeño de buscar herramientas cada vez más seguras, cómodas y de bajo costo que aseguren que los usuarios son quienes dicen ser.

Un estudio realizado por investigadores de la Universidad de California reveló hasta qué punto un atacante puede aprovechar el entorno para obtener contraseñas sin necesidad de malware. Los investigadores descubrieron que es posible detectar las teclas presionadas usando el calor corporal dejado en ellas, incluso siguiendo

<sup>1</sup> Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, Departamento de Electrónica, Área de Sistemas Digitales, Av. San Pablo 180, Colonia Reynosa, C.P. 02200, Ciudad de México, México.

<sup>2</sup> Estudiante de Doctorado en Ciencias Biomédicas. Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma de Coahuila, Unidad Torreón, Torreón, Coah., México.

\* [vlji@azc.uam.mx](mailto:vlji@azc.uam.mx).

las recomendaciones de seguridad. Sólo es necesario que el atacante use una cámara térmica para mostrar iluminadas las teclas usadas como se muestra en la Figura 1. El estudio determinó que usando una cámara de rango medio se puede determinar las teclas pulsadas en un teclado normal, hasta un minuto después de haberlas presionado, ya que el plástico de las teclas retiene el calor corporal suficiente para distinguirlas durante ese tiempo.

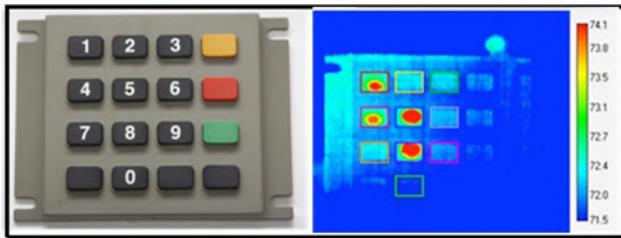


Figura 1. Marcas térmicas en teclado numérico

Comúnmente, los usuarios realizan la autenticación y se retiran momentáneamente del equipo o sistema de acceso, tiempo suficiente para que alguien pase por delante del sistema con una cámara térmica y registre las teclas que han sido pulsadas al iniciar una sesión. Con esta información se puede acceder al sistema, sobre todo si es una contraseña corta, como por ejemplo un PIN bancario de cuatro dígitos o un código de verificación [3]. No hace falta ser un experto para lograrlo, causando que el ataque sea más peligroso.

Los ataques denominados Thermanator, así llamados porque usan un termógrafo, son realizados por un adversario interno que registra a los usuarios a través de los residuos térmicos dejados al suministrar la contraseña. El objetivo es aprender la contraseña de la víctima utilizando una cámara térmica. El atacante cuenta con un minuto para grabar el teclado antes que los residuos térmicos se disipen. No se necesita presencia de la víctima descuidada, ya que la grabación de la imagen se realiza después que se retira. No es necesario ningún conocimiento previo de la víctima para analizar las imágenes térmicas, aunque ayuda el uso de contraseñas inseguras.

Los sistemas de autenticación usados para acceder a instalaciones se basan típicamente en la utilización de tarjetas de identidad, tarjetas inteligentes o métodos biométricos. Las investigaciones realizadas al respecto han explorado técnicas que no usan palabras claves [4] y hace uso de métodos de autenticación para acceso a la nube basado en Lenguaje de Marcado para Confirmaciones de Seguridad (SAML-Security Assertion Markup Language) [5] o en códigos QR de dos niveles, uno público y el otro privado, el nivel público funciona como los códigos QR clásicos para almacenar información y el nivel privado usa patrones de textura para almacenar información codificada

[6]. Otros métodos de autenticación usan palabras clave gráficas (GAU-Graphical User Authentication), creados combinando dos imágenes cuyo principio de funcionamiento es que las personas recuerden más objetos visuales que textos [7] o utilizando memorias SD y tarjetas de encriptación [8].

Los algoritmos de criptografía actuales necesitan mejorar la seguridad de las claves intercambiadas en la transferencia de información. El uso de estos algoritmos incrementa el costo de los sistemas y tiempo de procesamiento. Sin embargo, son importantes ya que tratan de evitar el robo de información. Desafortunadamente, la criptografía puede lograr confidencialidad, pero no integridad, de tal forma que los últimos años las investigaciones se han enfocado también en: la autenticación de la transmisión de datos en teléfonos inteligentes [9], redes inalámbricas de sensores usando interpolación polinomial [10], métodos para detectar plagio de código de programas sin intervención humana [11], encriptamiento de la información en cajeros automáticos, o ATM, usando códigos QR [12], prevención de fraudes para transacciones bancarias en línea usando criptografía visual extendida y códigos QR [13], detección de robo de información confidencial, o Phishing, usando comparación de código fuente HTML y similitud del coseno [14], cifrado de información basado en etiquetas de longitud de autenticación usando códigos Reed-Solomon [15] y mantener la confidencialidad e integridad de la información transmitida usando un canal que utiliza el algoritmo AES (Advanced Encryption Standard) y códigos de autenticación de mensajes Hash (HMAC-Hashed Message Authentication Code) [16].

Los centros de datos son la parte medular de la economía digital, el big data, la nube, la inteligencia artificial y la Internet de las Cosas (IoT-Internet Of Things). El acceso a este tipo de instalaciones debe ser controlado para no comprometer la seguridad de información y equipo [17]. Los últimos desarrollos dirigidos a la autenticación y encriptación para el control de acceso a centros de datos, han trabajado usando: mapas de píxeles de temperatura absoluta y emisión de la palma de la mano obtenidos con un termógrafo infrarrojo [18], códigos convolucionales y la función XOR, encriptación a través del protocolo de la generación de claves distribuidas (DKG-Distributed Key Generation) y códigos RaptorQ [19].

El trabajo aquí presentado tiene como objetivo mitigar esta vulnerabilidad para evitar el ataque Thermanator, usando un simple concepto: el cambio de posición de las teclas en cada autenticación a través de un teclado de colores en lugar de dígitos en el que cada solicitud de autenticación cambia la posición de los colores a mostrar. Comunicar el afecto correcto, un sentimiento, una experiencia o una emoción es fundamental para crear una

comunicación visual atractiva al recordar una autenticación. Las diferentes propiedades de color, claridad, croma y tono, las diferentes propiedades de paleta, combinaciones y distribución de colores, contribuyen a diferentes interpretaciones afectivas en la visualización de información donde la cantidad de colores es típicamente menor a las paletas ricas utilizadas en diseño. Un ejemplo de combinaciones se muestra en la Figura 2.

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

En la realización de este trabajo la metodología seguida fue dividir el diseño en cuatro etapas como se muestra en la Figura 3. Las etapas son las siguientes: la fuente de alimentación, el actuador de la contrachapa eléctrica, la pantalla táctil LCD y el sistema embebido Raspberry Pi 3.

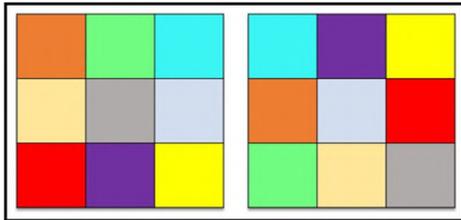


Figura 2. Teclado multicolor con cambios de posición aleatorios

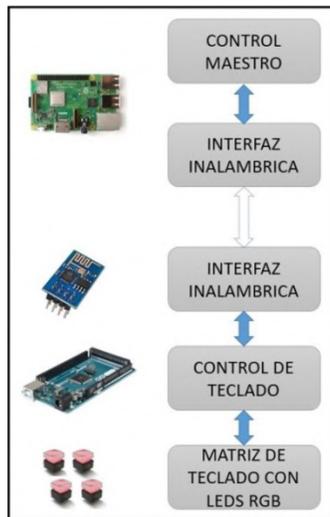


Figura 3. Diagrama de bloques del sistema desarrollado

A. Control maestro

Para realizar este módulo se utilizó una tarjeta Raspberry Pi 3 con la imagen de sistema operativo Raspbian en una tarjeta de memoria SD. Posteriormente, se conectaron los siguientes dispositivos periféricos a la tarjeta Raspberry: el teclado, el ratón y el monitor HDMI. A continuación, se actualizaron los parches y herramientas de red ejecutando desde una sesión de terminal los comandos *apt-get update* y *apt-get upgrade*.

En la puesta a punto fue importante no arrancar servicios de red innecesarios, ya que esto podría causar explotación de alguna vulnerabilidad e intrusión por esta causa. El único servicio arrancado con fines administrativos fue *ssh* para poder acceder al sistema embebido y configurar la tarjeta utilizando una sesión de terminal remota. Los parámetros de red: dirección IP, máscara y puerta de enlace, se establecen de acuerdo a la red donde este sistema sea instalado. El siguiente paso consistió en la descarga de la distribución del lenguaje de programación Python usada para desarrollar las interfaces con los clientes del teclado.

En este módulo se encuentra instalada la base de datos de los códigos de autenticación válidos y la inicialización para cada uno de los módulos cliente instalados. La base de datos creada para la generación de colores es de nueve gamas, que corresponden a las nueve posiciones de la matriz de leds 3x3 utilizada, numeradas de cero a ocho. Esta tabla se envía a los clientes donde se ubican las matrices de teclas con led RGB para inicializar la representación de los colores. En la Tabla I se muestran los parámetros de ancho de pulso de la señal PWM usada para generar cada gama.

TABLA I  
TABLA DE CÓDIGOS DE COLOR UTILIZADOS PARA GENERAR EL COLOR POR PWM EN CADA LED RGB

Código	Pulsos para generar PWM		
	Red	Green	Blue
0	200	25	190
1	43	80	63
2	98	110	215
3	72	49	23
4	170	25	220
5	100	42	43
6	38	189	25
7	180	35	40
8	178	90	69

La tabla de códigos PWM es generada en el módulo maestro y puede ser modificada fácilmente para tener las diferentes paletas de color. La idea principal fue generar una lista aleatoria de ubicación de las diferentes gamas de colores a desplegar en el teclado como se muestra en la Figura 4. Esta lista se genera y transmite cada vez que el cliente realiza una autenticación válida o fallida, que en este trabajo es de cuatro selecciones de color.

El dispositivo espera recibir la secuencia de códigos de color presionados y compara con la base de datos almacenada en este módulo. En caso de encontrarse listada la secuencia en la base de datos, envía un código de autorización al usuario.

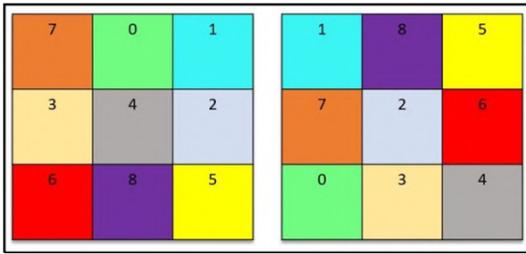


Figura 4. Asignación aleatoria de colores para diferentes capturas

**B. Interfaz inalámbrica**

Este módulo se encarga de enlazar el control maestro con el control del teclado de forma inalámbrica utilizando tecnología WiFi. En que respecta al módulo de control maestro, se programó la interfaz inter construida del Raspberry utilizando bibliotecas de comunicación en red con Python para las diferentes entradas y salidas de información. El módulo utilizado que controla las comunicaciones en red del lado del cliente Arduino Mega, es un circuito ESP8266, el cual es un módulo versátil y de bajo costo usado para la comunicación empleando la pila de protocolos TCP/IP.

**C. Control de teclado**

El control del teclado se encarga de esperar la inicialización enviada por el módulo maestro y generar las señales PWM para establecer el color en cada uno de los leds RGB del botón. Está compuesto por una tarjeta Arduino Mega 2560, con múltiples salidas PWM para obtener las diferentes gamas de color utilizados en la paleta que envía el modulo maestro y como entradas la matriz de conmutación para detectar y registrar las combinaciones presionadas. Al presionar un botón, se genera una interrupción y se captura la combinación de la tecla presionada que está directamente relacionada con un color en la tabla de inicialización de la matriz de 3x3.

Al recibir cuatro códigos de color presionados por el usuario, este módulo envía la información al dispositivo maestro para cotejar el código en una base de datos, en cuanto el modulo maestro retorna la respuesta se encienden durante un segundo todos los leds RGB, si la respuesta es afirmativa se enciente el color verde durante un segundo y si es negativa se enciente el color rojo. Esto indica si fue acertada la selección y retorna al estado de espera de nuevos códigos para repetir el proceso.

**D. Matriz de teclado con leds RGB**

Esta matriz fue diseñada con botones del tipo E-switch, modelo ULP12OAP1RSSCL1RGB los cuales contienen un led RGB y un conmutador de un polo dos tiros, como se indica en la Figura 5.

Se utilizó una matriz con botones en arreglo de tres renglones por tres columnas, la cual está compuesta por nueve botones o teclas cada uno con un led RGB incluido. Para tener un manejo individual del color de cada led, el

control de la iluminación de los éstos se realizó a través de los renglones de activación y las columnas activando las salidas RGB por PWM.

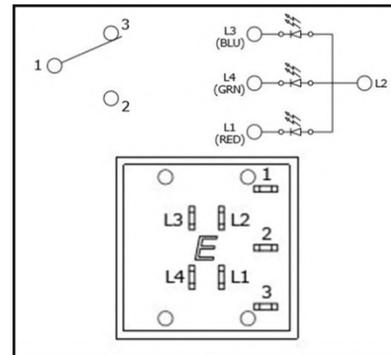


Figura 5. Diagrama y posición de terminales del switch con leds RGB

**III. RESULTADOS**

Para la realización de las diferentes pruebas se realizó la programación por el lado del control maestro y los clientes, de tal forma que fuera más fácil realizar la estadística de los resultados obtenidos. Primeramente, se modificó el código para tomar el tiempo desde que se presiona el botón con la primera combinación hasta que se presiona el cuarto botón correctamente. Con esto, se generó una tabla de datos la cual se graficó para mostrar el tiempo al presionar las teclas en cada muestra como se muestra en la Figura 6.

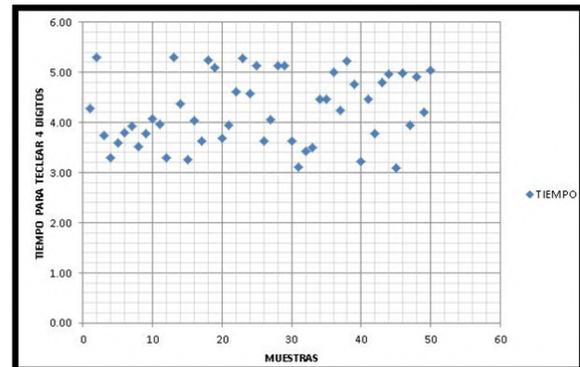


Figura 6. Tiempos de suministro de claves de 50 usuarios

La segunda prueba se realizó modificando el código de programación y las bases de datos, para modificar la cantidad de códigos de color a recordar por los usuarios. Se inició con tres códigos de color, posteriormente con cuatro y después con cinco colores diferentes de la paleta especificada. En las tres pruebas participaron diferentes personas en diferentes tiempos y se tomó en cuenta los aciertos y errores según la combinación de colores a recordar, a partir de esto se obtuvieron los resultados indicados en la gráfica de la Figura 7.

La muestra de usuarios fueron personas entre 20 y 55

años de edad sin limitantes físicas como deficiencias visuales o motrices en las manos. A los usuarios que realizaron las pruebas se les entregó impreso el patrón de colores a suministrar con una antelación de 30 minutos, inmediatamente después se les realizaron las pruebas.

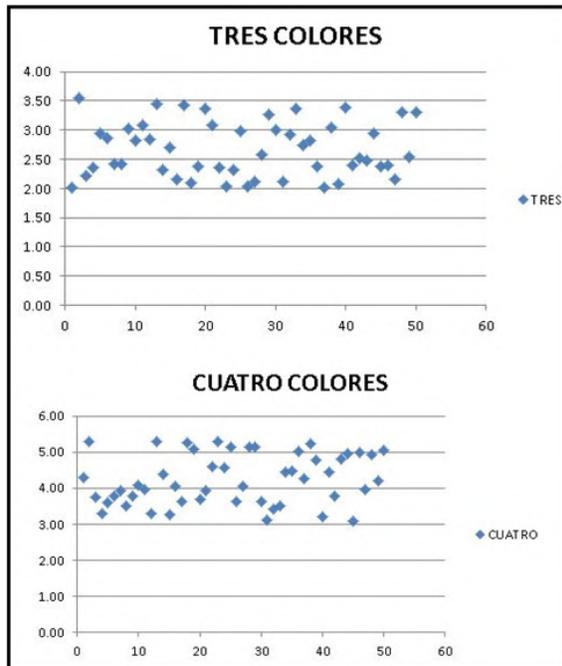


Figura 7. Tiempos de suministro de claves de tres y cuatro colores

#### IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

El resultado de este trabajo fue un sistema de autenticación diferente a los convencionales, con diversas adecuaciones a realizar según el medio donde se utilizará. En el caso de personas con capacidad mental limitada se debe ajustar el sistema para usar una paleta de colores convencionales y para usuarios que tengan mayores habilidades de memorización se puede crear una paleta de colores más compleja y una cadena de combinaciones de más colores, esto pensando en autenticaciones que requieran mayor seguridad. En la Figura 8 se muestra la matriz de teclas construida.

En el caso de los usuarios que normalmente memorizaban la posición de las teclas para la autenticación, este cambio fue muy radical y hubo algunos que comentaron que no sería factible. Psicológicamente existen gamas de colores, tonos y brillos que ayudan más a ser memorizados que otros, por lo para seleccionar la paleta es necesario un estudio del ambiente donde se utilizará el sistema. La memorización a corto y largo plazo es otro de los aspectos que se deben tomar en cuenta para el ambiente donde se instale el sistema.

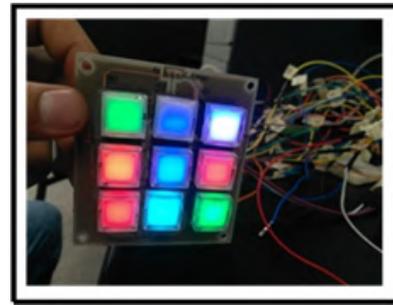


Figura 8. Teclado con colores RGB construido

#### V. REFERENCIAS

- [1] Joy, J. P. y Jyothis, T. S. (2016). "Secure authentication", Online in *Proceedings International Conference on Green Engineering and Technologies (IC-GET)*, pp. 1-3.
- [2] Mitra, P. y Rakesh, N. (2016). "A desktop application of QR code for data security and authentication", in *Proceedings International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT)*, pp. 1-5.
- [3] Zhou, L.; Varadharajan, V. y Hitchens, M. (2015). "Trust Enhanced Cryptographic Role-Based Access Control for Secure Cloud Data Storage", *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, Vol. 10, Issue: 11, pp. 2381-2395.
- [4] Morii, M.; Tanioka, H.; Ohira, K. (2017). "Research on Integrated Authentication Using Passwordless Authentication Method", in *Proceedings IEEE 41st Annual Computer Software and Applications Conference (COMPSAC)*, pp. 682-685.
- [5] Jing, D.; Yan, J. y Fujiang, A. (2018). "An Improved Uniform Identity Authentication Method Based on SAML in Cloud Environment", in *Proceedings IEEE Third International Conference on Data Science in Cyberspace (DSC)*, pp. 533-536.
- [6] Tkachenko, Y.; Puech, W. y Destruel, C. (2016). "Two-Level QR Code for Private Message Sharing and Document Authentication", *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, Vol. 11, Issue: 3, pp. 571-583.
- [7] Bilgi, B. y Tugrul, B. (2018). "A Shoulder-Surfing Resistant Graphical Authentication Method", in *Proceedings International Conference on Artificial Intelligence and Data Processing (IDAP)*, pp. 1-4.
- [8] Zhao, G.; Li, Y. y Du, L. (2015). "Asynchronous Challenge-Response Authentication Solution Based on Smart Card in Cloud Environment", in *Proceedings 2nd International Conference on Information Science and Control Engineering*, pp. 156-159.
- [9] Matsuo, K.; Kanai, A. y Hatashima, T. (2018). "Dynamic Authentication Method Dependent on Surrounding Environment", in *Proceedings IEEE 7th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE)*, pp. 855-857.
- [10] Zhou, P.; Xiao, M. y Xia, Z. (2015). "A Message Authentication Method for Wireless Sensor Networks Using Polynomial Interpolation", in *Proceedings 2nd International Symposium on Dependable Computing and Internet of Things (DCIT)*, pp. 151-153.



- [11] Gupta, N.; Gandhi, V. y Hariya, C. (2018). "Detection of Code Clones", in *Proceedings International Conference on Smart City and Emerging Technology (ICSCET)*, pp. 1-4.
- [12] Malathi, V.; Balamurugan, B. y Eshwar, S. (2017). "Achieving Privacy and Security Using QR Code by Means of Encryption Technique in ATM", in *Proceedings Second International Conference on Recent Trends and Challenges in Computational Models (ICRTCCM)*, pp. 281-285.
- [13] Khairnar, S.; y Kharat, R. (2016). "Online fraud transaction prevention system using extended visual cryptography and QR code", in *Proceedings International Conference on Computing Communication Control and automation (ICCUBEA)*, pp. 1-4.
- [14] Roopak, S. y Thomas, T. (2014). "A Novel Phishing Page Detection Mechanism Using HTML Source Code Comparison and Cosine Similarity", in *Proceedings Fourth International Conference on Advances in Computing and Communications*, pp. 167-170.
- [15] Zhilyaev, A. E.; y Gurova, E. B. (2018). "On the question of the authentication tag length based on Reed-Solomon codes", in *Proceedings Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies (MWENT)*, pp. 1-5.
- [16] Tamer, S. A. (2017). "Generated Un-detectability Covert Channel Algorithm for Dynamic Secure Communication Using Encryption and Authentication", in *Proceedings Palestinian International Conference on Information and Communication Technology (PICICT)*, pp. 6-9.
- [17] Suresh, T. y Murugan, A. (2018). "Strategy for Data Center Optimization: Improve Data Center capability to meet business opportunities", in *Proceedings 2nd International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud)*, pp. 184-189.
- [18] Yu, H. L.; Li, Y. L. y Liao, T. Y. (2018), "Fast and Accurate Emissivity and Absolute Temperature Maps Measurement for Integrated Circuits", *IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems*, Vol. 26, Issue: 5, pp. 912-923.
- [19] Qiu, J.; Li, H. y Dong, J. (2017). "Biometrics Encryption Based on Palmprint and Convolutional Code", in *Proceedings 2nd International Conference on Multimedia and Image Processing (ICMIP)*, pp. 187-190.

**Sánchez-Rangel Francisco Javier.** Ingeniería Electrónica, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1987. Maestría en Ciencias de la Computación, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1999. Labora actualmente en la UAM-Azcapotzalco.



**López-Aparicio Liliana.** Estudiante de Doctorado en Ciencias Biomédicas. Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma de Coahuila, Unidad Torreón. Su línea de trabajo es Investigación en Psicología.

**Tapia-Vargas Víctor Noé.** Ingeniería Electrónica, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1987. Maestría en Ciencias de la Computación, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1999. Labora actualmente en el Departamento de Electrónica de la UAM-Azcapotzalco. Sus líneas de trabajo son: aplicaciones de microprocesadores y microcontroladores.

## VI. BIOGRAFÍA



**Vega-Luna José Ignacio.** Ingeniería Electrónica, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1985. Maestría en Ciencias de la Computación, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1990. Labora actualmente en el área de Sistemas Digitales del Departamento de electrónica de la UAM-Azcapotzalco. Sus líneas de trabajo son: aplicaciones de microprocesadores y microcontroladores.



**Lagos-Acosta Mario Alberto.** Ingeniería Electrónica, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1992. Labora actualmente en el Departamento de Electrónica de la UAM-Azcapotzalco. Sus líneas de trabajo son: aplicaciones de microprocesadores.



**Salgado-Guzmán Gerardo.** Ingeniería Electrónica, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1992. Labora actualmente en el Departamento de Electrónica de la UAM-Azcapotzalco. Sus líneas de trabajo son: aplicaciones de microcontroladores y sistemas operativos. El Ing. Salgado realiza investigación con redes inalámbricas de sensores y actuadores.

**Cosme-Aceves José Francisco.** Ingeniería Electrónica, UAM-Azcapotzalco, Cd. de México, 1985. Labora actualmente en el Departamento de Electrónica de la UAM-Azcapotzalco. Su línea de trabajo es lenguajes de descripción de hardware. El Ing. Cosme realiza investigación con sistemas embebidos.

# Análisis y Síntesis de Una Señal Cardíaca Humana.

A. Rodríguez-Franco<sup>1\*</sup>, C. Ríos-Marmolejo<sup>2</sup>, J. De la Torre-Cantú<sup>1</sup>

**Resumen**— En este escrito se desarrolla el estudio de una señal cardíaca humana, se consideran aspectos teóricos y prácticos para trabajar con ella desde un punto de vista de la ingeniería y no de la medicina. En lo concerniente al análisis de la señal de voltaje, se proponen diversas expresiones analíticas para describir a la señal de voltaje cardíaca como una función matemática seccionalmente definida. En lo referente a la síntesis, se proponen diferentes maneras para generar la señal de estudio. Se emplean técnicas teóricas en el dominio del tiempo y se apoyan con herramientas del dominio de la frecuencia. Debe hacerse énfasis en que la señal estudiada es una referencia teórica que no proviene directamente de la medición física a un humano; es decir, todo lo mencionado en este estudio evitó contacto físico y fisiológico con seres humanos.

**Palabras claves**— Escalón, Parábola, Senoidal, Señal Cardíaca.

**Abstract**— This paper develops the study of a human heart signal, theoretical and practical aspects are considered to work with it from an engineering point of view and not from medicine. Regarding the analysis of the voltage signal, various analytical expressions are proposed to describe the cardiac voltage signal as a sectionally defined mathematical function. Regarding the synthesis, different ways are proposed to generate the study signal. Theoretical techniques are used in the time domain and are supported with frequency domain tools. It should be emphasized that the signal studied is a theoretical reference that does not come directly from physical measurement to a human; that is, everything mentioned in this study avoided physical and physiological contact with human beings.

**Keywords**— Heart Signal, parable, sine, step.

## I. INTRODUCCIÓN

En la Figura 1 se muestra la señal eléctrica que es el objeto de estudio en el presente trabajo [3], [5], [9], [12].

<sup>1</sup> Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de la Laguna, Blvd. Revolución y Av. Instituto Tecnológico de La Laguna s/n, Torreón, Coahuila, México. C.P. 27000

<sup>2</sup> Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Av. Tecnológico No. 1555 Sur Periférico Gómez - Lerdo Km. 14.5 Cd. Lerdo, Durango, México. C.P. 35150

\* [abel.r.f@hotmail.com](mailto:abel.r.f@hotmail.com).

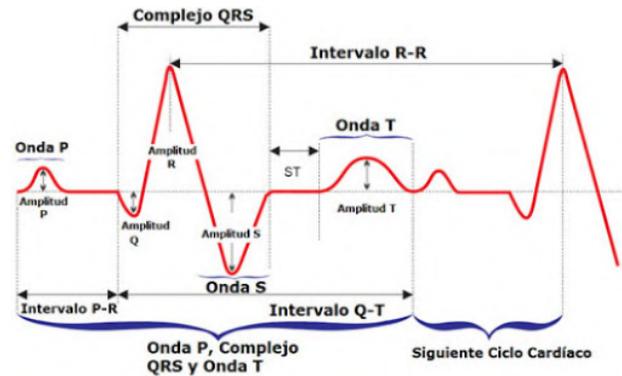


Figura 1. Señal de voltaje en el dominio del tiempo, es la imagen típica y factible de medirse con instrumentación electrónica.

Donde:

$t$  Es el eje horizontal, el tiempo, y sus unidades son segundos.

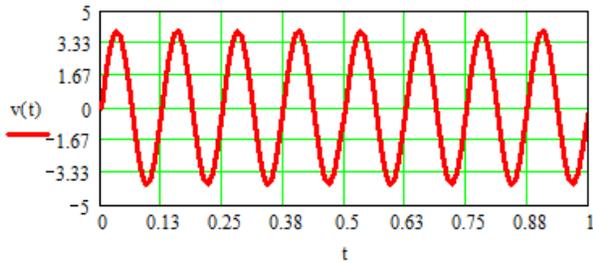
$v(t)$  Es el eje vertical, la amplitud y sus unidades son los volts.

En la Figura 1 se ilustra la señal típica del corazón humano, esta señal regularmente proviene de una medición empleando instrumentación electrónica que podría ser un electrocardiógrafo o un osciloscopio. La señal se origina de la operación armoniosa de cada una de las fibras de músculo estriado que componen las cuatro cámaras cardíacas, aurículas y ventrículos, lo anterior basado en la homeostasis electrolítica intracelular y la integridad del sistema de conducción cardíaca formado por el nodo sinusal, el nodo auriculoventricular y las fibras del haz de His, [3], [5], [12]

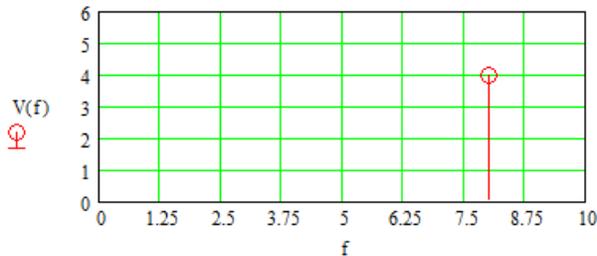
El ciclo cardíaco es el conjunto de eventos que suceden en un latido, y el electrocardiograma muestra las distintas señales eléctricas resultantes de dichos eventos. La gráfica muestra las distintas secciones, que en lenguaje propio de la medicina se les reconoce como onda P, complejo QRS y onda T. También la señal contiene tres intervalos donde no existe valor eléctrico en la señal: el primero de estos se encuentran entre el fin de la Onda P y el principio de la Onda Q; el segundo está entre el fin del complejo QRS y la onda T y el tercero se localiza entre el fin de la Onda T y el principio de la siguiente Onda P, [3], [5], [12].

Toda esta descripción de la señal fue realizada en el dominio del tiempo y éste es el dominio predominante cuando se estudia y trabaja en el área de Medicina [3], [5], [12]. Sin embargo en el presente trabajo se propone usar la teoría de Fourier [1],[2],[4],[6] para estudiar señales

temporales como la señal cardíaca pero trabajarla en otro dominio, el de la frecuencia. La teoría de Fourier, expuesta de manera muy breve, propone el estudio de señales temporales no sólo en el dominio del tiempo sino también en el dominio de la frecuencia, este dominio frecuencial es propio del ingeniero y no es muy estudiado por los médicos. Ver Figura 2.



(a)



(b)

Figura 2. Una señal en dos dominios  
(a) Señal temporal senoidal f=8 Hz  
 $v(t) := 4 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t)$   
(b) La correspondiente señal frecuencial de v(t), según Fourier.

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

ANÁLISIS 1.

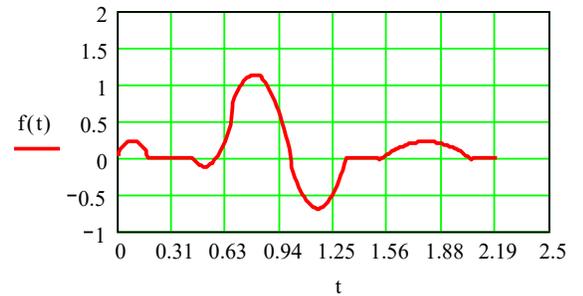
Observando la señal mostrada en la Figura 1 y considerando que cada Onda P,Q,R,S y T se puede aproximar a una parábola restringida en su dominio temporal, se obtiene la expresión que describe la señal cardíaca y se especifica por la Ecuación 1.

Para realizar este análisis 1 se empleó el paquete conocido como Geogebra [10], esta aplicación computacional permite modelar expresiones matemáticas específicas a partir de ciertas restricciones. Ver Figura 3.

$$f(t) := \begin{cases} \frac{1 - 1132.72t^2 + 196.21t}{43.39} & \text{if } 0 \leq t \leq 0.18 \\ \frac{-12.95 - 52.22t^2 + 52.54t}{-2} & \text{if } (0.44 \leq t < 0.66) \\ \frac{-0.6 - 1.03t^2 + 1.63t}{0.04} & \text{if } 0.66 \leq t < 1 \\ \frac{-68.58 - 52.22t^2 + 120.91t}{-2} & \text{if } 1 \leq t \leq 1.32 \\ \frac{-4.38 - 1.4t^2 + 5t}{0.4} & \text{if } 1.52 \leq t \leq 2.05 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Ecuación (1)

(a)



(b)

Figura 3. Ecuación de la señal cardíaca aproximando cada onda a una parábola recorrida en el tiempo (a) Ecuación (1). (b) Gráfica de la ecuación (1).

ANÁLISIS 2.

Observando la señal mostrada en la Figura 1 y considerando que cada onda P,Q,R,S y T se puede aproximar a una senoidal limitada en su dominio temporal se obtiene la expresión que describe la señal cardíaca y se especifica por la Ecuación 2.

Para realizar este análisis 2 se empleó el paquete conocido como Mathcad [11]. Ver Figura 4.

$$g(t) := \begin{cases} 0.3 \sin(2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot t) & \text{if } 0 \leq t \leq 0.18 \\ -0.25 \sin[2 \cdot \pi \cdot f_2 \cdot (t - 0.66)] & \text{if } (0.44 \leq t < 0.54) \\ 0.3 + 0.7 \sin[2 \cdot \pi \cdot f_3 \cdot (t - 0.55)] & \text{if } 0.54 \leq t < 1.25 \\ 0.09 + 0.2 \sin[2 \cdot \pi \cdot f_4 \cdot (t - 1.54)] & \text{if } 1.5 \leq t \leq 2 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Ecuación (2)

(a)

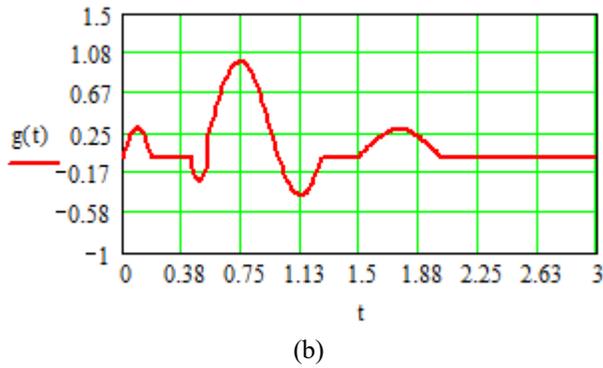


Figura 4. Ecuación de la señal cardíaca aproximando cada onda a una senoidal recorrida en el tiempo (a) Ecuación (2). (b) Gráfica de la Ecuación (2).

**ANÁLISIS 3.**

Aplicando la teoría de Fourier a la señal de la Figura 1 se obtiene la magnitud del espectro de la señal temporal de la Figura 1 y se muestra la magnitud del espectro en la Figura 5.

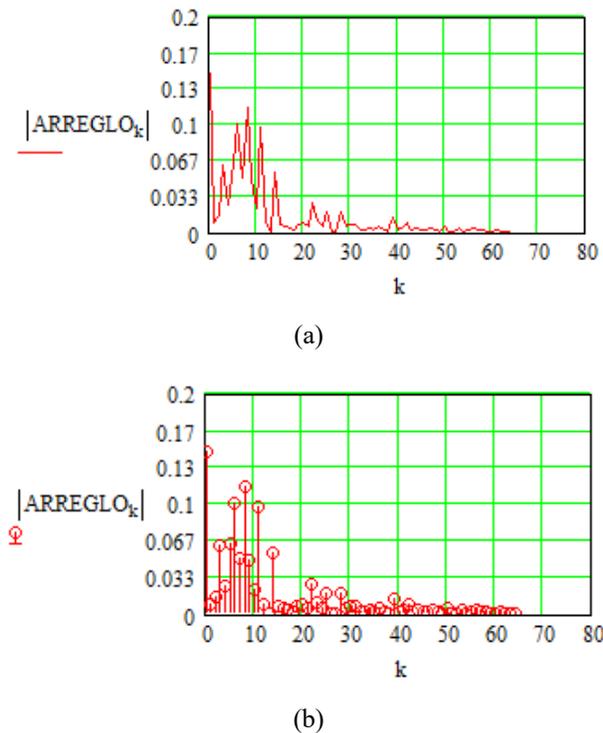


Figura 5. Magnitud del Espectro de la señal cardíaca de la Figura 1. Es la representación de la misma señal de la Figura 1 pero en el dominio de la frecuencia; es decir, se aplicó la teoría de Fourier a la señal de la Figura 1. (a) Magnitud del espectro considerándola como una señal continua. (b) Magnitud del espectro considerándola una señal discreta.

**SÍNTESIS.**

Para la creación de la señal cardíaca de varios periodos se procedió con la siguiente metodología:

- 1º) Teniendo la señal cardíaca obtenida por métodos de análisis, se escaló la función en el tiempo y en la amplitud para tener valores más apegados a la realidad humana.
- 2º) Se grabó esa señal en un arreglo de una dimensión; es decir, se cambió una función matemática escalada en el tiempo así como en la amplitud a un grupo de datos localizados en direcciones de memoria.
- 3º) Se aumentó la cantidad de periodos simplemente replicando N veces el periodo obtenido en el análisis.
- 4º) Se creó una arreglo de una dimensión en el dominio del tiempo con una longitud de datos igual a la longitud de datos de amplitud.
- 5º) Se creó una matriz donde la primer columna es la del tiempo y la segunda columna es la de la amplitud.

**SÍNTESIS 1**

En la Figura 6 se muestran tres periodos de la señal desarrollada en el análisis 1.

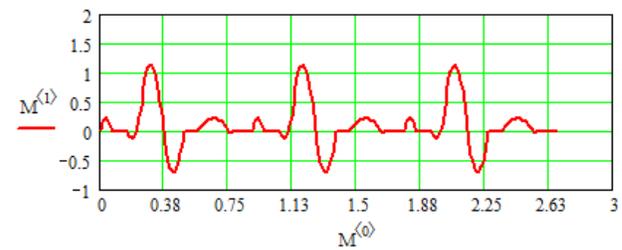


Figura 6. Síntesis de la señal mostrada en la Figura 3. Se graficaron tres períodos.

**SÍNTESIS 2**

En la Figura 7 se muestran tres periodos de la señal desarrollada en el análisis 2.

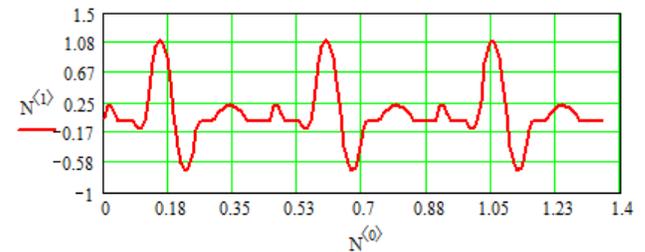


Figura 7. Síntesis de la señal mostrada en la Figura 4. Se graficaron tres períodos.

**SÍNTESIS 3.**

En la Figura 8 se muestran tres periodos de la señal desarrollada en el análisis 3. En este caso se emplearon nueve armónicos para su creación y aun así se aprecia a simple vista que dista mucho de ser semejante a la señal cardíaca de las otras figuras. Este resultado era de esperarse debido a la complejidad de la señal cardíaca ya que ésta posee cambios abruptos o “esquinas” que anticipan que Fourier requeriría demasiados armónicos para tener una representación adecuada. Usando tantos armónicos o tantos componentes frecuenciales ni siquiera así se pudo sintetizar adecuadamente la señal.

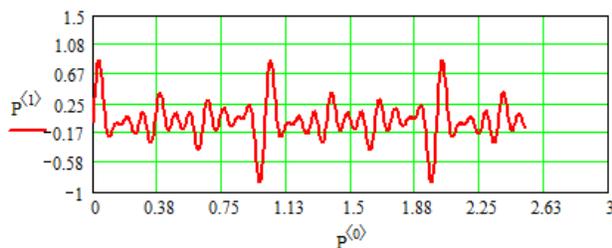


Figura 8. Síntesis de la señal cardíaca usando nueve armónicos del análisis de Fourier mostrado en la Figura 5. Se grafican aproximadamente tres periodos.

**SÍNTESIS 4.**

Para la creación de la señal cardíaca mostrada en la Figura 9 se usó instrumentación electrónica empleando un generador de señales arbitrarias comercial.

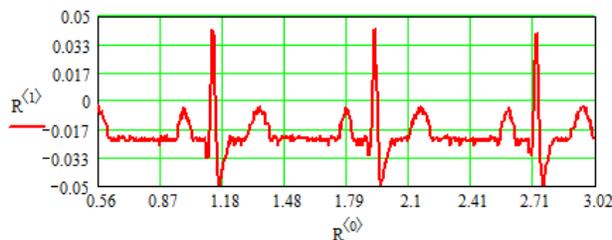


Figura 9. Síntesis de una señal usando el generador de señales arbitrarias. Se grafican aproximadamente tres periodos. Gráfica tomada del paquete de Matemáticas.

**SÍNTESIS 5.**

La señal mostrada en la Figura 10 se presenta porque resulta de un interés estético; tal vez, también pudiera encontrarse en ella un interés adicional por motivo de la instrumentación electrónica empleada para obtenerla.

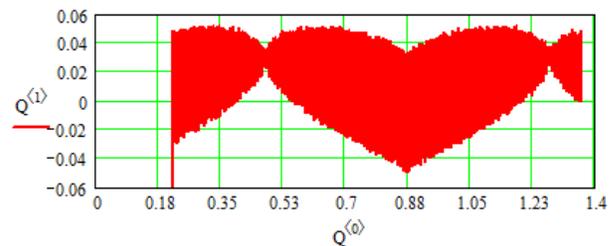


Figura 10. Síntesis de una señal en osciloscopio usando el generador de señales arbitrarias. Gráfica tomada del paquete de Matemáticas.

**III. RESULTADOS**

**RESULTADOS TEÓRICOS.**

**RT1)** Fórmula propuesta para la señal cardíaca usando aproximación con funciones parabólicas, se construye como una suma de funciones temporales y es llamada  $h(t)$ . Cada término está constituido por escalones adecuadamente recorridos.  $escalón(t) = step(t) = \Phi(t)$  es el escalón unitario [7],[8]:

$$\begin{aligned}
 h(t) &:= f_1(t) + f_2(t) + f_3(t) + f_4(t) + f_5(t) \\
 f_1(t) &:= \left( \frac{1 - 1132.72t^2 + 196.21t}{43.39} \right) \cdot (\Phi(t) - \Phi(t - 0.18)) \\
 f_2(t) &:= \left( \frac{-12.95 - 52.22t^2 + 52.54t}{-2} \right) \cdot (\Phi(t - 0.44) - \Phi(t - 0.66)) \\
 f_3(t) &:= \left( \frac{-0.6 - 1.03t^2 + 1.63t}{0.04} \right) \cdot (\Phi(t - 0.66) - \Phi(t - 1)) \\
 f_4(t) &:= \left( \frac{-68.58 - 52.22t^2 + 120.91t}{-2} \right) \cdot (\Phi(t - 1) - \Phi(t - 1.32)) \\
 f_5(t) &:= \left( \frac{-4.38 - 1.4t^2 + 5t}{0.4} \right) \cdot (\Phi(t - 1.52) - \Phi(t - 2.05))
 \end{aligned}$$

Ecuaciones (3)

**RT2)** Fórmula propuesta para la señal cardíaca usando aproximación con funciones senoidales construida con escalones unitarios adecuadamente recorridos. Nuevamente  $escalón(t) = step(t) = \Phi(t)$  es el escalón unitario [6],[7],[8].

$$h(t) := f_1(t) + f_2(t) + f_3(t) + f_4(t)$$

$$\begin{aligned} \bar{f}_1(t) &:= (0.3 \sin(2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot t)) \cdot (\Phi(t) - \Phi(t - 0.18)) \\ \bar{f}_2(t) &:= [-0.25 \sin[2 \cdot \pi \cdot f_2 \cdot (t - 0.66)]] \cdot (\Phi(t - 0.44) - \Phi(t - 0.54)) \\ \bar{f}_3(t) &:= [0.3 + 0.7 \sin[2 \cdot \pi \cdot f_3 \cdot (t - 0.55)]] \cdot (\Phi(t - 0.54) - \Phi(t - 1.25)) \\ \bar{f}_4(t) &:= [0.09 + 0.2 \sin[2 \cdot \pi \cdot f_4 \cdot (t - 1.54)]] \cdot (\Phi(t - 1.25) - \Phi(t - 2)) \end{aligned}$$

$$f_1=2.778 \quad f_2=4.167 \quad f_3=1.316 \quad f_4=1.22$$

Ecuaciones (4)

**RT3)** La fórmula expresada con la idea de Fourier no tiene resultados satisfactorios, aun usando nueve armónicos, por lo cual se considera como un resultado deficiente ya que al observar la Figuras 8 sólo tiene leve semejanza a una señal cardíaca.

**RESULTADOS PRÁCTICOS.**

**RP1)** En la Figura 11 se muestra la validación de la Figura 6 pero sí empleando instrumentación electrónica; es decir usando el osciloscopio.

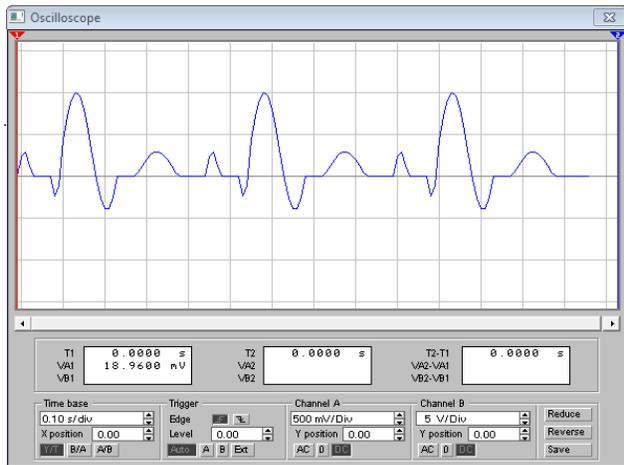


Figura 11. Señal cardíaca vista en el osciloscopio y sintetizada según la Figura 6.

**RP2)** En la Figura 12 se muestra la validación de la Figura 7 pero sí empleando instrumentación electrónica; es decir usando el osciloscopio.

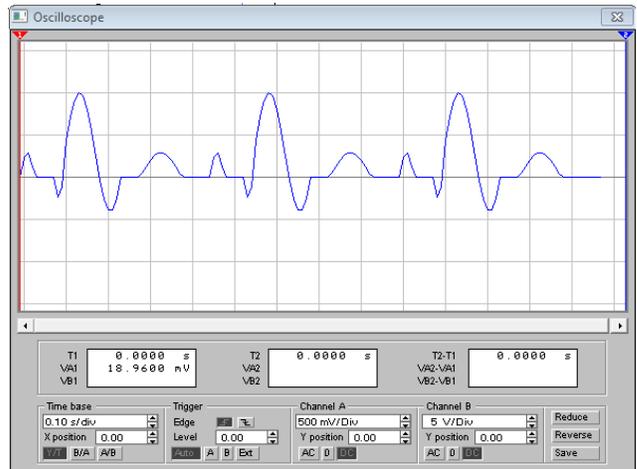


Figura 12. Señal cardíaca vista en el osciloscopio y sintetizada según la Figura 7.

**RP3)** En la Figura 13 se muestra la validación de la Figura 8 pero sí empleando instrumentación electrónica; es decir usando el osciloscopio.

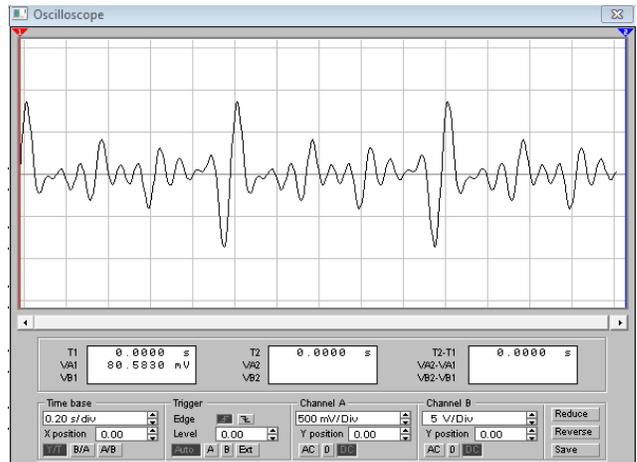


Figura 13. Señal cardíaca vista en el osciloscopio y sintetizada según la Figura 8.

**RP4)** En la Figura 14 se muestra la validación de la Figura 9 pero sí empleando instrumentación electrónica; es decir usando el osciloscopio.

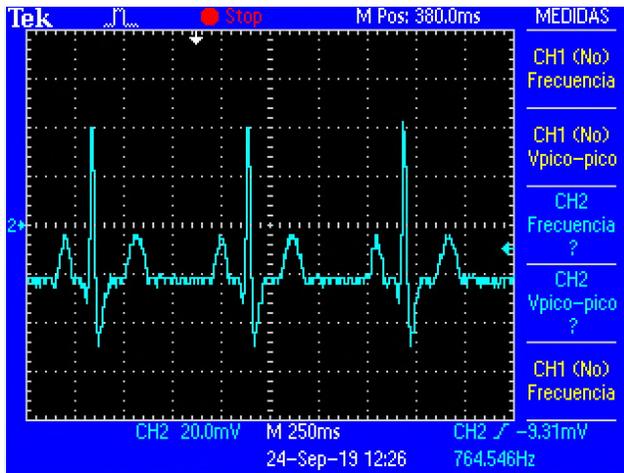


Figura 14. Señal cardíaca vista en el osciloscopio y sintetizada según la Figura 9.

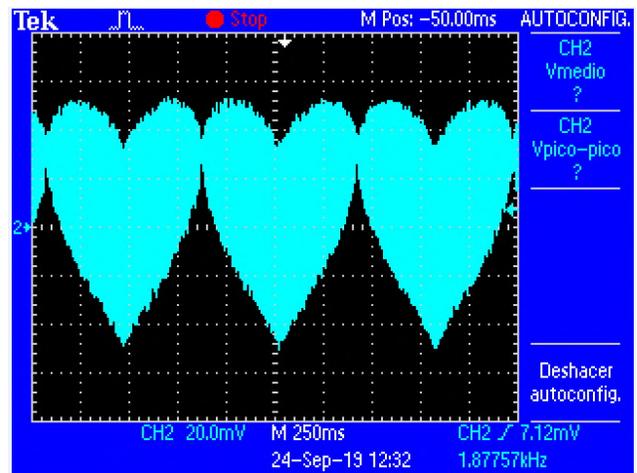


Figura 15. Señal estéticamente agradable, vista en el osciloscopio y sintetizada según la Figura 10.

**RP5)** En la Figura 15 se muestra en el osciloscopio las señales de entrada y salida de un transformador elevador de tensión donde a la entrada del transformador se alimenta la señal cardíaca sintetizada por cualquiera de los procedimientos aquí propuestos y a la salida del circuito se obtiene la misma señal pero elevada en valores de amplitud. La señal de salida de este circuito hipotéticamente podría ser aplicada mediante electrodos a un paciente con la intención de producir una desfibrilación mediante una idea diferente de la que usan actualmente los desfibriladores comerciales [5]. Evidentemente los valores de amplitud deberían ser mayores.

#### IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

En el desarrollo de este trabajo se propusieron expresiones analíticas para una señal cardíaca. Cada propuesta teórica aquí encontrada es en realidad una fórmula matemática de una función, cuyo dominio es el tiempo y su contradominio es el voltaje.

Cada señal cardíaca sintetizada en este estudio, representa una sola de tantas posibles señales que es factible encontrarse con la medición de un electrocardiograma.

De ninguna manera se pretendió sustituir al corazón, sólo se encontraron resultados teóricos y validaciones prácticas que podrían ser útiles para posteriores trabajos, encaminando estos, a lograr instrumentación electrónica, factible de aplicarse a procedimientos terapéuticos, primero dirigidos a animales, y si se cumplieran protocolos apropiadamente evaluados, entonces eventualmente podrían aplicarse a humanos.

Colaborando adecuadamente equipos de médicos y equipos de ingenieros las ideas vertidas en el presente trabajo podrían aplicarse a la docencia en medicina. Así como se encontró sintetizar señales cardíacas provenientes hipotéticamente de un corazón sano, no se tendrían muchos inconvenientes para sintetizar señales cardíacas con alguna cardiopatía sin necesidad de buscar humanos que las generen.

El mejor “dispositivo” para sintetizar una señal cardíaca es el corazón mismo.

En el desarrollo teórico de este trabajo se proponen representaciones simbólicas, mediante fórmulas explícitas, para señales típicas en un laboratorio de Electrónica y se sustentan sus representaciones teóricas con validaciones prácticas fácilmente realizables.

La teoría de Fourier puede representar un campo nuevo para la medicina que sería altamente conveniente explorar. El carácter discreto de la obtención de un espectro de Fourier podría apoyar al diagnóstico automatizado de

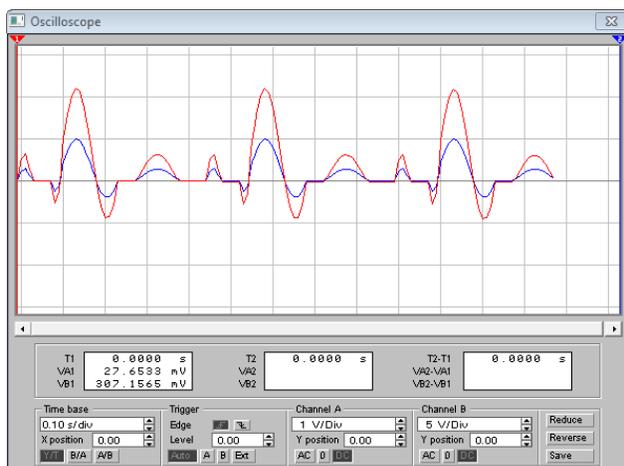


Figura 15. Señal cardíaca vista en el osciloscopio pero usando un transformador de subida.

**RP6)** En la Figura 16 se muestra la validación de la Figura 10 pero sí empleando instrumentación electrónica; es decir usando el osciloscopio.

cardiopatías, ya que la existencia de componentes frecuenciales encontrados en un espectro de un paciente en vías de diagnóstico, podría significar la manifestación de alguna cardiopatía. Toda la idea de Fourier apoyaría los diagnósticos con electrocardiogramas, que en estos días, tales diagnósticos, se realizan a partir de señales en el dominio del tiempo.

En un hipotético trabajo interdisciplinar, se tiene la total certeza, que redundaría en beneficios para los ingenieros y para los médicos.

#### AGRADECIMIENTO.

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México, al Instituto Tecnológico de la Laguna y al Instituto Tecnológico Superior de Lerdo por las facilidades brindadas para desarrollar y divulgar el presente trabajo. Reciba un agradecimiento especial la Dra. Rosalía Vallejo Rodríguez, médico especialista en Imagenología adscrita a la clínica del Seguro Social de la ciudad de Gómez Palacio Dgo., México.

#### V. REFERENCIAS

- [1] Oppenheim, A. V. (1998). Señales y Sistemas. Ed. PHH.
- [2] Hsu, H. P. (1973). Análisis de Fourier. Ed. Addison-Wesley Iberoamericana.
- [3] Pró, Eduardo; Latarjet, Michael; Ruiz Liard, Alfredo (2019). Anatomía Humana. Ed. Panamericana.
- [4] Spiegel, Murray R.(1995) Manual de Fórmulas y Tablas Matemáticas. Ed. Mc Graw Hill.
- [5] Guyton, A. C. Hall, J. E. (2016). Tratado de Fisiología Médica. Ed. Elsevier, Edición 139ª.
- [6] Irarrázaval M., Pablo. (1999).Análisis de Señales. Ed Mc Graw Hill.
- [7] Rodríguez Franco, A. (2018). Revista CID (Ciencia Investigación y Desarrollo), pp 29-34.
- [8] Rodríguez Franco, A. (2019). Revista CID (Ciencia Investigación y Desarrollo).pp 56-62.
- [9] Bistel Esquivel, R. A.; Fajardo Márquez, A. (2015). Design of a System for Acquisition and Processing ECG's Signals based on Virtual Instrumentation. Ingeniería Electrónica Automática y Comunicaciones. La Habana Cuba.
- [10] www.geogebra.com.
- [11] www.mathcad.com.
- [12] Guadalajara Boo, J. F. (2018). Cardiología. Ed. Méndez Editores, Edición 8.

#### VI. BIOGRAFÍAS



**De la Torre Cantú Jorge**, nació en Torreón, Coahuila, México el 9 de mayo de 1962. Obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería Eléctrica en la División de Posgrado del Instituto Tecnológico de la Laguna ( I.T.L.) en el año de 1989. Titulado como Ingeniero Industrial en Electrónica en Torreón, Coahuila, México en el año de 1984.

Ha impartido diversas materias a nivel licenciatura para las carreras de Electrónica, Eléctrica y Mecatrónica en el I.T.L. A nivel maestría lo ha hecho en un par de ocasiones para la división de Posgrado del I.T.L. Él actualmente trabaja como docente en la ciudad de Torreón en el Dpto. de Eléctrica-Electrónica del I.T.L. A él le ha divertido seguir las líneas de investigación en torno a los F.P.G.A.'s.

M.C. De la Torre forma parte de la Academia de Electrónica del I.T.L.



**Ríos Marmolejo César**. Nació el 30 de junio del año 1971 en la ciudad de Gómez Palacio Durango, México. Maestría en Ciencias de Ingeniería Eléctrica por el Instituto Tecnológico de la Laguna. Torreón, Coah., México. Maestro en Sistemas Computacionales desde diciembre del año 2019. Especialista en Ingeniería Mecatrónica por el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo en Cd. Lerdo, Durango, México en el año 2016. Obtiene el grado de Licenciatura en Ingeniería Electrónica por el Instituto Tecnológico de la Laguna, Torreón, Coah., México en el año 1997.

Él actualmente labora como Jefe de la División de Posgrado y Docente de la Especialización en Ingeniería Mecatrónica del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Cd. Lerdo. Durango, México. También ha impartido diferentes materias del área de electrónica y redes computacionales para las carreras de Ingeniería en Sistemas Computacionales y Licenciatura en Informática. Las líneas académicas de interés son Sistemas Automáticos de Control y desarrollo de sistemas computacionales.

El MC Ríos forma parte del consejo de posgrado del ITSLS



**Rodríguez Franco Abel**. Nació el 6 de junio del año 1960 en la ciudad de Torreón Coahuila México. Obtiene el grado de Maestro en Ciencias en Electrónica y Telecomunicaciones por el CICESE, Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada, Baja California, México en el año 1994. Obtiene el grado de Licenciatura en Ingeniería Industrial Electrónica por el Instituto Tecnológico de la Laguna en el año 1981.

Él actualmente labora como docente titular en el Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Energías Renovables del Instituto Tecnológico de la Laguna. Las líneas académicas de interés son el Manejo de Señales Analógicas y Digitales, Sistemas Automáticos de Control y las Comunicaciones Electrónicas.

El MC Rodríguez Franco forma parte de la academia de Electrónica en el ITL.

# Estudio del tráfico de datos de redes comunitarias en San Pedro, Coahuila con herramientas como BigData y Data Analytics

U. Martínez-Rodríguez<sup>1</sup>, I. Ruiz-Arroyo<sup>1</sup>, P.U. González Jaquez<sup>1</sup>, E. Valdivia-Lugo<sup>1</sup>,  
S.D. Gómez-Salazar

**Resumen**— El Instituto Tecnológico Superior de San Pedro de las Colonias, es una institución de educación de nivel superior perteneciente al Tecnológico Nacional de México, ubicada en la zona norte de la comarca lagunera del estado de Coahuila, que da servicio a 1,100 estudiantes de la región, de los cuales el 32% son de zonas rurales alejadas de la ciudad y otro 21% presenta condiciones de bajos recursos. Esto hace que por cuestiones de falta de infraestructura o recursos económicos carezcan de un servicio de Internet en sus hogares, lo que se ve reflejado en un desempeño académico menor o acceso a información de forma extemporánea. Las Redes Comunitarias en San Pedro de las Colonias, Coahuila, coadyuva a disminuir la brecha de acceso a servicios digitales en zonas rurales del municipio. El presente proyecto de investigación busca estudiar el comportamiento del uso de Internet en los nodos implementados en la red comunitaria mediante la aplicación de algoritmos de Big Data y Data Analytics sobre el tráfico de la red, respetando la privacidad de los usuarios e implementando metodologías evaluativas para con estos resultados determinar las estrategias a seguir para poder optimizar el uso de esta plataforma comunal.

**Palabras claves**— BigData, Data Analytics, Red comunitaria

**Abstract**— The Instituto Tecnológico Superior de San Pedro de las Colonias, is a higher level education institution belonging to the Tecnológico Nacional de México, located in the northern part of the lagoon region of the state of Coahuila, which serves 1,100 students in the region, which 32% of them are from rural areas far from the city and another 21% have low-income conditions. This means that due to lack of infrastructure or economic resources they lack an Internet service in their homes, which is reflected in a lower academic performance or access to information in an extemporaneous way. Community Networks in San Pedro de las Colonias, Coahuila, helps to reduce the access gap to digital services in rural areas of the municipality. This research project seeks to study the behaviour of Internet use in the nodes implemented in the community network by applying Big Data and Data Analytics algorithms on network

traffic, respecting the privacy of users and implementing evaluation methodologies to so with these results, determine the strategies to follow in order to optimize the use of this communal platform.

**Keywords**— Big Data, Data Analytics Community Network

## I. INTRODUCCIÓN

Las instituciones académicas deben adquirir un compromiso de mejora continua y excelencia académica para las personas a las cuáles oferta sus servicios educativos, además de generar impactos sociales que afecten de forma benéfica a la sociedad civil, para de esta forma abonar en el crecimiento intelectual de todos los habitantes de una zona o región. Con base en esto toda institución de educación; en específico de educación superior tecnológica como lo es el Tecnológico Nacional de México debe focalizar sus esfuerzos en el desarrollo y crecimiento de todo país propiciando el fortalecimiento del capital humano a través de la educación de calidad, desde esta perspectiva el desarrollo de proyectos de investigación aplicada deben ser el puente entre la formación de ese capital humano y la educación de calidad, ya que este factor permitirá penetrar en todo nivel académico y profesional para con esto generar un mayor impacto social, científico y tecnológico. El desarrollo del proyecto “Estudio del tráfico de datos de redes comunitarias en San Pedro, Coahuila, con herramientas como Big Data y Data Analytics” viene a aportar al alcance de los objetivos trazados por grandes instituciones de nivel superior como lo es el Tecnológico Nacional de México ya que permitirá abonar a mejorar las condiciones sociales de personas con un alto grado de marginalidad tecnológica.

Al reducir los costos de acceso a la información y el conocimiento, así como al expandir las capacidades de los individuos para compartir innovación, la conectividad tiene el potencial de empoderar a las personas, mejorar el acceso a los servicios públicos, aumentar la productividad y fomentar una mayor participación cívica. Sin embargo, en muchas partes de México, la penetración de Internet aún está por detrás de la mayoría de los países en desarrollo y, en consecuencia, la alfabetización en Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) y su adopción, así como las oportunidades para los usuarios son aún bastante limitadas. La búsqueda de soluciones

<sup>1</sup> Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de San Pedro de las Colonias, Ingeniería en Sistemas Computacionales, Calzada del Tecnológico #53, Col. El Tecnológico, C.P. 27800, San Pedro, Coahuila de Zaragoza, México  
[umr@tecsanpedro.edu.mx](mailto:umr@tecsanpedro.edu.mx)

alternativas a las estrategias tradicionales de conectividad experimentadas hasta hoy, por todo lo descrito hasta el momento, no es simplemente deseable sino verdaderamente necesaria para evitar las ineficiencias que las brechas digitales existentes evidencian muy claramente. En este sentido, como señala la Unión Internacional de Telecomunicaciones, los proyectos en los que la toma de decisiones y la operación de las redes de última milla se ejecutan por las propias comunidades, son las únicas iniciativas que han mostrado ofrecer opciones funcionales para el desarrollo sostenible de la conectividad en zonas apartadas, es por eso que resulta de vital importancia el incentivar trabajar con proyectos de redes datos comunitarias, y que las personas capacitadas e instituciones comprometidas con la sociedad, sobre todo con las zonas rurales marginadas de nuestro país aporten para la instalación y/o mejora de estas redes comunitarias de datos.

Elinor Ostrom plasma la mutación de la gobernanza de las instituciones por una acción colectiva, muestra un claro ejemplo en este sentido:

“Se requieren ciudadanos lúcidos para elaborar sistemas de gobernanza que tomen en cuenta múltiples comunidades de relaciones [...]. Las constituciones, estatutos, regulaciones y contratos entre comunidades de comprensión se basan en procesos que incluyen el principio de la soberanía de la gente”. [1]. Esto da sentido a un panorama alcanzable, en el que los mismos individuos que carecen de servicios de conectividad de calidad y accesibles otorguen voz y forma a las redes de datos comunitarias y aporten de manera directa a este proyecto, teniendo una vinculación profunda entre instituciones académicas, gobierno y organizaciones sin ánimo de lucro. Al día de hoy México alcanza una penetración en el uso de Internet de un 67% según lo publicado en el 14° estudio sobre los hábitos de los usuarios de Internet en México expuesto por el INFOTEC y la asociación Mexicana de Internet, si bien se ha presentado un aumento del 5% de usuarios con respecto del año 2017 al 2018, sin duda alguna se sigue teniendo un gran rezago de penetración de este servicio en nuestro país, el cual se focaliza sobre todo en las zonas rurales y en los hogares con menores ingresos económicos, lo que recalca en desigualdad de acceso a información, preparación académica y/o comunicación, los costos por adquisición de servicio, las bajas velocidades de navegación y la insuficiente infraestructura tecnológica imposibilitan que un mayor porcentaje de personas hagan uso libre de la red más grande del mundo que es el Internet. Es importante focalizar esfuerzos en lograr una cobertura cada vez mayor para la adquisición de servicios en telecomunicaciones y lograr tener acceso a una cobertura más incluyente y basta para la sociedad que así lo demanda, esto de forma independiente a la condición económica o a las zonas demográficas en las que habite cada individuo.

El Instituto Tecnológico Superior de San Pedro de las Colonias, es una institución de educación de nivel superior

perteneciente al Tecnológico Nacional de México, ubicada en la zona norte de la comarca lagunera del estado de Coahuila, que da servicio a 1,100 estudiantes de la región, de los cuales el 32% son de zonas rurales alejadas de la ciudad y otro 21% presenta condiciones de bajos recursos. Esto hace que por cuestiones de falta de infraestructura o recursos económicos carezcan de un servicio de Internet en sus hogares, lo que se ve reflejado en un desempeño académico menor o acceso a información de forma extemporánea. Es por esto que el proyecto de “Estudio del tráfico de datos de redes comunitarias en San Pedro, Coahuila, con herramientas como Big Data y Data Analytics.”, el cual es un proyecto registrado y financiado por instancias nacionales y estatales, busca aplicar las normas de Ostrom en materia de gobernanza común y con esto fortalecer la infraestructura de esta región geográfica, así como la innovación para mantener una sostenibilidad tecnológica e incluyente en los habitantes de esta región del país.

Se busca que el Instituto Tecnológico Superior de San Pedro de las Colonias aporte de gran manera a la sociedad una mejora con base en capital humano calificado, el diseño y desarrollo de este proyecto que permitirá fortalecer las redes de datos comunitarias y permitir a todos los usuarios administrar de forma fácil y eficaz esta red de datos, desprendiendo así a los usuarios de la dependencia de personal calificado para operar y mejorar esta red, y así acrecentar su impacto y prestigio en su área de influencia, y atender al sector social y estudiantil.

## II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

La implementación del proyecto de “Estudio de tráfico de redes comunitarias en el municipio de San Pedro, Coahuila, con herramientas de Big Data y Data Analytics”, fue con base en la aplicación de una metodología Ágile (ver Figura 1), las cuales brindan una flexibilidad al proceso de desarrollo de software. El desarrollo de este tipo de metodologías es evolutivo, iterativo y trabaja con tiempo fijo en cada iteración, la planificación es totalmente adaptativa y los entregables son evolutivos, lo que permite mejorar las fases de implementación del proyecto, además de trabajar de forma escalonada.

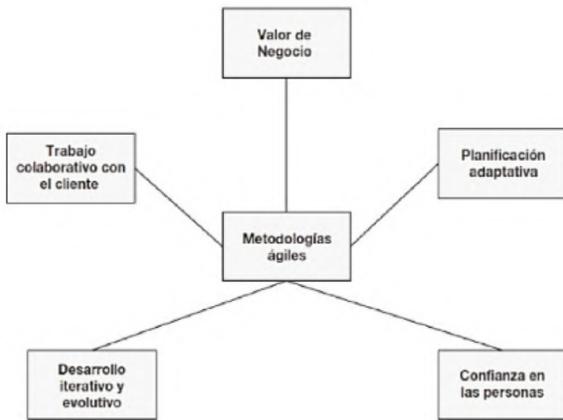


Figura 1: Esquema de la metodología Ágil.

El proyecto será desarrollado tomando como base una metodología Ágil, la cual permitirá entre cada iteración agregar módulos al proyecto, lo cual permitirá iniciar con una fase simple hasta completar la parte más compleja del proyecto.

Se llevará un desarrollo exploratorio donde el objetivo de este enfoque es explorar con el usuario los requisitos hasta llegar a un sistema final. El desarrollo comenzó con las partes que se tenían más claras. El sistema evoluciona conforme se añaden nuevas características propuestas por las especificaciones del equipo de investigación, estas partes estarán conformadas con versiones iniciales hasta llegar a las versiones finales de cada uno de los módulos necesarios para la implementación exitosa del proyecto. Los módulos estarán conformados de la siguiente manera:

Iteración v1.

Análisis de requerimientos funcionales (ver Figura 2), no funcionales (ver Figura 3), los cuales permitirán determinar las condiciones de funcionalidad algorítmica y técnica del proyecto.

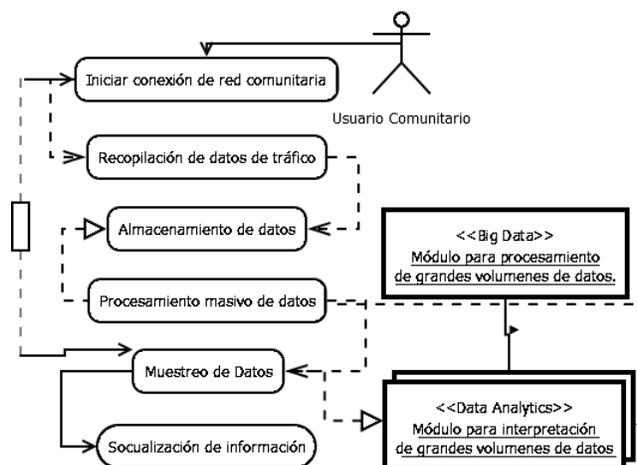


Figura 2: Diagrama de requerimientos funcionales.

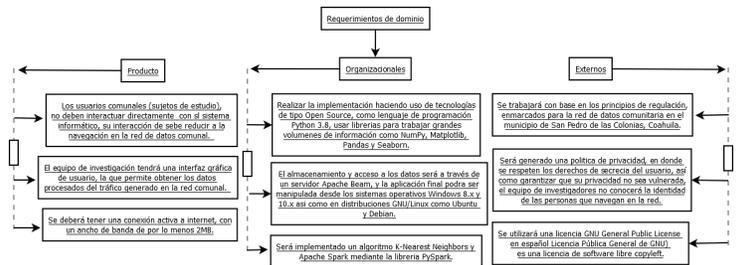


Figura 3: Diagrama de requerimientos no funcionales.

Iteración v2:

Desarrollo de interface de comunicación de datos entre API y servidor Apache Beam, en donde serán almacenados los datos de tráfico de red de los usuarios de la red de datos comunal del municipio de San Pedro de las Colonias, Coahuila.

Gartner aporta la siguiente definición “Big Data son los grandes conjuntos de datos que tienen tres características principales: volumen (cantidad), velocidad (velocidad de creación y utilización) y variedad (tipos de fuentes de datos no estructurados, tales como la interacción social, video, audio, cualquier cosa que se puede clasificar en una base de datos)”. [2].

Big Data es una colección de diversos y grandes volúmenes de información generados por usuarios a gran escala, esto no sólo reducido en términos numéricos, sino la importancia del Big Data es lo que se puede hacer con estos datos, como predicciones o comportamientos. Con el uso de esta tecnología se podrá procesar los grandes volúmenes de información generados por el tráfico de los usuarios de las redes de datos comunitarias implementadas en el municipio de San Pedro de las Colonias, Coahuila, y con esto predecir el comportamiento de los usuarios, así como posibilitar la mejora en materia de educación y necesidades primarias de los habitantes de estas zonas, además determinar los porcentajes de posibles personas con necesidades de estudio pero carencias económicas y plantear posibles soluciones para esta problemática.

Esto se realizó mediante al análisis de los comportamientos virtuales en redes sociales, búsquedas directas en navegadores, búsquedas en sitios de empleos y contenidos viralizados. Cada día la cantidad de información de cualquier tipo aumenta aceleradamente y así mismo se hace necesario no solo almacenar esta información sino poder procesarla eficiente y eficazmente para extraer conocimiento útil de esta. Para ello se utilizó el framework Spark, el cual contiene dos bibliotecas de aprendizaje automático, Spark MLlib y Spark ML con APIs marcadamente diferentes, en conjunto incluyen utilidades para clasificación, regresión, agrupamiento, filtrado colaborativo, reducción de dimensionalidad, así como las primitivas de optimización, y agregando un algoritmo KNN al pipeline de Spark. La representación matemática del algoritmo a implementar se da mediante la definición de la aproximación a la función lineal:

$$h(x) = \sum_{i=0}^n \theta_i x_i = \theta^T x \quad (1)$$

Esta función es comúnmente denominada función de costo de mínimos cuadrados. La resolución de la ecuación normal como método para calcular los valores de los parámetros incluye el cómputo de la multiplicación de matrices. Este procedimiento es implementado por varias bibliotecas locales de álgebra lineal dada la frecuencia de su utilización. Para el procesamiento de los datos se contó con el siguiente DataSet (ver Tabla I).

TABLA I:  
CARACTERÍSTICAS DEL DATASET

Tamaño:	329 MB
Instancias	123876 / 137894
Características	37
Localización	www.tecsanpedro.edu.mx
Nodos utilizados	8

Iteración v3.

Se desarrolla la interfaz para el equipo de investigadores, la cual mediante la segmentación de información (características) de la iteración anterior se podrá dotar de información de uso, comportamiento y predicción de los usuarios de la red de datos comunitaria.

El algoritmo de K-Nearest Neighbor (KNN) es un tipo de algoritmos de aprendizaje automático supervisados. KNN es extremadamente fácil de implementar en su forma más básica, y sin embargo realiza tareas de clasificación bastante complejas. Es un algoritmo de aprendizaje perezoso ya que no tiene una fase de entrenamiento especializada. En su lugar, utiliza todos los datos para el entrenamiento mientras clasifica un nuevo punto de datos o instancia. KNN es un algoritmo de aprendizaje no paramétrico, lo que significa que no asume nada sobre los datos subyacentes (ver Figura 4).

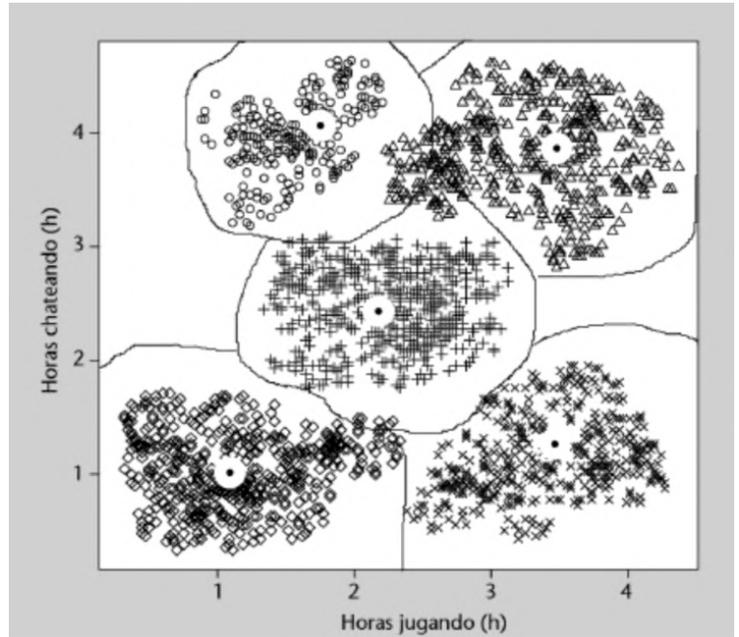


Figura 4: Generación de centroides por el algoritmo KNN.

La función de KNN radica en determinar las zonas de tráfico de la red, para así determinar la segmentación más idónea de usuarios.

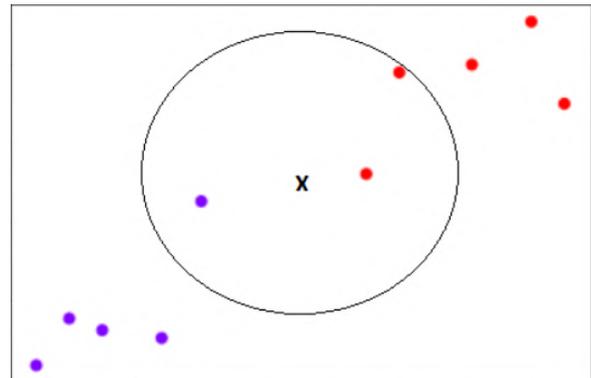


Figura 5: Determinación de centroides con KNN y Python. Para esta actividad de manera permanente se estará evaluando la manera de operar la red comunitaria de datos y todas sus implicaciones una vez que esta se rija bajo la gobernanza propuesta, esto con la finalidad de garantizar que los principios que forman parte de la gobernanza aportan para lograr una administración eficiente y correcta de la red y todo lo que engloba (ver Figura 5). En caso de ser necesario se realizaran las adecuaciones que se consideren convenientes, emanadas estas de los resultados de los monitoreos de la red comunitaria de datos.

### III. RESULTADOS

El presente proyecto se desarrolló para trabajar con la implementación de una red comunitaria de datos en zonas

rurales del municipio de San Pedro de las Colonias, Coahuila, específicamente se estudiaron los nodos de interconexión instalados en los ejidos de San Marcos y Zaragoza. Se pretende obtener información del comportamiento de los usuarios de esta red, midiendo el tráfico generado por los usuarios de la red de datos comunitaria y determinar cuáles son las mejores alternativas para aprovechar al máximo los recursos de esta iniciativa comunitaria.

El proyecto “Estudio del tráfico de datos de redes comunitarias en San Pedro, Coahuila, con herramientas como Big Data y Data Analytics”, permite adaptarse a la infraestructura soportada por diferentes redes de datos comunitarias y arrojar información importante para los administradores de estas redes, mediante la segmentación de intereses, y así poder mejorar las condiciones de la red, proponer cursos de capacitación, reducir la brecha digital de género, proponer proyectos de desarrollo comunitario, alfabetizar, etcétera, todo esto con la finalidad de empoderar cada vez más a las zonas marginadas de nuestro país.

A continuación por medio de las tablas siguientes se muestran datos recabados en la red:

TABLA II  
PORCENTAJE DE ESTUDIANTES POR NIVEL ACADÉMICO.

Primaria	100%
Secundaria	98%
Preparatoria	79%
Universidad	31%

Tabla III  
PORCENTAJE DE USUARIOS POR RANGOS DE EDAD.

Mayores de 50 años	2%
38 - 49 años	11%
25 - 37 años	39%
16 - 24 años	48%

Los usuarios de entre 16 y 24 años mostraron actividades de búsqueda relacionadas con aprendizaje de oficios y búsqueda de trabajo, así como actividades de ocio, usando en su mayoría buscadores en redes sociales, seguidos de buscadores como Google, lo que refleja una clara necesidad de incentivar a estos a incursionar en actividades de educación a distancia.

#### IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

La investigación en México debe poder dar herramientas de impacto, las cuales propicien mejoras en todo sector social, productivo y académico, y de esta manera aportar al fortalecimiento del capital humano, mejor calidad de vida, empoderamiento de comunidades marginadas, en este sentido el proyecto “Estudio del tráfico de datos de redes comunitarias en San Pedro, Coahuila, con herramientas como Big Data y Data Analytics” busca apoyar a fortalecer la tecnología destinada a proyectos comunitarios que empoderan a zonas rurales de nuestro país, ya que la brecha tecnológica en estos sectores del país es aún grande y queda un gran trabajo por realizar.

El presente proyecto de investigación y desarrollo tecnológico trajo consigo un reflejo del comportamiento de los usuarios de la red de datos comunitaria en los ejidos de San Marcos y Zaragoza del municipio de San Pedro de las Colonias, Coahuila, y se determinaron las principales necesidades de búsqueda, recalando el deseo de estudio a nivel superior en estos lugares, pero en la mayoría de los casos la carencia de instituciones educativas cerca y la insuficiente adquisición de recursos económicos imposibilitan el cumplimiento de este deseo, lo que conduce a una nueva fase de implementación de este proyecto, que es una instancia de educación virtual comunitaria.

#### V. AGRADECIMIENTOS

Las oportunidades de proponer mejoras en nuestra sociedad, y que como investigadores podamos ofrecer algo a la comunidad son tomadas y aprovechadas al máximo, y quienes trabajaron en este proyecto agradecen a instancias que posibilitan con su trabajo diario estas posibilidades, es por eso que se agradece al Tecnológico Nacional de México campus San Pedro de las Colonias, quienes nos brindaron las facilidades necesarias para la implementación de este proyecto, además del Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología del Estado de Coahuila, quienes a través del programa de apoyo a la ciencia y tecnología FONCYT financiaron este proyecto.

#### VI. REFERENCIAS

- [1] Elinor Ostrom (1990). *Governing the Commons. The Evolution of Institutions for Collective Action*. Cambridge: Cambridge University Press
- [2] Luis Joyanes. (2013). *Big Data análisis de grandes volúmenes de datos en organizaciones*. México: Alfa Omega.
- [3] Ryza, S; U. Laserson; S. Owen and J. Wills (2015): “Advanced Analytics with Spark”, New York: O'REILLY.
- [4] Apache Software Foundation: “Apache Spark Official Website”, <https://spark.apache.org/docs/2.1.0/mlguide.html>, 2017.
- [5] Wes McKinney. (2017). *Python For Data Analysis*. USA: O'Really.
- [6] numPy. (2018). Quickstart tutorial. 19/12/2019, de NumPy Sitio web: <https://numpy.org/devdocs/user/quickstart.html>

- [7] Pandas. (2019). pandas: powerful Python data analysis toolkit. 19/12/2019, de Pandas Sitio web: <https://pandas.pydata.org/docs/pandas.pdf>

## VII. BIOGRAFÍA

### Martínez Rodríguez Ulises



Nació el 30 de Agosto de 1988 en San Pedro, Coahuila.

Historial académico:

Licenciatura en Informática, Instituto Tecnológico de Torreón, Coahuila, México, 2011.

Maestría en Tecnologías de la Información y Comunicación, UNID, Gómez Palacio, Durango, 2015.

Experiencia profesional:

El actualmente labora como Docente en el

Instituto Tecnológico Superior de San Pedro de las Colonias, ubicado en Calzada del Tecnológico #53, Col. El Tecnológico, San Pedro, Coahuila; en 2011 se desempeñó como Programador en Bucomsa SA de CV. Las líneas de investigación de interés son:

- Tecnologías emergentes de la información y comunicación
- Sistemas, bases de datos y plataformas computacionales

El M.T.I.C Ulises Martínez Rodríguez es integrante del Cuerpo académico Desarrollo de tecnologías emergentes en formación y miembro del Internet of Society y del Grupo de Usuarios de Software Libre de la Laguna GULAG.

### Ruiz Arroyo Idalia.



Nació el 06 de Marzo de 1980 en Francisco I. Madero, Coahuila.

Historial académico:

Ingeniería en Sistemas Computacionales, Instituto Tecnológico de la Laguna, Torreón, Coahuila, México, 2003.

Maestría en Educación, UNID, Gómez Palacio, Durango, 2012.

Experiencia profesional:

Ella actualmente labora como Docente en el

Instituto Tecnológico Superior de San Pedro de las Colonias, ubicado en Calzada del Tecnológico #53, Col. El Tecnológico, San Pedro, Coahuila; en 2007 se desempeñó como Analista de Calidad en Sitel de México y en el año 2004 trabajo como Documentadora en INDAP: Ingeniería Digital Aplicada. Las líneas de investigación de interés son:

- Tecnologías emergentes de la información y comunicación
- Sistemas, bases de datos y plataformas computacionales

La ME. Idalia Ruiz Arroyo es integrante del Cuerpo académico Desarrollo de tecnologías emergentes en formación y miembro del Internet of Society y del Grupo de Usuarios de Software Libre de la Laguna GULAG.

### Gonzalez Jaquez Pablo Ulises.



Nació el 16 de Abril de 1989 en San Pedro de las Colonias, Coahuila.

Historial académico:

Ingeniería en Sistemas Computacionales, en el Instituto Tecnológico Superior de San Pedro de las Colonias, Coahuila, en el año 2012. Maestría en Sistemas Computacionales, en la Universidad Da Vinci, Ciudad de México.

Experiencia profesional:

Él se incorporó a la industria privada en el año 2012 para la empresa TECDEPOT, y del 2014 a la fecha forma parte de la planta docente de la

academia en Ingeniería en Sistemas Computacionales del Instituto Tecnológico Superior de San Pedro de las Colonias, Coahuila. Las líneas de investigación que desarrolla son: Tecnologías Emergentes de la Información y Comunicación, y Sistemas, Bases de Datos y Plataformas Computacionales

El MSC. Pablo Ulises Gonzalez Jaquez tiene el reconocimiento como Perfil PROMEP y es líder del Cuerpo Académico Desarrollo De Tecnologías Emergentes que está "En Formación" y miembro del Internet of Society y del Grupo de Usuarios de Software Libre de la Laguna GULAG.

### Valdivia Lugo Eduardo.



Nació el 17 de Mayo de 1987 en Torreón, Coahuila.

Historial académico:

Ingeniería en Sistemas Computacionales, Instituto Tecnológico de la Laguna, Torreón, Coahuila, México

Maestría en Sistemas Computacionales, Instituto Tecnológico de la Laguna, Torreón, Coahuila, México.

Experiencia profesional:

Él se incorpora a las líneas laborales en el

Instituto Tecnológico de la Laguna en Agosto del 2010 y hasta Agosto de 2015 cubriendo los puestos de operador y coordinador de servicios de cómputo. En el mes de Enero de 2015 se incorpora como profesor en el Instituto Tecnológico Superior de San Pedro de las Colonias ubicado en Calzada del Tecnológico #53, Col. El Tecnológico, San Pedro, Coahuila. Las líneas de investigación de interés son:

- Tecnologías emergentes de la información y comunicación
- Sistemas, bases de datos y plataformas computacionales

El M.S.C. Eduardo Valdivia Lugo es integrante del Cuerpo académico Desarrollo de tecnologías emergentes en formación y miembro del Internet of Society y del Grupo de Usuarios de Software Libre de la Laguna GULAG.

### Gómez Salazar Sergio Daniel



Nació el 22 de Febrero de 1999 en Torreón, Coahuila.

Historial académico:

Estudiante de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales, en el Instituto Tecnológico Superior de San Pedro de las Colonias Coahuila desde el año 2016.

Experiencia profesional:

En junio de 2019 me incorpore como alumno de servicio social para el proyecto

de investigación y desarrollo tecnológico "Redes de datos comunitarias en zonas rurales del municipio de San Pedro, Coahuila", que es un proyecto con registro nacional ante en Tecnológico Nacional de México y financiado por el Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología del estado de Coahuila, a través del Fondo Destinado a Promover la Ciencia y Tecnología en el estado de Coahuila.

# CAMBIO DE LÁMPARAS FLUORESCENTES POR LUZ LED CON USO DE PANELES SOLARES EN UN ITS.

E.C. Ávila-Salomón<sup>1</sup>, R.K. Martínez-Chong<sup>1</sup>, P. López-Martínez<sup>1</sup>, J.M. Mendoza-Rodríguez<sup>2</sup>.

**Resumen**—Hace algunos años las lámparas fluorescentes habían sustituido a los focos de bombilla convencionales, en la actualidad las lámparas fluorescentes han sido sustituidas por lámparas de Diodo Emisor de Luz, esto es, debido al gran ahorro de energía que proporcionan a las industrias, hogares, instituciones, etc.

Hoy en día el uso de lámparas Diodo Emisor de Luz en compañía con Energía Renovable, ha beneficiado más. En el Instituto Tecnológico Superior de San Pedro de las Colonias se dio a la tarea de retirar las lámparas Fluorescentes para ser reemplazadas por iluminación de Diodos Emisor de luz e implementar Paneles Solares Fotovoltaicos en un edificio para analizar el ahorro de energía tomando como base 6 meses antes a la instalación y realizar una investigación con enfoque cuantitativo de los kilowatt hora consumidos antes y después de la instalación de la tecnología.

Así también el Tecnológico sigue trabajando para mantener las certificaciones en las Norma Internacional de Estandarización 14001:2015 “Sistema de Gestión Ambiental” e ISO 50001:2018 “Sistema de Gestión de Energía” y una de las actividades es el plan de manejo interno que se tiene para el manejo especial del los Residuos peligrosos donde el principal residuo eran las lámparas fluorescentes conforme a la normas Aplicables, con el objetivo de no contaminar el medio ambiente.

**Palabras claves**—Manejo especial, Lámparas Fluorescentes, LED, Paneles Solares Fotovoltaicos, Residuo Peligroso.

**Abstract**—A few years ago fluorescent lamps had replaced conventional bulb bulbs, nowadays fluorescent lamps have been replaced by Light Emitting Diode lamps, that is, due to the great energy savings they provide to industries, homes, institutions, etc.

Nowadays, the use of Light Emitting Diode lamps in company with Renewable Energy has benefited more. In the Superior Technological Institute of San Pedro de las Colonias, the task was to remove the Fluorescent lamps to be replaced by lighting of Light Emitting Diodes and implement Photovoltaic Solar Panels in a building to analyze the energy savings based on 6 months before installation and carry out a quantitative approach investigation of the kilowatt hours consumed before and after the installation of the technology.

Likewise, Tecnológico continues to work to maintain the certifications in the International Standardization Standard 14001: 2015 “Environmental Management System” and ISO 50001: 2018 “Energy Management System” and one of the activities is the internal management plan that is It has for the special handling of hazardous waste where the main waste was the fluorescent lamps according to the Applicable standards, with the aim of not contaminating the environment.

**Keywords**—Special handling, Fluorescent Lamps, LED, Photovoltaic Solar Panels, Hazardous Waste.

## I. INTRODUCCIÓN

En 1896, Thomas Alva Edison, desarrolló su versión de lámpara fluorescente eléctrica, la cual catalogó como ineficiente a la vez que fue difícil de reproducir en serie. Luego en la década de 1920, la ineficiencia de las lámparas continuó debido a la falta del fósforo apropiado y de una fuente de radiación ultravioleta. Al comienzo de la década de 1930, se descubrieron fósforos que eran factibles y con el advenimiento de las lámparas de vapor de mercurio que resultaron ser una fuente eficiente de radiación ultravioleta [1].

Este tipo de lámparas hace tiempo sustituyeron a los focos de bombilla convencionales, en la actualidad están siendo reemplazadas por dos motivos, el primer se debe a “la contaminación por las lámparas fluorescentes que contienen mercurio, comienza cuando éstas son rotas o recolectadas por camiones no aptos para su transporte y luego depositadas en los rellenos sanitarios. Cuando los lixiviados se ponen en contacto con lámparas fluorescentes, estos se contaminan con mercurio (Hg). Luego los lixiviados, al infiltrarse en el suelo, son capaces de alcanzar aguas subterráneas, las cuales llegan a cursos de aguas superficiales; y luego el agua es ocupada para usos múltiples” [1].

El segundo motivo es por las lámparas de bajo consumo de energía como son las lámparas Diodo Emisor de Luz (LED), uno de los beneficios al usar esta tecnología es “Menor consumo de energía: Un LED demanda menos potencia para producir la misma cantidad de luz, por ejemplo, una bombilla incandescente de 100 W con filtro rojo produce 1 W de luz roja (como en un semáforo), mientras que para generar la misma cantidad de luz roja, un LED sólo requiere 12 W; es decir, tiene una mayor eficiencia energética” [2].

Son muchas ventajas el usar la tecnología como es mayor duración e iluminación con el LED en comparación

<sup>1</sup> Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de San Pedro, Calzada del Tecnológico #53, Col. El Tecnológico, C.P. 27800, San Pedro de las Colonias, Coahuila, México.

<sup>2</sup> Escuela de Bachilleres Agua Nueva, calzada Pedro G. Garza SN, Ing Aníbal Flores Neira, 27800 San Pedro, Coah.

\* elsa.avila@sanpedro.edu.mx

con la tradicional [3].

En la actualidad la iluminación LED es importante pero si le completamos con energía solar por medio de paneles solares fotovoltaicos, se contribuye más al cuidado del medio ambiente con una mayor iluminación a un menor costo.

“La energía solar fotovoltaica (ESFV) constituye una fuente de energía renovable, la cual puede usarse en la generación de electricidad mediante el uso de paneles solares fotovoltaicos (PSFV) que convierten la radiación solar en electricidad, haciéndola aplicables a múltiples actividades de la vida” [4].

Los paneles solares son celdas fotovoltaicas individuales que toman la energía que proporciona el sol para después transformarla en electricidad. Este tipo de equipo especial son hechos de semiconductores como pueden ser el Silicio u otros semiconductores donde la función principal es transformar la luz llamada fotones en energía eléctrica como son los electrones. Las celdas fotovoltaicas son dispositivos formados por metales sensibles a la luz que desprenden electrones cuando los rayos de luz inciden sobre ellos, generando energía eléctrica [5].

El Instituto Tecnológico Superior de San Pedro de las Colonias (ITSSPC), se dio a la tarea de implementar con responsabilidad social esta tecnología, al retirar las lámparas fluorescentes y sustituirlas por tecnología LED, el beneficio es el gran ahorro de energía en comparación con las lámparas fluorescentes, ya que estas no utilizan sustancias químicas que contaminen al suelo y al instalar paneles solares en un edificio para reducir los costos de energía, con el objetivo de analizar el gasto de kilovatio hora (kWh) de un semestre de prueba, con una investigación con enfoque cuantitativo representada en gráficas y tablas. Con este tipo de cambios, el Instituto ha mantenido las certificaciones en las diferentes normas como la ISO 14001: 2015 “Sistema de Gestión Ambiental” [6] e ISO 50001:2018 “Sistema de Gestión de energía” [7] ya que ambas normas contribuyen con la sustentabilidad.

En el (ITSSPC), el principal objetivo es contribuir al cuidado del medio ambiente, a pesar del trabajo duro que cada día se presenta, también está interesado por contribuir con la sociedad, en la implementación del Sistema de Gestión Ambiental dándose a la tarea, de ir retirando las lámparas fluorescentes y supliendo por lámparas LED, al momento de ir cambiándolas se fueron guardando en el almacén no más de 6 meses con sus debidos cuidados para evitar que se quiebren y no tener contacto con el gas mercurio (Hg) para después enviarlas a la empresa donde se le da disposición final conforme a la legislación: Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) [8], Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos

(LGPGR) [9] y Reglamento de Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (RLGPGR)[10].

## II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

La metodología utilizada en esta investigación fue por el método cualitativo y cuantitativo, primero se empezó por identificar de acuerdo a las características del tipo de residuos al que correspondía, es decir, residuo urbano, residuo peligroso o residuo de manejo especial. Las lámparas fluorescentes contienen cantidad de sustancias peligrosas como son Mercurio (Hg) y Helio (He) [11-12], principales elementos contaminantes y una vez identificado conforme a la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente [8], Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos [9] y Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos [10], en el artículo 31 fracción VI como residuo peligroso, se tomaron medidas preventivas tanto en la instalación como en el mantenimiento de las mismas, así también en el artículo 56, nos indica que no se deben almacenar más de 6 meses [10]. Es por ello que se desarrollo e implemento un plan de manejo y disposición interna en la Institución, donde se da cumplimiento a toda la legislación aplicable.

En este plan de manejo y disposición, se empezó a recolectar lámparas fluorescentes conforme terminaba su vida útil, diseñándose un espacio en el almacén donde se resguarda material de jardinería, maquinaria, material de limpieza, tambores, guitarras, bancos en mal estado, archiveros, computadoras obsoletos, etc.

Aunado a todo este material y/o equipo, se selecciono un espacio para colocar las lámparas fluorescentes utilizandolo como almacén temporal, marcando con línea roja y utilizando unos contenedores azules adecuados para recolectar las lámparas que llegaran a su vida final así como se muestra en la figura 1, donde el personal de mantenimiento es el responsable del almacenaje adecuado y de llevar un registro del control de entrada y salida del residuo [8-9].



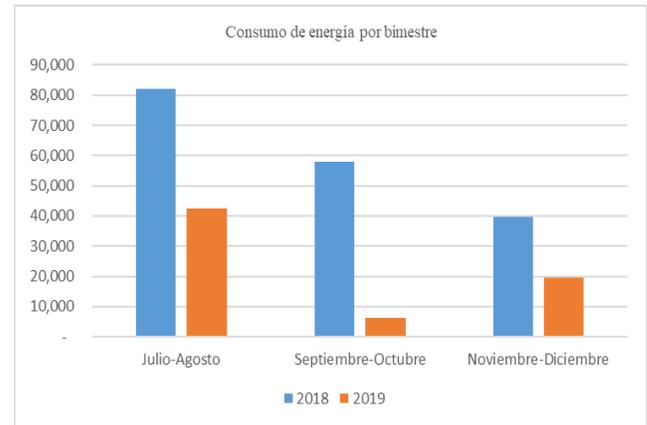
Figura1. Almacenamiento y resguardo

Una vez que se estableció el lugar adecuado con suficiente ventilación, se contrato una empresa especializada que cumpliera con todos los registros ante la Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) para que se recibiera el residuo peligroso. El Tecnológico comprometido con el medio ambiente aporó la cantidad de \$15 (Quince pesos M/N 00/100) por lámpara y llegó a pagar como máximo hasta \$2,000 (Dos mil pesos M/N 00/100) semestrales, aproximadamente para que se le diera el tratamiento adecuado y así la empresa comprometida entregará el manifiesto de las lámparas para su disposición final.

En la actualidad las lámparas fluorescentes fueron reemplazadas y el espacio donde se recolectaban, se quedó disponible de manera permanente para reunir las lámparas LED, cabe mencionar que el gasto de inversión por el proceso de tratamiento solo se aplicó una sola vez por el ITSSPC ya que aún no tiene definida alguna fecha para homologar el uso de lámparas Diodo Emisor de Luz, ni el monto a pagar por los servicios de la disposición final de los residuos tóxicos.

El ITSSPC tiene dos edificios A y B, el año pasado el área de administración tomó la decisión de instalar Paneles Solares Fotovoltaicos, en el edificio B, con el objetivo de evaluar el ahorro de energía en kWh y contribuir en la mejora continua de las ventajas ambientales que supone la iluminación industrial basada en tecnología LED y mantener las certificaciones en la ISO 14001 y 50001 [11-12].

Una vez instalados los PSFV, se tomó como base las lecturas de consumo de los recibos bimestrales, haciendo un análisis comparativo del año 2018 y 2019, las cuales se muestran en la siguiente gráfica I [13].



En la siguiente tabla I muestra los resultados del ahorro de energía que se obtuvieron durante el periodo reportado. En la cual se puede apreciar el ahorro logrado durante los primeros 6 meses de prueba [13-14].

TABLA I.  
AHORRO DE ENERGÍA Y MONETARIO

Bimestre	Ahorro en kWh	Ahorro Monetario
Julio-Agosto	39,370	\$80,628
Septiembre-Octubre	51,542	\$160,634
Noviembre-Diciembre	20,318	\$78,172
Total	111,230	\$319,434

En esta Tabla I muestra el ahorro de energía en kWh y el ahorro monetario bimestral considerando los datos obtenidos en los años 2018 y 2019, tomando en cuenta que los paneles se instalaron a mediados de junio del año 2019, por esta razón solo se tenía como referencia de análisis 6 meses, es importante mencionar que no se va a tener una utilidad inmediata ya que se tiene proyectada la recuperación de la Inversión en los próximos 4 años aproximadamente, el cálculo de este tiempo es tomando en cuenta por el monto de la inversión de \$1,300,000 M.N por compra de paneles solares y equipamiento necesario vs con el ahorro reflejado en la Tabla 1 [13-14].

Gráfica I. Mediciones de los años 2018 y 2019.

$$\bar{X} = \frac{\sum x_i}{n} \tag{1}$$

$$\bar{X} = \frac{111,230}{3} = 37,076.66$$

$$y = a + bx \tag{2}$$

$$b = \frac{n(\sum xy) - (\sum y)(\sum x)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}$$

$$a = \frac{\sum y}{n} - b \frac{\sum x}{n}$$

$$y = 50,957.44 - 3,965.94x$$

En la ecuación 1, se realiza el promedio de ahorro de energía por bimestre, que el instituto ha logrado optimizar.

En la ecuación 2, se puede pronosticar por medio de la ecuación de tendencia, el ahorro de energía del bimestre correspondiente al mes Enero y Febrero del 2020 [13-14].

### III. RESULTADOS

En base a los valores de la institución se opto por retirar las lámparas con contenido de Hg, conocidas como Fluorescentes, con la finalidad de contribuir a mejorar el medio ambiente, en base las Normas 14001:2015 y 50001:2018. Aundado al cambio de las lámparas se procedio a la instalación de PSFV obteniendo excelentes resultados, derivado del análisis de las gráficas y tablas mostradas se concluye que apartir de la instalación de los PSFV, se obtuvo un ahorro de energía promedio de 37,076.66 kWh por bimestre.

Tomando como referencia los 6 meses que tiene operando los PSFV en el edificio B.

Utilizando la formula de la ecuación 2 podemos estimar el ahorro de energía del bimestre enero-febrero de 35,093.68 kWh [11-12].

### IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

La instalacion de los PSFV, ha permitito un menor consumo de energía representado en los kWh, en estos 6 meses de prueba, el promedio de ahorro es de 37,076.66 kWh, pero se recomienda desarrollar un inventario de residuos peligroso mensualmente si llegaran a quedar después de los cambios de lámparas fluorescentes y utilizar ese espacio para resguardar las lámparas LED, con su debido control de entrada y salida, así también mejorar el plan de manejo establecido.

Otros de los puntos importantes es seguir con una bitáctora para los registro de las nuevas lecturas de los 6 meses restantes y presentar la información al personal del instituto para que se tenga el conocimiento de todas las mejoras que ha desarrollado la institución.

Como lo es cuidando al medio ambiente y concientizando a los clientes para que lo pongan en práctica, en sus hogares para contribuir en el cuidado de nuestros recursos naturales, así también mencionar que hay mucha variación de los meses por ejemplo se observa que en el mes de diciembre en el cual existe un receso académico tanto de alumnos como de personal y los consumos son bajos, pero a pesar de eso aún se tiene un

ahorro inferior en comparación con los demás meses.

Por ultimo, se recomienda instalar PSFV en el edificio A, para seguir optimizando kWh.

### V. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Instituto Tecnológico Superior de San Pedro de las Colonias, por facilitar el trabajo académico en el Sistema de Gestión Ambiental y de Energía, que fueron el sustento para este estudio, al Jefe de Recursos Materiales, el Ing. Jaime Esquivel, Gabriel de Jesús Rodríguez Guerrero y al Director General el Ing. Rodolfo Gerardo López Muñiz por las facilidades y atenciones prestadas para eficientar los resultados de este trabajo de investigación.

### VI. APÉNDICES

TABLA II. CÁLCULO DE LA ECUACIÓN

Bimestre	x	y=kx-H	xy	x <sup>2</sup>
Julio-Agosto	1	39,370	39,370	1
Septiembre-Octubre	2	51,542	103,084	4
Noviembre-Diciembre	3	20,318	60,954	9
	6	111,230	203,408	14

En la tabla II, se desarrollan los cálculos para llegar a obtener la ecuación de tendencia.

### VII. REFERENCIAS

- [1] José M. M.; Samuel M. G. y John H.M. (2014), "Análisis del tratamiento actual de las lámparas fluorescentes, nivel de contaminantes y disposición final" Colección investigaciones de la Universidad Tecnológica del Salvador, p.12.
- [2] Victor F. R.; Hugo C.G. y José Ch. O. (2010), "Aplicaciones de Iluminación con LEDs", Scientia Et Technica, Vol. XVI, p. 14.
- [3] Ana S.T.; Abelardo M. I; Oscar G. M. y José Luis S.S (2015), "Análisis de ahorro energético en iluminación LED industrial: Un estudio de caso" Universidad Nacional de Colombia, p. 231.
- [4] Gustavo, A. C. (2016), "La importancia del uso de paneles solares en la generación de energía eléctrica", Revista Electrónica de Veterinaria, vol. 17, p. 1.
- [5] Raymond Ch. (2013). *Química*, 10a ed., Mc. Graw-Hill.p. 272.
- [6] Sistema de Gestión Ambiental, ISO 14001: 2015 recuperado el 2 de enero 2020 [sgc.itmexicali.edu.mx/formatos/DOCUMENTOS%20EXTERNOS%20OK/Norma%20ISO%2014001\\_2015%20ISO\\_14001\\_2015%20Requisitos.PDF](http://sgc.itmexicali.edu.mx/formatos/DOCUMENTOS%20EXTERNOS%20OK/Norma%20ISO%2014001_2015%20ISO_14001_2015%20Requisitos.PDF)
- [7] Sistema de Gestión de Energía, ISO 50001:2018 recuperado el 2 de enero 2020 [www.itvalledelguadiana.edu.mx/ftp/Normas%20ISO/ISO%2050001-2015%20Sistemas%20de%20Gestión%20de%20la%20Energía.pdf](http://www.itvalledelguadiana.edu.mx/ftp/Normas%20ISO/ISO%2050001-2015%20Sistemas%20de%20Gestión%20de%20la%20Energía.pdf)

- [8] Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, DOF recuperado el 2 de enero 2020 de la cámara de diputados [www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/148\\_050618.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/148_050618.pdf)
- [9] Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, DOF recuperado el 2 de enero 2020 de la cámara de diputados [www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/263\\_190118.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/263_190118.pdf)
- [10] Reglamento de Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, DOF recuperado el 2 de enero 2020 de la cámara de diputados, [www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg\\_LGPGIR\\_311014.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg_LGPGIR_311014.pdf)
- [11] Alan Sh.; Sharon J. y Leonard R. (2010). *Concepto Básicos de Química*, 9a ed. Ed. Patria p. 89.
- [12] Spencer N.; Bodner G. y Rickard L. (2000). *Química*, 1ª ed. Ed. Continental p. 19.
- [13] Walpore, R. E; Raymond H.M; Sharon L. M. y Keying Ye. (2007). *Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias*, 8ª ed., Ed. Pearson Educación p. 232.
- [14] Gutierrez, H. y de la Vara R. (2012). *Análisis y Diseño de Experimentos*, 3a ed., Ed. Mc Graw Hill pp. 300-3001.

### VIII. BIOGRAFÍA



**Ávila Salomón Elsa Carolina.** San Pedro de las Colonias Coahuila, 16 de enero de 1979. Maestría en Administración de Seguridad e Higiene, Salud Ocupacional y Ecología, Universidad Autónoma de Coahuila. Torreón Coahuila. 2012. Ingeniero Químico. Instituto Tecnológico de La Laguna. Torreón, Coahuila. 2001. Diplomado en Docencia Universidad Autónoma de La Laguna. Torreón Coahuila. 2005. Diplomado en Competencias Docentes Básicas en el Nivel Superior. Centro Interdisciplinario de Investigación y Docencia en Educación Técnica. Santiago de Querétaro, Querétaro. 2008. Diplomado en Energías Renovables impartido por el Tecnológico Nacional de México campus Laguna, Diplomado en Presupuesto Basado en Resultados 2019, Reconocimiento como Perfil Prodep. Auditor Líder en el Sistema Integral (Calidad, Ambiental y OSHAS). WORLD REGISTER O.C. México D.F. 2014. Capacitación en la norma 50001:2018 Sistema de Gestión de Energía. Participación como auditor interno en el sistema de Gestión Integral modalidad autorías cruzadas en la Ciudad de Monclova, Coahuila en octubre 2019. Curso de Auditor Líder en las Normas (Calidad, Ambiental, Seguridad y Energía). Ella actualmente labora en el Instituto Tecnológico Superior de San Pedro de las Colonias, en la Ciudad de San Pedro de las Colonias Coahuila, México. Maestro de tiempo completo, pertenece a la Academia de Ciencias Básicas, colaborador en el Área de Innovación, Coordinadora de la Implementación del Sistema de Gestión Ambiental de la Norma ISO 14001, en el punto 4.4.6 Control Operacional y 4.4.7 Respuesta ante Emergencia en la Institución. Titular en las asignaturas de Química, Estadística Inferencial II, Administración de la Salud y Seguridad Ocupacional, Propiedad de los Materiales, Probabilidad y Estadística. Líneas de Investigación de interés: Química, Seguridad e Higiene y/o Desarrollo Sustentable.

Miembro activo de la Red de Cultura Científica y de la Innovación.



**Martínez Chong Rafael Kon.** Torreón Coahuila, 17 de febrero de 1982, Doctorado en Administración estratégica por el Instituto Internacional y de Administración Estratégica en la ciudad de Torreón Coahuila en el año 2019.

El actualmente trabaja como Docente en la carrera de Ingeniería Industrial en el Tecnológico Nacional de México campus San Pedro, ubicado en San Pedro de las Colonias Coahuila, México.



**López Martínez Pablo.** San Pedro de las Colonias Coahuila, 28 de Abril de 1970. Maestría en Derecho laboral, Instituto de Posgrados en Humanidades A.C. Torreón Coahuila 2017. Licenciado En Derecho. Universidad Autónoma de Coahuila Torreón, Coahuila. 2001.

El actualmente labora en el Tecnológico Nacional de México campus San Pedro, en la Ciudad de San Pedro de las Colonias Coahuila, México. Maestro de tiempo completo, pertenece a la academia de Ingeniería en Gestión Empresarial, colaborador del Sistema de Gestión de Calidad ISO 9001:2015, brigada de Combate de incendios en la Institución. Titular en las asignaturas de Derecho Laboral, Marco Legal de las Organizaciones, Fundamentos de Derecho, Taller de Ética.



**Mendoza Rodríguez José Martín.** San Pedro de las Colonias Coahuila, 25 de Febrero de 1964. Maestría en Matemática Educativa, Universidad Autónoma de Coahuila, Saltillo Coahuila 2010. Ingeniero Industrial en Producción, Instituto Tecnológico Superior de Saltillo 1987. Diplomado en competencias docentes de medio Superior.

El actualmente labora en la Escuela de Bachilleres Agua Nueva de la Universidad Autónoma de Coahuila. Titular en las asignaturas Matemáticas I, Matemáticas II, Matemáticas III, Matemáticas IV, Física I, Física II, Inglés I e Inglés II.



## ÍNDICE DE AUTORES

### ► A

Álvarez Macías, Carlos	76
Arzola Monreal, Juan Martín	40
Ávila Salomón, Elsa Carolina	66, 120

### ► B

Barker Garza, Jericó Israel	76
-----------------------------	----

### ► C

Camacho Villalobos, Fernando	81
Carrera Barraza, Brenda	88
Castillo Quiñones, Juan Pablo	47
Chairez Acosta, Luvianka Ivonett	88
Chiw Gramillo,	
Esmeralda Daniela	88
Cosme Aceves,	
José Francisco	95, 101

### ► D

De la Fuente Guerrero,	
Juan Manuel	53, 60
De la Torre Cantú, Jorge	107
Dutt, Ateet	76

### ► E

Esmeralda Gomez, Alma Graciela	76
--------------------------------	----

### ► F

Fematt Hernández,	
Hiram Brahim	22
Flores Luévanos,	
María Guadalupe	40

### ► G

Gomez Alonso, Emanuel	70
Gómez Salazar, Sergio Daniel	114
González Vargas, Luis Amado	8
Gonzalez Jaquez, Pablo Ulises	114
González Chávez, Víctor Bryan	40

### ► H

Heredia Mendoza, Kevin Antonio	81
Hernandez Lopez, Monica	2, 35, 47
Herrera García, Ramón Alberto	88

### ► L

Lagos Acosta, Mario Alberto	95, 101
Lara Molina, Mario Alberto	81
Lira Sifuentes, Martha Alicia	53
López Aparicio, Liliana	101
López Martínez, Pablo	120
Lozano Cuellar, Leticia	53

### ► M

Magallanes Armendariz,	
Jesus Francisco	88
Márquez Acosta, Jesús Emanuel	22
Martínez Hernández, Héctor	08
Martinez Sandoval, Heber Joctan	8
Martínez Chong, Rafael Kon	66, 120
Martínez Díaz, Iveth Del Rosario	66
Martínez Rodríguez, Ulises	114
Martínez Burrola, Juan Manuel	47
Mendez Almaraz, Rita	2
Mendoza Rodriguez,	
Jose Martín	120
Mercado Mora, Noel	60
Meza Medina, José Luis	16
Morales Tassinari,	
Adolfo Manuel	70
Morales Venegas, Diana	29
Moreno Núñez, Elda	40

### ► N

Nájera Muro, Kevin Antonio	66
Nava Bustamante, Mario Ivan	16

### ► R

Ríos Marmolejo, César	107
Rodríguez Lozano,	
Karla Verónica	40

Rodríguez Franco, Abel	107
Ruiz Arroyo, Idalia	114

### ► S

Santana Rodríguez, Guillermo	76
Santillan Ávila, Juan Luis	22
Salgado Guzmán, Gerardo	95, 101
Sellschopp Sánchez,	
Francisco Sergio	53, 60
Sanchez Rangel,	
Francisco Javier	95, 101
Sifuentes Mijares, Juan	22, 81

### ► T

Tapia Vargas, Víctor Noe	95, 101
Tello Mijares, Santiago	29

### ► V

Valdivia Lugo, Eduardo	114
Vega Luna, José Ignacio	95, 101
Velasquez Chavez,	
Tania Elizabeth	2, 35, 47
Vidaña Martínez, Silvia Adriana	35
Viramontes Acosta, Adriana	2, 47

### ► Z

Zarate Reyes, Moises	70
----------------------	----



## GUÍA PARA AUTORES

Se invita a todos los docentes, estudiantes e investigadores a enviar sus artículos de difusión científica y tecnológica en fechas programadas en la página Web de la presente revista. Las colaboraciones deberán estar escritas en un lenguaje claro, didáctico y accesible correspondiente al público objetivo, con un discurso que aproveche al máximo los recursos narrativos, literarios y gramaticales. Se deben seguir los siguientes criterios editoriales.

### Criterios editoriales (difusión)

- Sólo serán aceptados los trabajos que cumplan con los criterios y lineamientos indicados.
- Sólo se aceptan artículos originales, entendiendo por ello que el contenido sea producto del trabajo directo y que una versión similar no se ha publicado o enviado a otras revistas.
- El artículo debe ofrecer una panorámica clara del campo temático.
- El artículo debe ser ordenado. Separar las dimensiones del tema y evitar romper la línea de tiempo.
- Debe considerarse la experiencia nacional y local, si la hubiera.
- No se aceptan reportes de mediciones. Los artículos deben contener la presentación de resultados de medición y su comparación, también deben presentar un análisis detallado de los mismos, un desarrollo metodológico original, una manipulación nueva de la materia o ser de gran impacto y novedad social.
- No se aceptarán trabajos basados en encuestas de opinión o entrevistas, a menos que aunadas a ellas se realicen mediciones y se efectúe un análisis de correlación para su validación.
- Para su consideración editorial, el autor deberá enviar el artículo por medio de la plataforma web <http://sicsacid.itslerdo.edu.mx/> en formato “.docx”, así como el material gráfico, fichas biográficas de cada autor de máximo 100 palabras y carta firmada por todos los autores (formato en página web) que certifique la originalidad del artículo y autorización para ser publicado en la revista.
- Los originales deberán tener una extensión máxima de seis páginas (incluyendo figuras y tablas) de acuerdo al formato que a continuación se especifica:
  - Respetar el formato vigente para la redacción del artículo (disponible en página web)



- Tamaño carta; el margen superior deberá ser de 2.5 cm. y el resto de 2 cm.
- Título. Máximo dos renglones, tipografiado en altas y bajas, tipo Times New Roman a 24 puntos, con interlínea normal, en negritas.
- Nombre del autor o autores. En mayúsculas con alineación al margen derecho, misma fuente tipográfica en 12 puntos, asterisco sobrescrito al final.
- Adscripción. Colocarla en pie de página de la 2a. columna antecedida por un asterisco, en tipografía Times New Roman de 8 puntos.
- Cuerpo del texto. A dos columnas, con tipografía Times New Roman de 10 puntos,
- justificado.
- Resúmenes. No mayores de 100 palabras tanto en inglés como en español. Incluir a lo sumo cinco palabras clave tanto en inglés como en español para ser utilizadas en índices. Deben ubicarse al terminar el cuerpo y antes de las referencias. Misma tipografía que el cuerpo.
- Deberán ser numeradas y aparecerán en el orden que fueron citadas en el texto, utilizando la misma tipografía del cuerpo. Las fichas bibliográficas deberán contener los siguientes datos: autores o editores, título del artículo, nombre del libro o de la revista, lugar, empresa editorial, año de la publicación, volumen y número de páginas.
- Subtítulos. Tipografía Times New Roman, 10 puntos, en negritas.
- Notas al pie. Times New Roman, 8 puntos.
- Material gráfico (incluye figuras, imágenes y tablas). Mínimo dos, máximo cinco a una o dos columnas, máximo media página, todas las imágenes deberán ser de al menos 300 DPI.
- Pie de gráficos. Tipografía Times New Roman, itálica de 9 puntos.
- Deberán evitarse en lo posible las notas a pie de página.

#### **Notas importantes:**

- Todas las colaboraciones, sin excepción, serán evaluadas; en el caso de los artículos de investigación (difusión) serán arbitrados por especialistas por área científica. Los criterios aplicables a esta clase de artículos serán: el rigor científico, la calidad y precisión de la información, el interés general del tema expuesto y la claridad del lenguaje.
- En el caso de los artículos de difusión, serán evaluados por especialistas en el tema, quienes valorarán la pertinencia, el lenguaje y la calidad del contenido.
- Todos los textos son sometidos a revisión y los editores no se obligan a publicarlos sólo por recibirlos.



- Una vez aprobados, los autores aceptan la corrección de textos y la revisión de estilo para mantener criterios de uniformidad de la revista.
- La revista se reserva el derecho de no acusar recibo de los trabajos que no se ajusten a estas normas.
- Todos los artículos deberán remitirse a través de la plataforma en línea, ubicada en la dirección: "<http://sicsacid.itslerdo.edu.mx/>".

Para mayor información ponemos a su disposición el correo electrónico:

**[revistacid@itslerdo.edu.mx](mailto:revistacid@itslerdo.edu.mx)**

o bien, a la siguiente dirección:

**Revista Ciencia, Ingeniería y Desarrollo Tec Lerdo**

**Edificio "F", planta alta**

**Avenida Tecnológico #1555 Sur, Col. Periférico**

**C.P. 35150. Ciudad Lerdo, Durango. México**

Para cualquier duda o comentario, estamos a disposición de los interesados en:

**Instituto Tecnológico Superior de Lerdo**

**Tel: (+52) 871 725 23 71. extensión: 134**

**<https://www.lerdo.tecnm.mx/>**

**<http://sicsacid.itslerdo.edu.mx/>**



LA REVISTA **CIENCIA, INGENIERÍA Y DESARROLLO TEC LERDO** ES UNA REVISTA ANUAL DE DIFUSIÓN ELECTRÓNICA QUE TIENE COMO PROPÓSITO DIFUNDIR LA PRODUCCIÓN CIENTÍFICA, TECNOLÓGICA Y DE CONOCIMIENTO, EN LOS ÁMBITOS ACADÉMICO, CIENTÍFICO, TECNOLÓGICO E INDUSTRIAL, QUE REPRESENTA UNA CONTRIBUCIÓN PARA EL DESARROLLO DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA.



<http://revistacid.itslerdo.edu.mx>