



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE LERDO

# CIENCIA, INGENIERÍA Y DESARROLLO TEC LERDO

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

VOLUMEN 1  
NÚMERO 8  
2022

# ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN



**FÓRMATE**  
de una manera *diferente*

[revistacid@itslerdo.edu.mx](mailto:revistacid@itslerdo.edu.mx)  
[revistacid.itslerdo.edu.mx](http://revistacid.itslerdo.edu.mx)  
[www.lerdo.tecnm.mx](http://www.lerdo.tecnm.mx)



**SEP**  
SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO



Título de la revista:

# CIENCIA, INGENIERÍA Y DESARROLLO TEC LERDO

**Noviembre 2022. Volumen: 1. Año: 8. Número: 8.**

Editor:

## INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE LERDO



Revista Ciencia, Ingeniería y Desarrollo Tec Lerdo, Noviembre 2022, Volumen 1, Número 8. Publicación electrónica universitaria nacional anual editada por el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. Av. Tecnológico No. 1555 Sur. Periférico Gómez-Lerdo, Km. 14.5. 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: Carlos Uriel Flores Prince. No. de reserva de derechos al uso exclusivo: **04-2022-011210434500-203**, 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, Edificio H: Marcos Morales Esparza. 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 que no sea con fines de lucro. No nos hacemos responsables por textos no solicitados. Fecha de última actualización: 01 de Noviembre de 2022.



### CONSEJO EDITORIAL

PRESIDENTE:

ISRAEL CASTRO MUÑOZ

SECRETARIO GENERAL:

JOSÉ ÁNGEL MÉNDEZ ORTEGA

SECRETARIO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y DESARROLLO:

JESÚS ALEJANDRO VALDÉS NIEBLAS

EDITOR RESPONSABLE:

CARLOS URIEL FLORES PRINCE

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

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



**EDITOR RESPONSABLE:**  
CARLOS URIEL FLORES PRINCE

**COMITÉ EDITORIAL:**

**SUPERVISIÓN 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 JÁQUEZ CERVANTES

SILVIA ADRIANA VIDAÑA MARTÍNEZ

TANIA ELIZABETH VELÁSQUEZ CHÁVEZ

**COMITÉ REVISOR:**

Abel Rodríguez Franco, Antonio Mendoza Ruelas, Carlos Uriel Flores Prince, Cecilia Inés Calderón Ibarra, César Octavio Márquez Aguirre, Elda Moreno Núñez, Elena Tzetzangary Aguirre Mejia, Erika Alejandra Meraz Salazar, Felipa de Jesús Rodríguez Flores, Francisco Huerta Valenzuela, Hesner Coto Fuentes, Jessica Yazmín Martínez Morales, Jesus Alberto Ramirez Nuñez, Jose Angel Candelas Saucedo, Juan Manuel Martínez Burrola, Juan Martín Arzola Monreal, Karla Verónica Rodríguez Lozano, Luis Amado González Vargas, María del Rocío Herrera Morales, María Guadalupe Flores Luevanos, Nancy Gabriela Marin Castañeda, Nancy Victoria Torres Ramos, Noé Alvarado Tovar, Omar Fabián Rivera Cenicerros, Percival Inti Serrato Hernandez, Raymundo Juarez del Toro, Rosa Maria Morales Flores, Silvia Adriana Jáquez Cervantes, Silvia Adriana Vidaña Martínez, Tania Elizabeth Velásquez Chávez, Victor Edi Manqueros Aviles.

**CORREO DE LA REVISTA:**

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



## CARTA DEL EDITOR

Es motivo de gran satisfacción y mucha alegría para el todo equipo de la Revista CIENCIA, INGENIERÍA Y DESARROLLO TEC LERDO, que haya llegado el día de ver publicado este octavo número. Con la pandemia del COVID-19, se reveló un panorama alarmante, que nos afectó como seres humanos en distintas maneras, en lo personal, en lo laboral y en nuestra vida diaria; pero iniciamos este año con la esperanza y en una “nueva normalidad” que nos permite como seres humanos seguir expresándonos, interactuando y creciendo.

El objetivo de la Revista CIENCIA, INGENIERÍA Y DESARROLLO TEC LERDO es realizar una difusión electrónica anual que tenga como propósito difundir la producción científica, tecnológica y de conocimiento, en los ámbitos académico, científico, tecnológico e industrial que represente una contribución para el desarrollo de la ciencia y la tecnología.

En esta edición a través de 23 artículos, se presenta un escaparate y seguimos siendo participes de la contribución en ciencia y tecnología a través de la divulgación y difusión de investigaciones de relevancia, donde los distintos autores se esfuerzan y logran el propósito de pasar del lenguaje científico a un lenguaje comprensible para los lectores interesados.

Agradecemos como siempre a nuestros autores de este año la confianza brindada,

para nuestra revista, así como la voluntad y esfuerzo que emplearon para cumplir con calidad, en tiempo y forma con el proceso establecido para la publicación de sus artículos. Me despido deseamos a todos nuestros autores, lectores y miembros del comité editorial y de todos los que conformamos la familia de la Revista CIENCIA, INGENIERÍA Y DESARROLLO TEC LERDO, tengan un excelente cierre de año.

***Muy sinceramente:***

***M. C. Carlos Uriel Flores Prince***  
***Editor Responsable***

***Noviembre de 2022***



## ÍNDICE DE ARTÍCULOS

01. Control Bang-Bang de n-grados de libertad para su implementación en robótica.....	01
» U. Uriostegui-Legorreta.	
02. Diseño de un prototipo de un HomBot para videovigilancia usando IoT.....	08
» J. I. Vega-Luna, V. N. Tapia-Vargas, G. Salgado-Guzmán, F. J. Sánchez-Rangel, J. F. Cosme-Aceves.	
03. Modificación del modelo cinemático de el Mars Rover para adaptación terrestre utilizando las toolboxes: Robotics System y Simscape, en MATLAB. ....	14
» M. A. Corrales-Arreola, R. Juárez-del Toro, J. M. Arzola-Monreal.	
04. Proyecto de emprendimiento con el modelo Push-Pull para el software SIGEPRORE del Tecnológico Nacional de México, Campus Lerdo. ....	21
» K. V. Rodríguez-Lozano, J. M. Arzola-Monreal, E. Moreno-Núñez, M. G. Flores-Luévanos.	
05. Análisis del proceso de reinscripción de los estudiantes del TecNM campus Tierra Blanca: modelación y simulación en SIMIO. ....	27
» F. Ríos-Martínez, L. Fuentes-Rosas, M. del S. Flores-Serrano, V. Sánchez-Vázquez.	
06. Diseño y evaluación de un controlador de lógica difusa para la extracción de la máxima potencia en un sistema fotovoltaico de 10KW interconectado a la red. ....	33
» K. G. Vidaña-Aldaba, J. Lara-Cardoso, C. Hernandez-Flores, M. A. Arjona-López.	
07. Modelo de simulación en SIMIO del proceso de arribo de vuelos internacionales de un aeropuerto en el estado de Puebla. ....	41
» L. M. González-Cos Alcocer, L. Fuentes-Rosas, L. G. Tobón-Galicia, M. Hernández-Cortez.	
08. Elaboración de un sistema web para la aprobación de créditos. ....	46
» I. R. Sánchez-Juárez, M. P. Paredes-Xochihua, V. Morales-Zamora.	
09. Implementación del ciclo de Deming en empresa minera de Sombrerete, Zacatecas. ....	51
» L. Mena-Zamora, A. L. Guzmán-Ayala, M. I. Ceceñas-Jacquez, M. G. Ceseñas-Cordero, L. E. Pinedo-Reza.	
10. Diseño del sistema de gestión y control de inventarios en empresa ferretera.....	57
» D. I. Esquivel-González, M. I. Ceceñas-Jacquez, A. L. Guzmán-Ayala, M. N. Castrejón-Álvarez, J. I. Cuevas-Zapata.	
11. La importancia que tiene la seguridad e higiene dentro de los comercios locales de San Pedro. ....	64
» Y. O. Muñoz-Vazquez, R. E. Vielma-Castillo, E. C. Aguilar-Favela.	
12. Integración de energía fotovoltaica a la red eléctrica mediante un inversor multinivel PHC monofásico en condiciones de asimetría. ....	69
» L. F. Díaz-Díaz, J. Lara-Cardoso, C. Hernandez-Flores, M. A. Arjona-López.	
13. Medición del grado de utilidad de la implementación de redes de datos comunitarias en zonas rurales del municipio de San Pedro, Coahuila.....	76
» Y. S. Ochoa-Corona, I. Ruíz-Arroyo, U. Martínez-Rodríguez, O. F. Ramos-Ochoa.	
14. Desarrollo y construcción de un robot manipulador Pick and Place de 6 grados de libertad basado en el microcontrolador PSoc con fines educativos. ....	82
» N. Alvarado-Tovar, L. A. González-Vargas, J. G. Proo-Pérez, C. E. Tarango-Hernández, A. Serrano-Hernández	



## ÍNDICE DE ARTÍCULOS

15. Desarrollo de control de motores a pasos por hardware utilizando microcontroladores PSoC. ....	89
» <i>E. Machado-Díaz, H. Coto-Fuentes.</i>	
16. Diseño de estructura mecánica de robot antropomorfo didáctico de 5 grados de libertad con servomotor e impresión 3D. ....	97
» <i>E. Machado-Díaz, N. Alvarado-Tovar, G. G. Leyva-Carrillo, J. A. Valenzuela-Romero.</i>	
17. Causas que originan la rotación de personal dentro de las empresas de manufactura en San Pedro, Coahuila. ....	104
» <i>A. A Serrano-Rivas, R. E. Vielma-Castillo, E. Aguilar-Favela.</i>	
18. Integración de estaciones KNARIO con un sistema de información geográfico para el monitoreo de la calidad del aire en la zona metropolitana de La Laguna. ....	109
» <i>H. Coto-Fuentes, F. Valdés-Perezgasga, K. V. Guevara-Amatón, K. Limones-Ríos, C. I. Calderón-Ibarra.</i>	
19. Sistema automático para la detección y diagnóstico de fallos en circuitos electrónicos. ....	115
» <i>H. Coto-Fuentes, E. E. Valdés-Zaldivar.</i>	
20. Análisis de la correlación entre el desarrollo de las habilidades blandas del personal y su desempeño laboral después del impacto causado por la pandemia COVID 19. ....	119
» <i>M. J. Carrera-Barraza, J. M. Valdez-Díaz, E. G. Pinales-Valdez, P. Velazquez-Contreras, B. Carrera-Barraza.</i>	
21. Caracterización teórica de la reflectancia de un sensor plasmónico basado en la geometría de Kretschmann con silicio poroso y plata. ....	126
» <i>A. Santos-Gómez, Y. G. Salgado-Soto, A. C. Ramírez-Zúñiga, E. Ramírez-Vázquez, J. Sandoval-Lira.</i>	
22. Impacto del análisis ergonómico en puestos de trabajo del área de habilitado en empresa de manufactura de muebles. ....	131
» <i>M. F. Reyes-Hernández, J. M. Valdez-Díaz, E. G. Pinales-Valdez, M. J. Carrera-Barraza, B. Carrera-Barraza.</i>	
23. Algoritmos de clasificación en la cosecha del brócoli. ....	136
» <i>R. Juárez-del-Toro, J. Castrejón-Lozano, F. Salas-Pérez.</i>	
<i>Índice de autores</i> .....	146



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

# Control Bang-Bang de n-grados de libertad para su implementación en robótica

U. Uriostegui-Legorreta<sup>1</sup>

**Resumen**—La interacción humano-robot constituye un campo de investigación amplio. Este trabajo de investigación surge como respuesta al problema que existe en el área de control al proponer funciones candidatas de Lyapunov que se utilizan para probar la estabilidad del sistema e implementar controladores, ya que no existe un método adecuado para hacer el cálculo de las funciones de Lyapunov para el control bang-bang. En la literatura se conocen sistemas de uno y dos grados de libertad que se controlan mediante control bang-bang, la dificultad que se presenta al utilizar este control para muchos grados de libertad es complejo, consiste en buscar los máximos y mínimos de las funciones de Lyapunov de cada grado de libertad para encontrar el tiempo mínimo. Por ello, se propone un método para el cálculo de las funciones de Lyapunov mediante la teoría de Hamilton para sistemas de n-grados de libertad para su implementación en el control bang-bang. Se realizan simulaciones numéricas y la implementación del controlador para un brazo manipulador de dos y cuatro grados de libertad, aplicando este método propuesto al control bang-bang.

**Palabras claves**—control Bang-Bang, control no lineal, hamiltonianos, brazos robóticos

**Abstract**—The human-robot interaction is a broad field of research. This research work arises as a response to the problem that exists in the control area when proposing candidate Lyapunov functions that are used to test the stability of the system and implement controllers, since there is no adequate method to calculate the Lyapunov functions for bang-bang control. In the literature there are known systems of one and two degrees of freedom that are controlled by bang-bang control, the difficulty that arises when using this control for many degrees of freedom is complex, it consists of finding the maxima and minima of the Lyapunov functions of each degree of freedom to find the minimum time. Therefore, a method for calculating Lyapunov functions using Hamilton's theory for n-degrees of freedom systems is proposed for implementation in bang-bang control. Numerical simulations and the implementation of the controller for a manipulator arm with two and four degrees of freedom are carried out, applying this proposed method to the bang-bang control.

**Keywords**—Bang-Bang control, nonlinear control, hamiltonians, robot arms

## I. INTRODUCCIÓN

Actualmente el uso cotidiano de robots en la industria, investigación y cada vez más en los hogares hace del campo de la robótica un área de oportunidad para el desarrollo de nuevas teorías, controladores y aplicaciones de los diferentes tipos de robots. Los sistemas electromecánicos y robóticos se utilizan en numerosas aplicaciones de la vida diaria en la actualidad, estos sistemas son modelados mediante las ecuaciones de Euler-Lagrange. En este formalismo, se utilizan las coordenadas generalizadas para desarrollar el control del sistema. Dentro de los formalismos más importantes en la mecánica clásica se encuentran el formalismo de Lagrange y de Hamilton. El formalismo de Lagrange se basa en resolver  $n$  ecuaciones de segundo orden (ecuaciones de Lagrange) para obtener las ecuaciones de movimiento; mientras que el formalismo de Hamilton consiste en resolver  $2n$  ecuaciones de primer orden, lo que parece contraproducente. No obstante, existen ventajas al trabajar con el enfoque hamiltoniano; por ejemplo, el conjunto de transformaciones que dejan invariantes las ecuaciones de Hamilton es más amplio que el que existe en la mecánica lagrangiana. Si bien la mayor parte del análisis de sistemas físicos se ha realizado dentro del formalismo lagrangiano y hamiltoniano. Varios autores abordan la formulación de hamiltonianos para el control de sistemas mecánicos en el espacio fase utilizando álgebra matricial y cálculo tensorial. En la teoría de control, un controlador bang-bang (controlador de encendido y apagado) es un controlador de retroalimentación que cambia abruptamente entre dos estados [1]. En problemas de control óptimo, a veces se da el caso de que un control está restringido a estar entre un límite inferior y uno superior. Si el control óptimo cambia de un extremo al otro (es decir, estrictamente nunca está entre los límites), entonces ese control se denomina solución bang-bang [2]. Los controles bang-bang surgen con frecuencia en problemas de tiempo mínimo. Por ejemplo, si se desea que un coche que parte del reposo llegue a una determinada posición en el menor tiempo posible, la solución es aplicar la máxima aceleración y luego aplicar el máximo frenado para llegar a descansar exactamente en la posición deseada. Las soluciones bang-bang también surgen cuando el

<sup>1</sup> Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Facultad de Ciencias Físico Matemáticas, Av. Francisco J. Mújica S/N Ciudad Universitaria, C.P. 58060, Morelia, Michoacán, México.

\* ulises.fismat@gmail.com

hamiltoniano es lineal en la variable de control; la aplicación del principio mínimo o máximo de Pontryagin conducirá entonces a empujar el control a su límite superior o inferior dependiendo del signo del coeficiente del control  $U$  en el hamiltoniano [3]. En resumen, los controles bang-bang son en realidad controles óptimos en algunos casos, aunque también se implementan a menudo por simplicidad o conveniencia. El propósito de este trabajo es describir un nuevo método del cálculo de funcionales tras observar las limitaciones que presenta la teoría de Hamilton y el cálculo de las funciones de Lyapunov para sistemas dinámicos con cierto grado de complejidad. Existen varias formas de calcular funcionales de sistemas de ecuaciones diferenciales (sistemas dinámicos), sin embargo no se ha generalizado un método para ello, por ejemplo; las funciones de Lyapunov no dependen explícitamente del tiempo y no hay métodos definitivos para obtenerlas; el formalismo de Hamilton es deducido basándose en sistemas conservativos, aun cuando las ecuaciones se pueden forzar para encontrar hamiltonianos de algunos sistemas disipativos [4,5]. En la literatura se conocen sistemas de uno o dos grados de libertad utilizando control bang-bang, para muchos grados de libertad es muy complejo calcular los hamiltonianos o funciones de Lyapunov relacionadas con cada grado de libertad. Por ello se persigue el objetivo de crear un método a partir de la transformada de Legendre para el cálculo de los hamiltonianos de manera recursiva para cada grado de libertad del sistema.

## II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

En esta sección, se presenta una breve introducción a los conceptos y el desarrollo matemático del formalismo lagrangiano y hamiltoniano. Se describe el método recursivo para el cálculo de los hamiltonianos.

### A. Formalismos Lagrangiano y Hamiltoniano

La mecánica hamiltoniana fue formulada por primera vez por William Rowan Hamilton en 1833, a partir de la mecánica lagrangiana, una reformulación previa de la mecánica clásica introducida por Joseph Louis Lagrange en 1788. La ecuación de Euler-Lagrange en forma matricial de un sistema electromecánico o robótico viene dada por

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

donde  $M(q)$ ,  $C(q, \dot{q})$ ,  $G(q)$  y  $\tau$  representan la matriz de inercia, la matriz de Coriolis, la gravedad y el torque respectivamente. La ecuación clásica de Euler-Lagrange viene dada por

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_i} = 0. \quad (2)$$

donde  $L = L(q_i, \dot{q}_i, t)$  es el Lagrangiano del sistema se

calcula como la diferencia entre la energía cinética  $K$  y energía potencial  $V$  de la siguiente manera

$$L = K - V. \quad (3)$$

En mecánica clásica se usa la transformada de Legendre para derivar la formulación hamiltoniana partiendo de la formulación lagrangiana, y viceversa [6]. Eso es posible, puesto que la función lagrangiano que aparece en el formalismo lagrangiano es una función explícita de las coordenadas posicionales  $q_i$  y las velocidades generalizadas  $\dot{q}_i$ . Por su parte la función de Hamilton o hamiltoniano que aparece en la formulación hamiltoniana es función explícita de las coordenadas y los momentos generalizados. El punto importante es que los momentos pueden ser obtenidos como derivadas del lagrangiano:

$$p_i = \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i}, \quad (4)$$

$$\dot{p}_i = \frac{\partial L}{\partial q_i}. \quad (5)$$

con lo cual se puede construir el hamiltoniano a partir del lagrangiano. En esas condiciones el hamiltoniano viene dado como transformación de Legendre del lagrangiano:

$$H(q_i, p_i, t) = \sum_{i=1}^n p_i \dot{q}_i - L(q_i, \dot{q}_i, t). \quad (6)$$

Para mostrar que el hamiltoniano es una constante del movimiento para un sistema autónomo, lo escribimos en términos del lagrangiano y calculamos su derivada total respecto al tiempo:

$$\frac{dH}{dt} = \sum \left( \dot{p}_i \dot{q}_i + p_i \ddot{q}_i - \frac{\partial L}{\partial q_i} \dot{q}_i - \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \ddot{q}_i \right) - \frac{\partial L}{\partial t}, \quad (7)$$

Sea  $H(q_i, p_i, t)$ , el diferencial total de  $H$  es:

$$dH = \sum \left( \frac{\partial H}{\partial q_i} dq_i + \frac{\partial H}{\partial p_i} dp_i \right) + \frac{\partial H}{\partial t} dt, \quad (8)$$

$$dH = \sum \left( \dot{q}_i dp_i + p_i d\dot{q}_i - \frac{\partial L}{\partial q_i} dq_i - \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} d\dot{q}_i \right) - \frac{\partial L}{\partial t} dt, \quad (9)$$

$$dH = \sum (\dot{q}_i dp_i - \dot{p}_i dq_i) - \frac{\partial L}{\partial t} dt, \quad (10)$$

$$dH = \sum \left( \frac{\partial H}{\partial q_j} dq_j + \frac{\partial H}{\partial p_j} dp_j \right) + \frac{\partial H}{\partial t} dt, \quad (11)$$

$$dH = \sum (\dot{q}_j dp_j - \dot{p}_j dq_j) - \frac{\partial L}{\partial t} dt. \quad (12)$$

Si identificamos el coeficiente de  $dq_i$  y  $dp_i$ , donde se obtienen las siguientes relaciones

$$\dot{p}_j = -\frac{\partial H}{\partial q_j}, \quad \dot{q}_j = \frac{\partial H}{\partial p_j}, \quad \frac{\partial H}{\partial t} = -\frac{\partial L}{\partial t}, \quad \frac{dH}{dt} = \frac{\partial H}{\partial t}. \quad (13)$$

La ecuación expresa que si  $H$  no depende explícitamente del tiempo, entonces es una cantidad que se conserva.

### B. Hamiltoniano recursivo $n$ -grados de libertad para el control bang-bang

El hamiltoniano total del sistema se puede calcular a partir de la transformada de Legrende,

$$H = \sum_{i=1}^n p_i \dot{q}_i - L(q_i, \dot{q}_i, t). \quad (14)$$

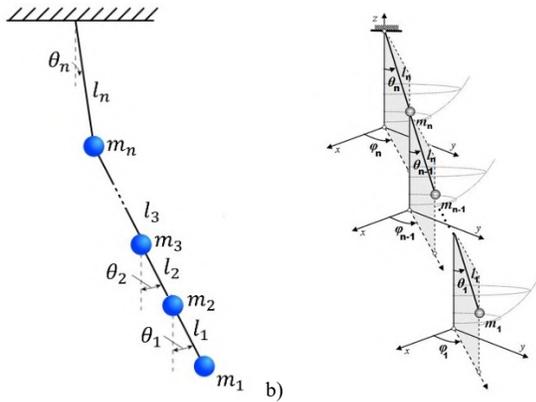


Figura 1. a) Péndulo planar de  $n$ -grados de libertad; b) Péndulo esférico de  $2n$ -grados de libertad

Para el control bang-bang de un péndulo planar de  $n$ -grados de libertad (ver Figura 1. a)), se ocupa calcular  $n$  hamiltonianos y  $n$  señales de control  $U_i$  para cada grado de libertad que tenga el sistema, se propone una manera de obtener los  $n$  hamiltonianos de manera recursiva [7].

$$H_n = (\sum_{i=1}^n p_i \dot{q}_i - L(q_i, \dot{q}_i)) - (\sum_{i=1}^{n-1} p_i \dot{q}_i - L(q_i, \dot{q}_i)), \quad (15)$$

$$H_{n-1} = (\sum_{i=1}^{n-1} p_i \dot{q}_i - L(q_i, \dot{q}_i)) - (\sum_{i=1}^{n-2} p_i \dot{q}_i - L(q_i, \dot{q}_i)), \quad (16)$$

$$\vdots$$

$$H_2 = (\sum_{i=1}^2 p_i \dot{q}_i - L(q_i, \dot{q}_i)) - (p_1 \dot{q}_1 - L(q_1, \dot{q}_1)), \quad (17)$$

$$H_1 = p_1 \dot{q}_1 - L(q_1, \dot{q}_1). \quad (18)$$

La suma de los  $H_i$  nos da el hamiltoniano total del sistema.

$$H = \sum_{i=1}^n H_i. \quad (19)$$

Los hamiltonianos recursivos deben cumplir la condición  $H_i(0) = 0$ , calculamos los hamiltonianos en funciones de las señales de control  $U_i$  para cada grado de libertad. El hamiltoniano  $H_i(q_i, p_i, U_i)$  calculado dependerá también de la señal de control  $U_i$ , se le aplicará el principio de mínimo o máximo de Pontryagin para obtener dos hamiltonianos, un máximo y un mínimo, por lo que se tendrán  $2n$  hamiltonianos,  $n$  serán máximos y  $n$  mínimos.

$$H_i(q_i, p_i, U_i) = H_i - b_i U_i. \quad (20)$$

Las señales de control  $U_i$  para el control bang-bang se obtienen a partir de los hamiltonianos de la siguiente manera

$$U_i = \text{if } H(e)_{1,i} > H(e)_{2,i} \text{ then } -1 \text{ else } 1$$

donde  $e_i = q_i - q_{ref\ i}$  es el error,  $q_{ref\ i}$  representa la referencia a donde se desea controlar cada grado de libertad  $q_i$  del sistema.

Este modelo se puede generalizar a péndulos esféricos, donde en cada unión se tienen dos grados de libertad  $\theta_i$  y  $\varphi_i$  como se muestra en la Figura 1. b). El lagrangiano correspondiente al péndulo esférico de  $2n$ -grados de libertad está dado por

$$L(\dot{\varphi}_n, \dots, \dot{\varphi}_1, \dot{\theta}_n, \dots, \dot{\theta}_1, \varphi_n, \dots, \varphi_1, \theta_n, \dots, \theta_1) = K - V, \quad (21)$$

$$K = K(\dot{\varphi}_n, \dots, \dot{\varphi}_1, \dot{\theta}_n, \dots, \dot{\theta}_1, \varphi_n, \dots, \varphi_1, \theta_n, \dots, \theta_1), \quad (22)$$

$$V = V(\varphi_n, \dots, \varphi_1, \theta_n, \dots, \theta_1). \quad (23)$$

El hamiltoniano total del sistema es

$$H = K + V. \quad (24)$$

Se tienen que calcular los hamiltonianos en cada unión,  $H_1$  corresponde al hamiltoniano de un péndulo esférico simple,  $H_2$  es el hamiltoniano de un péndulo esférico doble, así respectivamente se calculan los  $H_i$  de cada unión del sistema.

$$H_n = H_n(\dot{\varphi}_n, \dots, \dot{\varphi}_1, \dot{\theta}_n, \dots, \dot{\theta}_1, \varphi_n, \dots, \varphi_1, \theta_n, \dots, \theta_1),$$

$$H_{n-1} = H_{n-1}(\dot{\varphi}_{n-1}, \dots, \dot{\varphi}_1, \dot{\theta}_{n-1}, \dots, \dot{\theta}_1, \varphi_{n-1}, \dots, \varphi_1, \theta_{n-1}, \dots, \theta_1),$$

$$H_{n-2} = H_{n-2}(\dot{\varphi}_{n-2}, \dots, \dot{\varphi}_1, \dot{\theta}_{n-2}, \dots, \dot{\theta}_1, \varphi_{n-2}, \dots, \varphi_1, \theta_{n-2}, \dots, \theta_1),$$

$$\vdots$$

$$H_2 = H_2(\dot{\varphi}_2, \dot{\varphi}_1, \dot{\theta}_2, \dot{\theta}_1, \varphi_2, \varphi_1, \theta_2, \theta_1),$$

$$H_1 = H_1(\dot{\varphi}_1, \dot{\theta}_1, \varphi_1, \theta_1).$$

Todos los hamiltonianos que se calculan en cada unión  $H_i$  dependen de dos grados de libertad  $\theta_i$  y  $\varphi_i$ .

$$H_n = H - H_{n-1}, \quad (25)$$

$$H_{n-1} = H_{n-1} - H_{n-2}, \quad (26)$$

$$H_{n-2} = H_{n-2} - H_{n-3}, \quad (27)$$

$$\vdots$$

$$H_2 = H_2 - H_1, \quad (28)$$

$$H_1 = H_1. \quad (29)$$

Cada hamiltoniano  $H_i$  está relacionado con dos grados de libertad  $\theta_i$  y  $\varphi_i$ , cuando se tienen dos grados de libertad en cada unión vamos a separar el hamiltoniano  $H_i$  en otros dos hamiltonianos

$$H_i = H_{\varphi_i} + H_{\theta_i}. \quad (30)$$

En total se van a tener  $2n$  hamiltonianos del todo el sistema.

### III. RESULTADOS

En esta sección, aplicamos el control derivado de la transformada de Legendre, donde se implementa el control bang-bang a partir de calcular los hamiltonianos asociados al sistema a controlar. Se realizan simulaciones numéricas para un brazo manipulador de dos y cuatro grados de libertad a partir del modelo de un péndulo doble y un péndulo esférico doble, aplicando el método propuesto para el control bang-bang.

#### A. Péndulo doble

El lagrangiano asociado al péndulo doble es

$$L = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)l_2^2\dot{\theta}_2^2 + \frac{1}{2}m_1l_1^2\dot{\theta}_1^2 + m_1l_1l_2\dot{\theta}_1\dot{\theta}_2 \cos(\theta_2 - \theta_1) + (m_1 + m_2)gl_2 \cos(\theta_2) + m_1gl_1 \cos(\theta_1). \quad (31)$$

La ecuación de Euler-Lagrange de un sistema robótico o electromecánico está dada por

$$M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + G(q) = bU. \quad (32)$$

Calculando las matrices y los hamiltonianos asociados al péndulo doble.

$$I = \begin{pmatrix} (m_1 + m_2)l_2^2\dot{\theta}_2^2 & m_1l_1l_2 \cos(\theta_2 - \theta_1) \\ m_1l_1l_2 \cos(\theta_2 - \theta_1) & m_1l_1^2\dot{\theta}_1^2 \end{pmatrix}, \quad (33)$$

$$C = \begin{pmatrix} 0 & m_1l_1l_2 \dot{\theta}_1 \sin(\theta_2 - \theta_1) \\ -m_1l_1l_2 \dot{\theta}_2 \sin(\theta_2 - \theta_1) & 0 \end{pmatrix}, \quad (34)$$

$$G = \begin{pmatrix} (m_1 + m_2)gl_2 \cos(\theta_2) \\ m_1gl_1 \cos(\theta_1) \end{pmatrix}. \quad (35)$$

El hamiltoniano del péndulo doble es

$$H = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)l_2^2\dot{\theta}_2^2 + \frac{1}{2}m_1l_1^2\dot{\theta}_1^2 + m_1l_1l_2\dot{\theta}_1\dot{\theta}_2 \cos(\theta_2 - \theta_1) - (m_1 + m_2)gl_2 \cos(\theta_2) - m_1gl_1 \cos(\theta_1). \quad (36)$$

Al tener un sistema con dos grados de libertad se deben tener dos hamiltonianos, un hamiltoniano para cada señal de control. A partir de la transformada de Legendre se obtiene el hamiltoniano total del péndulo doble, por lo que se plantea resolver este problema utilizando el hamiltoniano recursivo. Un péndulo doble se puede ver que en el extremo es un péndulo simple, por lo que un hamiltoniano corresponde a un péndulo simple y el segundo hamiltoniano a la resta del hamiltoniano del péndulo doble menos el hamiltoniano del péndulo simple.

$$H_2 = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)l_2^2\dot{\theta}_2^2 + m_1l_1l_2\dot{\theta}_1\dot{\theta}_2 \cos(\theta_2 - \theta_1) - (m_1 + m_2)gl_2 \cos(\theta_2). \quad (37)$$

$$H_1 = \frac{1}{2}m_1l_1^2\dot{\theta}_1^2 - m_1gl_1 \cos(\theta_1). \quad (38)$$

Las funciones  $H_1$  y  $H_2$ , se les aplicará el principio de mínimo o de máximo de Pontryagin para obtener dos hamiltonianos, un máximo y un mínimo para cada función por lo que en total se tendrán cuatro hamiltonianos, donde también hay que tomar en cuenta la condición  $H_i(0) = 0$ .

$$H_{1\theta_1} = \frac{1}{2}m_1\dot{\theta}_1^2 - m_1gl_1(1 - \cos(e_1)) - b_1e_1 \quad U_1 = +1, \quad (39)$$

$$H_{2\theta_1} = \frac{1}{2}m_1\dot{\theta}_1^2 - m_1gl_1(1 - \cos(e_1)) + b_1e_1 \quad U_1 = -1, \quad (40)$$

$$H_{1\theta_2} = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)l_2^2\dot{\theta}_2^2 + m_1l_1l_2\dot{\theta}_1\dot{\theta}_2(1 - \cos(e_2 - e_1)) - (m_1 + m_2)gl_2(1 - \cos(e_2)) - b_2e_2 \quad U_2 = +1, \quad (41)$$

$$H_{2\theta_2} = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)l_2^2\dot{\theta}_2^2 + m_1l_1l_2\dot{\theta}_1\dot{\theta}_2(1 - \cos(e_2 - e_1)) - (m_1 + m_2)gl_2(1 - \cos(e_2)) + b_2e_2 \quad U_2 = -1. \quad (42)$$

Las señales de control se obtienen de la siguiente manera al evaluar los hamiltonianos (ver Figura 2 y 4).

$$U_1 = \text{if } H_{1\theta_1} > H_{2\theta_1} \text{ then } -1 \text{ else } 1 \\ U_2 = \text{if } H_{1\theta_2} > H_{2\theta_2} \text{ then } -1 \text{ else } 1$$

donde  $e_1 = \theta_1 - \theta_{ref1}$  y  $e_2 = \theta_2 - \theta_{ref2}$  son los errores,  $\theta_{ref1} = 20^\circ$  y  $\theta_{ref2} = 30^\circ$  corresponden a las referencias a donde se desea controlar el sistema (ver Figura 3 y 5).

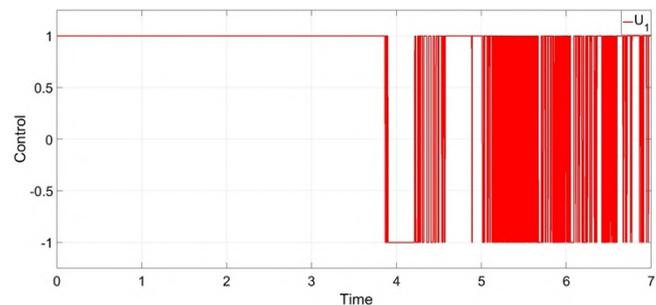


Figura 2. Control  $U_1$  para controlar el ángulo  $\theta_1$

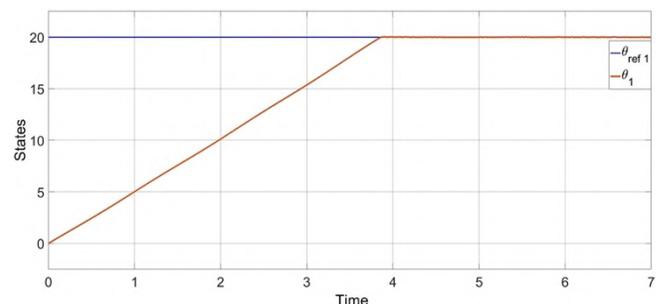
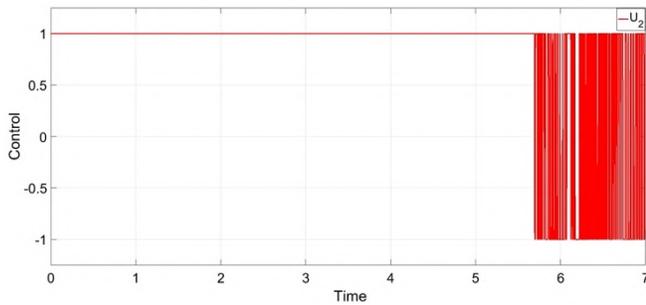
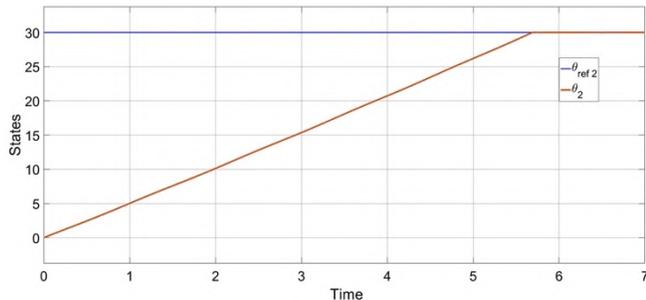


Figura 3. Evolución temporal del ángulo  $\theta_1$


 Figura 4. Control  $U_2$  para controlar el ángulo  $\theta_2$ 

 Figura 5. Evolución temporal del ángulo  $\theta_2$ 

### B. Péndulo esférico doble

El lagrangiano asociado al péndulo esférico doble es

$$L = K - V, \quad (43)$$

$$T = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)l_2^2(\dot{\theta}_2^2 + \dot{\phi}_2^2 \sin^2 \theta_2) + \frac{1}{2}m_1 l_1^2(\dot{\theta}_1^2 + \dot{\phi}_1^2 \sin^2 \theta_1) + m_1 l_1 l_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_1)(\dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 \cos \theta_1 \cos \theta_2 + \dot{\phi}_1 \dot{\phi}_2 \sin \varphi_1 \sin \varphi_2) + m_1 l_1 l_2 \sin(\varphi_2 - \varphi_1)(\dot{\theta}_2 \dot{\phi}_1 \cos \theta_2 \sin \theta_1 - \dot{\theta}_1 \dot{\phi}_2 \sin \theta_2 \cos \theta_1) + m_1 l_1 l_2 \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 \sin \theta_1 \sin \theta_2, \quad (44)$$

$$V = -(m_1 + m_2)gl_2 \cos \theta_2 - m_1 gl_1 \cos \theta_1. \quad (45)$$

El hamiltoniano del péndulo esférico doble es

$$H = K + V. \quad (46)$$

Las ecuaciones de movimiento se obtienen a partir del lagrangiano del sistema del péndulo esférico doble, mediante la transformada de Legendre se calcula el hamiltoniano total del sistema y de manera recursiva se van calculando los hamiltonianos en cada unión. El sistema tiene cuatro grados de libertad, a partir del hamiltoniano total  $H$  del sistema obtenemos cuatro hamiltonianos para cada de libertad, donde obtenemos

$$H_1 = \frac{1}{2}m_1 l_1^2 \dot{\theta}_1^2 - m_1 gl_1 \cos \theta_1, \quad (47)$$

$$H_2 = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)l_2^2 \dot{\theta}_2^2 + m_1 l_1 l_2 \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 \sin \theta_1 \sin \theta_2 + m_1 l_1 l_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_1)(\dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 \cos \theta_1 \cos \theta_2 + \dot{\phi}_1 \dot{\phi}_2 \sin \varphi_1 \sin \varphi_2)$$

$$+ m_1 l_1 l_2 \sin(\varphi_2 - \varphi_1)(\dot{\phi}_1 \dot{\theta}_2 \cos \theta_2 \sin \theta_1 - \dot{\phi}_2 \dot{\theta}_1 \sin \theta_1 \cos \theta_2) - (m_1 + m_2)gl_2 \cos \theta_2, \quad (48)$$

$$H_3 = \frac{1}{2}m_1 l_1^2 (\dot{\phi}_1^2 \sin^2 \theta_1), \quad (49)$$

$$H_4 = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)l_2^2 (\dot{\phi}_2^2 \sin^2 \theta_2). \quad (50)$$

Los hamiltonianos obtenidos  $H_1$ ,  $H_2$ ,  $H_3$  y  $H_4$  se le aplica el principio de mínimo o de máximo de Pontryagin para tener un máximo y un mínimo para cada función por lo que en total se tendrán ocho hamiltonianos, donde también hay que tomar en cuenta la condición  $H_i(0) = 0$ .

$$H_{1\theta_1} = \frac{1}{2}m_1 \dot{\theta}_1^2 - m_1 gl_1 (1 - \cos(e_1)) - b_1 e_1 \quad U_1 = +1, \quad (51)$$

$$H_{2\theta_1} = \frac{1}{2}m_1 \dot{\theta}_1^2 - m_1 gl_1 (1 - \cos(e_1)) + b_1 e_1 \quad U_1 = -1, \quad (52)$$

$$H_{1\theta_2} = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)l_2^2 \dot{\theta}_2^2 + m_1 l_1 l_2 \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 \sin e_1 \sin e_2 + m_1 l_1 l_2 (1 - \cos(e_4 - e_3))(\dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 \cos e_1 \cos e_2) + m_1 l_1 l_2 (1 - \cos(e_4 - e_3))(\dot{\phi}_1 \dot{\phi}_2 \sin e_3 \sin e_4) + m_1 l_1 l_2 \sin(e_4 - e_3)(\dot{\phi}_1 \dot{\theta}_2 \cos e_2 \sin e_1 - \dot{\phi}_2 \dot{\theta}_1 \sin e_1 \cos e_2) - (m_1 + m_2)gl_2 \cos e_2 - b_2 e_2 \quad U_2 = +1, \quad (53)$$

$$H_{2\theta_2} = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)l_2^2 \dot{\theta}_2^2 + m_1 l_1 l_2 \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 \sin e_1 \sin e_2 + m_1 l_1 l_2 (1 - \cos(e_4 - e_3))(\dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 \cos e_1 \cos e_2) + m_1 l_1 l_2 (1 - \cos(e_4 - e_3))(\dot{\phi}_1 \dot{\phi}_2 \sin e_3 \sin e_4) + m_1 l_1 l_2 \sin(e_4 - e_3)(\dot{\phi}_1 \dot{\theta}_2 \cos e_2 \sin e_1 - \dot{\phi}_2 \dot{\theta}_1 \sin e_1 \cos e_2) - (m_1 + m_2)gl_2 \cos e_2 + b_2 e_2 \quad U_2 = -1, \quad (54)$$

$$H_{1\varphi_1} = \frac{1}{2}m_1 l_1^2 (\dot{\phi}_1^2 \sin^2(e_1)) - b_3 e_3 \quad U_3 = +1, \quad (55)$$

$$H_{2\varphi_1} = \frac{1}{2}m_1 l_1^2 (\dot{\phi}_1^2 \sin^2(e_1)) + b_3 e_3 \quad U_3 = -1, \quad (56)$$

$$H_{1\varphi_2} = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)l_2^2 (\dot{\phi}_2^2 \sin^2(e_2)) - b_4 e_4 \quad U_4 = +1, \quad (57)$$

$$H_{2\varphi_2} = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)l_2^2 (\dot{\phi}_2^2 \sin^2(e_2)) + b_4 e_4 \quad U_4 = -1. \quad (58)$$

Las señales de control se obtienen de la siguiente manera al evaluar los hamiltonianos (ver Figuras 6, 8, 10 y 12).

$$U_1 = \text{if } H_{1\theta_1} > H_{2\theta_1} \text{ then } -1 \text{ else } 1$$

$$U_2 = \text{if } H_{1\theta_2} > H_{2\theta_2} \text{ then } -1 \text{ else } 1$$

$$U_3 = \text{if } H_{1\varphi_1} > H_{2\varphi_1} \text{ then } -1 \text{ else } 1$$

$$U_4 = \text{if } H_{1\varphi_2} > H_{2\varphi_2} \text{ then } -1 \text{ else } 1$$

donde  $e_1 = \theta_1 - \theta_{ref 1}$ ,  $e_2 = \theta_2 - \theta_{ref 2}$ ,  $e_3 = \varphi_1 - \varphi_{ref 1}$  y  $e_4 = \varphi_2 - \varphi_{ref 2}$  son los errores,  $\theta_{ref 1} = 25^\circ$ ,  $\theta_{ref 2} = 20^\circ$ ,  $\varphi_{ref 1} = 15^\circ$  y  $\varphi_{ref 2} = 30^\circ$  corresponden a las referencias a donde se desea controlar el sistema (ver Figuras 7, 9, 11 y 13).

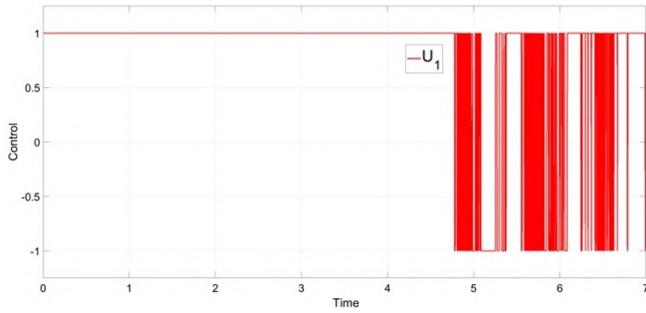


Figura 6. Control  $U_1$  para controlar el ángulo  $\theta_1$

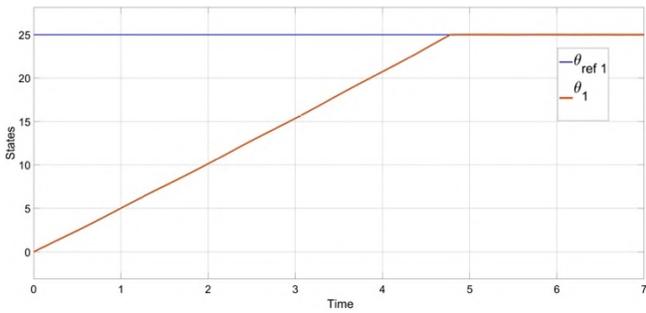


Figura 7. Evolución temporal del ángulo  $\theta_1$

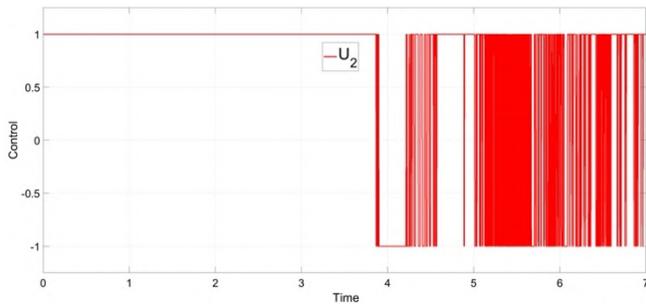


Figura 8. Control  $U_2$  para controlar el ángulo  $\theta_2$

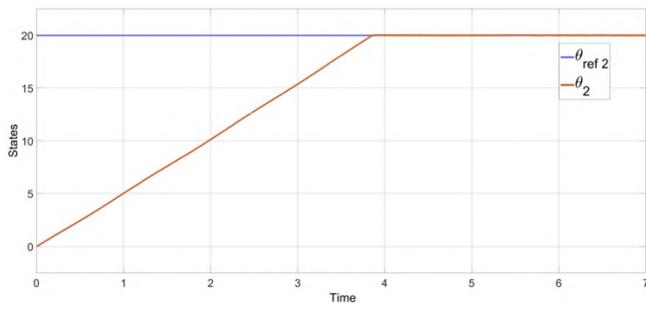


Figura 9. Evolución temporal del ángulo  $\theta_2$

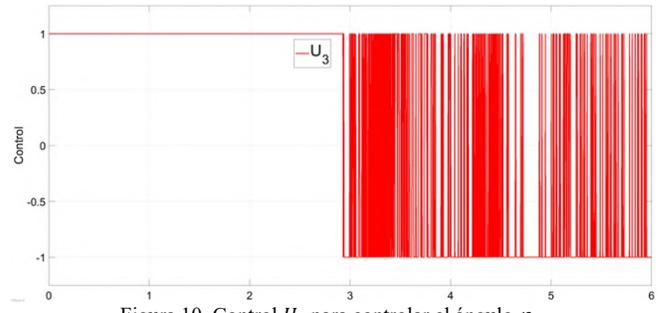


Figura 10. Control  $U_3$  para controlar el ángulo  $\varphi_1$

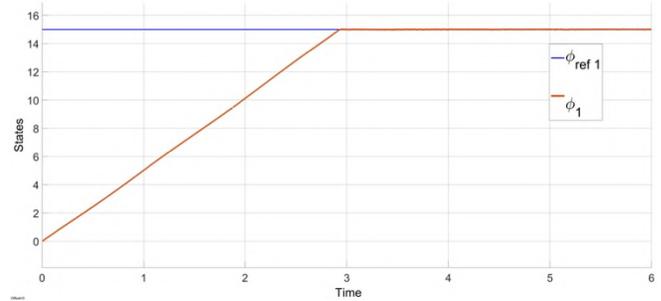


Figura 11. Evolución temporal del ángulo  $\varphi_1$

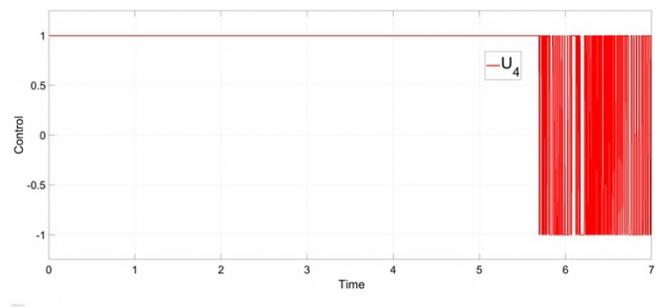


Figura 12. Control  $U_4$  para controlar el ángulo  $\varphi_2$

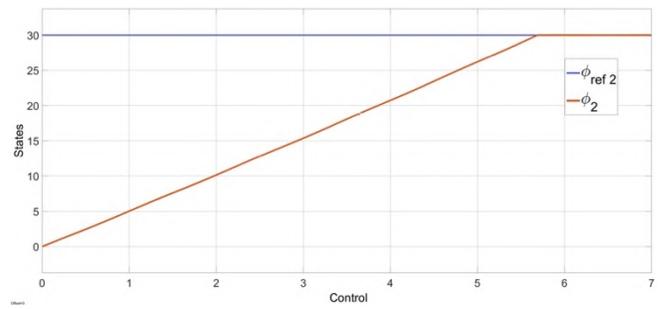


Figura 13. Evolución temporal del ángulo  $\varphi_2$

#### IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

##### A. Discusión

Existen varias formas de calcular funcionales de sistemas dinámicos, sin embargo no se ha generalizado un método para ello, el formalismo de Hamilton es deducido basándose en sistemas conservativos, aun cuando las ecuaciones se pueden forzar para encontrar hamiltonianos de algunos sistemas disipativos. El propósito de este trabajo es describir una nueva técnica del cálculo de funcionales tras observar las limitaciones que se presenta al proponer las funciones candidatas de Lyapunov para el control bang-bang para sistemas dinámicos muchos grados de libertad. Para ello hacemos uso de la teoría de Hamilton y la teoría de control de sistemas dinámicos, esto nos permite desarrollar y abordar el objetivo de crear un método a partir de la transformada de Legendre para el cálculo de los hamiltonianos de manera recursiva y logrando obtener un algoritmo que nos ayude a calcular el controlador del sistema de manera relativamente sencilla.

##### B. Conclusión

La dificultad que se presenta al utilizar este control para muchos grados de libertad es complejo debido a que se debe encontrar el tiempo mínimo de las funciones candidatas de Lyapunov. Con nuestro método logramos obtener esas funciones, calculando los hamiltonianos de manera recursiva y aplicando el principio de mínimo o máximo de Pontryagin que se utiliza en la teoría de control óptimo para encontrar el mejor control posible para llevar a un sistema dinámico de un estado a otro, logramos calcular los máximos y mínimos de las funciones de cada grado de libertad. Se implementó este método para un sistema de dos y cuatro grados de libertad, calculando los hamiltonianos correspondientes para así obtener las señales de control para cada grado de libertad, se realizaron simulaciones numéricas de este método propuesto logrando controlar los sistemas mediante el control bang-bang. En este trabajo, se muestra la importancia del hamiltoniano en la teoría de control, se centra para aplicaciones de brazos manipuladores de robots. Calculamos los hamiltonianos, la dinámica y los controladores aplicados, utilizando la teoría de Hamilton. Usando el método propuesto podemos calcular los hamiltonianos para cada unión de la articulación. Gracias a este método es posible calcular recursivamente los hamiltonianos e implementarlo para aplicaciones de control de brazos manipuladores de robots de  $n$ -grados de libertad. Como resultado, podemos aplicar controladores locales a cada articulación.

##### C. Recomendaciones

Las dificultades que se pueden presentar al realizar las simulaciones numéricas para sistemas dinámicos de muchos grados de libertad es el tiempo de cómputo. El control bang-bang es un control óptimo donde su principal característica es encontrar el tiempo mínimo para llevar a un sistema dinámico

de un estado a otro. Matemáticamente o dentro de un contexto informático puede que no haya problemas, pero la realización física de los sistemas de control bang-bang da lugar a varias complicaciones, es un controlador de 2 pasos (encendido y apagado) que cambia abruptamente entre dos estados, estos cambios de estados se realizan a frecuencias altas para mantener el sistema controlado, la implementación física puede estar limitado a las características del hardware utilizado.

#### V. AGRADECIMIENTOS

U. Uriostegui-Legorreta agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo financiero brindado durante la realización de este proyecto. Este trabajo ha sido parcialmente apoyado por la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMNSH), me brindó todo el apoyo durante mi estancia posdoctoral.

#### VI. REFERENCIAS

- [1] Kamien, M., Schwartz, N. (1991). "Discontinuous and Bang-Bang Control". *Dynamic Optimization: The Calculus of Variations and Optimal Control in Economics and Management*, 2nd ed, Amsterdam: North-Holland pp. 202-208.
- [2] Sonneborn, L., Van, F. (1965). "The Bang-Bang Principle for Linear Control Systems". *SIAM J. Control*, Vol. 2 pp.151-159.
- [3] Artstein, Z. (1980). "Discrete and continuous bang-bang and facial spaces, or: Look for the extreme points". *SIAM Review*, Vol. 22(2) pp. 172-185.
- [4] Marion, J.B. (1950). *Classical Dynamics of Particles and Systems*, 5nd ed. Thomson pp. 228-271.
- [5] Mendoza, S. (2012) "Hamiltonianos en sistemas disipativos" Tesis de Licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- [6] Goldstein, H. (2002). *Classical Mechanics*, 3rd ed., Ed. Addison Wesley pp. 334-355.
- [7] Uriostegui, U. (2020) "Métodos Geométricos para Hamiltonianos Generalizados y Transformadas Integrales" Tesis de Doctorado. Departamento de Ingeniería Eléctrica Control Automático, CINVESTAV, Unidad Guadalajara.

#### VII. BIOGRAFÍA



**Uriostegui-Legorreta Ulises.** Nació en Lázaro Cárdenas Michoacán el 15 de enero de 1990. Licenciado en Ciencias Físico Matemáticas por la UMSNH, Morelia Michoacán en 2013. Maestro en Ciencias en Ingeniería Física por la UMSNH, Morelia Michoacán en 2015. Doctorado en Ingeniería Eléctrica con especialidad en Control Automático por el CINVESTAV Unidad Guadalajara Jalisco en 2020. Actualmente realiza estancia posdoctoral en el Posgrado en Ciencias en Ingeniería Física en la UMSNH donde se encuentra trabajando, junto a otros investigadores en la línea de investigación de Modelado en la cual se desarrolla dinámica no lineal y caos. Su línea de investigación es: robótica, control no lineal, sistemas dinámicos y caos.

# Diseño de un prototipo de un HomBot para videovigilancia usando IoT

J. I. Vega-Luna<sup>1</sup>, V. N. Tapia-Vargas<sup>1</sup>, G. Salgado-Guzmán<sup>1</sup>, F. J. Sánchez-Rangel<sup>1</sup>, J. F. Cosme-Aceves<sup>1</sup>

**Resumen**—Con la *IoT* y la tecnología actual surgen los *homBot* comerciales, posibilitando que los hogares sean más limpios y saludables. El objetivo de este trabajo fue usar el concepto de *IoT* para diseñar un prototipo de un *homBot* para videovigilancia de un laboratorio. Cuando detecta la presencia de personas u objetos en el recorrido del laboratorio, transmite un mensaje a la plataforma *slack* y captura una fotografía que transmite al correo electrónico del usuario. Se utilizó un módulo embebido *Raspberry Pi Zero W* para el acceso a Internet y una cámara *Raspberry Pi* de 5 Megapíxeles con un lente de enfoque fijo, ambos ubicados en una plataforma móvil robótica experimental construida previamente. El módulo *Raspberry Pi Zero W* se programó con *MicroPython*. El usuario puede visualizar los mensajes enviados por el *homBot* a *slack* desde la aplicación que se ejecuta en una computadora o en un dispositivo móvil. Se realizaron pruebas para determinar el alcance de la comunicación del *homBot* al punto de acceso WiFi a la Internet. Los resultados mostraron que el alcance fue 32 metros con línea de vista usando la antena integrada al dispositivo embebido y 73 metros con una antena externa conectada.

**Palabras claves**—*HomBot*, *icroPython*, *Raspberry Pi*, videovigilancia, WiFi

**Abstract**—With the *IoT* and current technology, commercial *homBots* are emerging, making cleaner and healthier homes possible. The objective of this work was to use the *IoT* concept to design a prototype of a *homBot* for video surveillance of a laboratory. When it detects the presence of people or objects in the laboratory path, it transmits a message to the *slack* platform and captures a photograph that it transmits to the user's email. A *Raspberry Pi Zero W* embedded module was used for Internet access and a 5 Megapixel *Raspberry Pi* camera with a fixed focus lens, both located on a previously built experimental robotic mobile platform. The *Raspberry Pi Zero W* module was programmed with *MicroPython*. The user can view messages sent by the *homBot* to *slack* from the application running on a computer or mobile device. Tests were performed to determine the communication range of the *homBot* to the WiFi access point to the Internet. The results showed that the range was 32 meters with line of sight using the antenna integrated to the embedded device and 73 meters with an external antenna connected.

**Keywords**—*HomBot*, *MicroPython*, *Raspberry Pi*, video surveillance, WiFi

## I. INTRODUCCIÓN

Con la *IoT* (*IoT-Internet Of Things*) y la tecnología actual surgen los robots para el hogar inteligente, con una nueva denominación: *homBot*, especialmente aquellos que permiten que los hogares sean más limpios, saludables y cómodos para las familias. Es donde la mayoría de las empresas robóticas ven hacia dónde dirige la industria [1]. Por otro lado, la Internet es una red de computadoras a nivel mundial, que permiten intercambiar información entre ellas, a través de conexiones alámbricas, inalámbricas u ópticas utilizando el protocolo común *TCP/IP*, las normas de este protocolo establecen la forma en que transitan los datos por la red. Son muchas las ventajas que presenta el uso de la Internet, entre las cuales se encuentran: que es administrada por organizaciones sin ánimo de lucro, es abierta e independiente, y su acelerado crecimiento y flexibilidad son la clave que permite desarrollar aplicaciones de *IoT* [2].

La *IoT* es una red de dispositivos que se comunican entre sí sin ninguna intervención humana, usando la Internet. Los dispositivos crean, modifican, eliminan, envían y reciben datos entre sí por su cuenta, los cuales se utilizan para la toma de decisiones. En la nueva era de la *IoT* se recopila gran cantidad de datos que ingresan en algoritmos y sistemas artificialmente inteligentes en las dispositivos o cosas que están conectadas a la Internet como: computadoras, luces de habitaciones, refrigeradores, teléfonos inteligentes, punto de conexión electrónicos comerciales e industriales, interactúan para transmitir o recopilar datos. Al mismo tiempo con la *IoT*, surge la generación conectada de hoy en día como la *tecnología vestible* (*wearable technology*) que permite un número creciente de casos de uso: relojes inteligentes, relojes deportivos, rastreadores de actividad física, incluidos el pago electrónico, el acceso, el seguimiento de la salud, la educación y los juegos. Estos dispositivos y aplicaciones pueden activar notificaciones personalizadas o enviar alertas a los servicios conectados. Además, los *wearables* incorporan seguridad reforzada para que los usuarios no tengan que preocuparse por los datos personales o confidenciales [3]-[4].

De esta forma, el desarrollo tecnológico actual de la microelectrónica, inteligencia artificial y visión por

<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.

computadora [5],[6] proporciona conectividad de gran ancho de banda, precisión de medición, de baja energía y estabilidad. Esto permite la automatización para la toma de decisiones con módulos embebidos de las familias *Raspberry Pi*, *Arduino*, *ESP32* y tarjetas similares, diseñadas para controlar dispositivos y cosas con el objetivo de conectarlos a la Internet vía *IoT* y favorecer el acceso a ellas desde cualquier parte del mundo. También, se agrupan microcontroladores eficaces con transceptores inalámbricos, que operan convenientemente con los protocolos de *IoT*, terminales de propósito general de entrada/salida (*GPIO-General Purpose Input Output*) programables e interfaces de comunicación que reconocen diferentes tipos de sensores y actuadores. Estos módulos permiten usar sistemas operativos y lenguajes de programación de código abierto, que facilitan al usuario el desarrollo de aplicaciones enfocadas a la *IoT* de manera eficiente y rápida [7].

En la mayoría de la comunicación de los dispositivos basados en la *IoT* se ocupa el esquema cliente-servidor en el que la comunicación usa los protocolos *IP* y *HTTP* para solicitar una página web, *FTP* cuando un cliente se conecta a un servidor de archivos y *TCP* y *UDP* para la transmisión de información. *UDP* se usa para videollamadas o llamadas de voz, donde se requiere una gran cantidad de datos transmitidos, mientras que *TCP* se usa para solicitudes *HTTP* o acciones similares, cada uno de ellos ocupa bastantes bytes para funcionar correctamente lo que implica eventualmente consumo de energía. Los protocolos de comunicación diseñados específicamente para *IoT* permiten el uso de hardware de bajo consumo de energía; por ejemplo, las redes *LPWAN (Low-Power Wireless Personal Area Networks)*, usan un protocolo de red diseñado con mecanismos de compresión de encabezado y encapsulación para la automatización que permite comunicarse con dispositivos a través de una red inalámbrica de baja potencia y con otros protocolos como *Ethernet* o *WiFi* [8].

Por otro lado, los bots denominados *homBots* son bastante populares y evidentemente útiles en el hogar, principalmente como auxiliares en quehaceres de limpieza, como los siguientes: *ROKUBOT* esteriliza el hogar, elimina el 99.9 % de bacterias, gérmenes y ácaros. La aspiradora robótica *iRobot Bravva jet 240* es un robot trapeador para ayudar a limpiar varios tipos de pisos y suciedad. El robot *Gladwell Gecko* es un limpiador de ventanas grandes y altas. La succión lo mantiene unido a la ventana, mientras que la inteligencia artificial ayuda a ubicar los bordes de las ventanas. *Grillbot* en la cocina realiza la limpieza automática de parrillas. *Worx Landroid*, con la misma tecnología que las aspiradoras robóticas, corta el césped y cuenta con sensores de lluvia que lo protegen cuando cambia el clima [9],[10].

Cuando el aprendizaje remoto se generalizó durante la pandemia del COVID-19, las escuelas y las familias tuvieron

que ser creativas rápidamente [11]. Uno de los mayores desafíos fue encontrar formas atractivas de conectarse con los niños y mantener sus mentes en crecimiento, por lo que estos robots permiten contribuir a esta conexión. Dentro de los robots educativos, destacan 1) *LEGO Education SPIKE Prime*, que ayuda al niño a aprender codificación, resolución de problemas y diseño creativo, 2) *Miko 2*, es un pequeño robot que puede escuchar, hablar y relacionarse con niños utilizando una variedad de voces, algoritmos y señas, 3) *Búho*, que físicamente no está en casa y el niño puede tener experiencia con él a través del aprendizaje electrónico y por último 4) *Wigl*, el pequeño robot con aspecto de insecto que baila basándose en las notas musicales y fue creado para inspirar a los niños a una edad temprana a ingresar a la robótica y la ingeniería. Estos y otros robots de telepresencia similares, están brindando a los maestros la capacidad de mejor una experiencia en el aula incluso cuando sus estudiantes están a distancia. Otros desarrollos de robots están dedicados a vigilancia y monitoreo de parámetros de control de sistemas ubicados en locación remota, en posición fija, los robots móviles se diseñan para realizar recorridos programados, a fin de evaluar parámetros [12],[14].

El desarrollo con asistentes de voz e *IoT* llevados a cabo durante los últimos años, son eminentemente comerciales, se puede conseguir una cantidad significativa de aplicaciones en distintos campos de la sociedad, entre los que se encuentran: el cuidado de la salud y hospitales [15],[17], monitoreo de personas [18] y en casas y ciudades inteligentes [19], entre otras. Pocos trabajos realizados se han dirigido a la enseñanza y educación o al monitoreo de hogares y oficinas.

El objetivo del trabajo presentado es usar el concepto de *IoT* para diseñar un prototipo de *homBot* usando un módulo embebido *Raspberry Pi Zero W* con acceso a Internet y una cámara de video, ambos ubicados en una plataforma robótica experimental de 4 ruedas previamente construida y controlada con un módulo *Arduino*. La función del prototipo es realizar la videovigilancia remota de un laboratorio y el envío automático de mensajes al personal que esté realizando trabajo desde casa, o en un lugar distinto de la oficina, detectando la presencia de una persona u objeto en la ruta recorrida.

Comúnmente, la forma con la cual el usuario envía mensajes, o habla con un *homBot*, es mediante una página web usada como interface de usuario, desarrollada como una aplicación. Una de ellas es *slack*, la cual es una aplicación de mensajería usada para conectar a empleados de empresas con el fin de acceder a la información que necesitan, conectándolas de forma tal que integren un equipo productivo. *Slack* proporciona un conjunto *APIS* y funciones que permiten enviar mensajes y alertas a una aplicación que se ejecuta en una computadora o en un dispositivo móvil desde un equipo digital como un *homBot*.

## II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

El sistema se implementó con un módulo embebido y un dispositivo de captura de video con una cámara de alta definición. La alimentación del sistema se realiza con un banco de baterías recargables, como se muestra en la Figura 1.

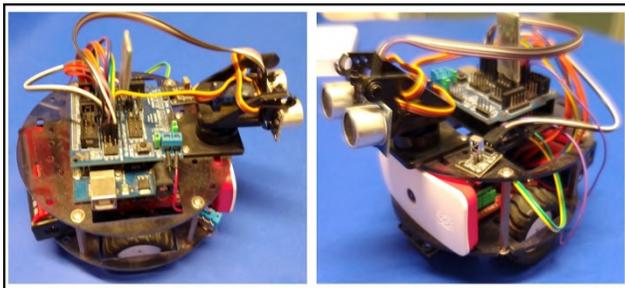


Figura 1. HomBot desarrollado  
Fuente Elaboración propia

Para el diseño del sistema con acceso a la internet, se eligió el módulo embebido *Raspberry Pi Zero W*, programado con *MicroPython*, por la facilidad para establecer la conexión Internet, además de admitir conectar con el protocolo *HDMI* un monitor externo, o una pantalla de TV. Para la captura de video e imágenes fijas se utilizó el módulo V1.3, compatible con el módulo anterior. El *homeBot* recorre periódicamente la ruta en el laboratorio marcada con una línea obscura. La línea está libre de obstáculos al frente y a los lados a una distancia de 30 centímetros.

### A. El módulo embebido *Raspberry Pi Zero W*

Se usó el módulo *Raspberry Pi Zero W* (Figura 2), para el desarrollo del sistema, ya que es apropiado para aplicaciones de *IoT* por sus características de: codificación de voz, transmisión de video HD de 1080P, audio estéreo en tiempo real y manejo de redes de sensores de bajo consumo de energía. Este módulo consiste en una tarjeta que integra un procesador *RISC ARM Broadcom BCM2835* con un núcleo de 32 bits a 1 GHz, usa voltaje de polarización de 3.3 V, consume en reposo 0.6 W @ 120 mA y a pleno rendimiento 1.19 W @ 230 mA. Incorpora las interfaces mediante las cuales el ARM puede acceder de forma segura los dispositivos periféricos del sistema diseñado: salidas mini *HDMI*, micro USB y alimentación, conector *CSI* para cámara de video, temporizadores, controlador de interrupciones, USB, controlador de *DMA*, maestro *I2C*, esclavo *I2C/SPI*, *SPI0*, *SPI1*, *SPI*, *PWM*, *UART* e interfaces para memoria *SD*, así como *LAN* inalámbrica 802.11 b/g/n (802.11n hasta 150 Mbps), *Bluetooth Classic v4.1* y *Bluetooth LE*. Adicionalmente, el módulo embebido cuenta con 40 terminales *GPIO* y memoria *RAM* de 512 MB. Es en sí una computadora que permite programar fácilmente las

terminales *GPIO*, algunas de ellas usadas para la interfaz de sensores y actuadores, a través del uso de diferentes lenguajes disponibles en sistemas operativos basados en algunas distribuciones de *Linux*, como por ejemplo *Raspbian*.

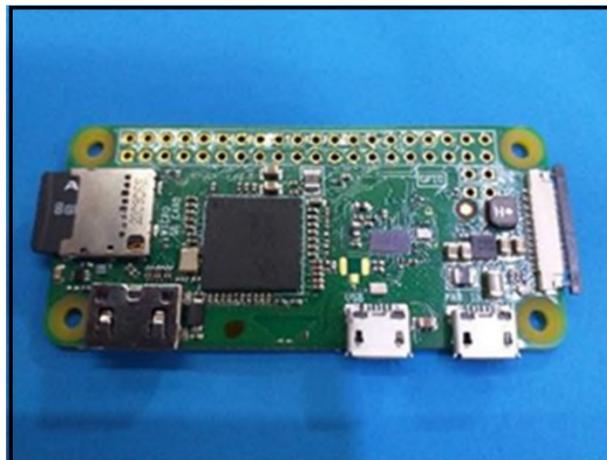


Figura 2. Módulo Raspberry usado en el homBot  
Fuente: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-zero-2-w/>

### B. Dispositivo de captura de video

Se utilizó el módulo de cámara V 1.3 (Ver Figura 3), el cual posee un sensor de resolución nativa de 5 Megapíxeles compatible con *Raspberry Pi*.



Figura 3. Módulo de cámara V 1.3 usado en el homBot

Fuente:  
<https://www.raspberrypi.com/documentation/accessories/camera.html>

Esta cámara, cuenta con un lente de enfoque fijo para imágenes estáticas de 2592 x 1944 píxeles y video de 1080p30, 720p60 y 640x480p60/90. Utiliza la interfaz *CSI* para la conexión con *Raspberry Pi*. El bus *CSI* permite a la cámara lograr velocidades de datos de píxeles extremadamente altas hacia el procesador *BCM2835* y es compatible con la última versión de *Raspbian* usando una

interfaz de salida paralela 32 bytes de memoria programable de una sola vez (*OTP-One Time Programmable*). La cámara es usada por el *homBot* para capturar la imagen al detectar la presencia de una persona u objeto en su ruta, lo cual se lleva a cabo por medio de la función *camera.capture* de la biblioteca de código abierto *PiCamera*.

Se implementó el banco de poder recargable *MA-54*, el cual posee una capacidad de 40,000 mAh, con un consumo de carga de 5 V/1.5 A y dos salidas, una de 5 V/1 A y otra de 5 V/2 A.

### C. Comunicación cliente-servidor

La comunicación entre dos dispositivos o un servidor, conectados a la internet se realiza mediante *sockets* en configuración *cliente-servidor*, en el que un *cliente*, puede identificar al servidor, para enviarle datos y eventualmente obtener respuesta. Para la programación del módulo embebido se usó *Python*, aprovechando su simpleza de uso y la gran cantidad de plataformas disponibles y bibliotecas de funciones de código abierto. La combinación de una dirección *IP* y un puerto definen un servidor específico en todo el mundo, al cual se puede acceder. Esto permite el envío del correo electrónico al usuario con la imagen capturada por el *homeBot*, usando las bibliotecas de funciones de código abierto *socket* y *smtplib*. El correo es enviado desde una cuenta de *Gmail* utilizando las funciones *server.login* y *server.sendmail*.

La aplicación cliente, es una aplicación sencilla, en un teléfono móvil que se conecta a un servidor existente y envía un mensaje, para después recibir la respuesta del servidor y mostrarse en la pantalla del teléfono. Como cliente, también se puede tener al móvil. Es sustancial que la comunicación cliente-servidor puedan enviar y recibir datos. Por lo que se implantó comunicación avanzada cliente-servidor con llamadas de *API* y otras bibliotecas programadas del lado del servidor con la tarjeta *Raspberry Pi Zero W*.

### D. Cliente avanzado

El cliente es en realidad la aplicación de *slack* que ejecuta el usuario. La plataforma de la aplicación *slack* proporciona un kit de desarrollo de software (*SDK-Software Development Kit*) mediante el cual la programación en *Python* del *homBot* envía las notificaciones a la plataforma usando *API*. Al detectar la presencia de personas u objetos, el *homBot*, adicionalmente el envío de la imagen capturada transmite un mensaje de alerta a la plataforma de *slack*, el cual puede visualizar el usuario en la aplicación que se ejecuta en una computadora o dispositivo móvil. En esta parte de la programación se utilizó la función *slack\_sdk.web* del *SDK*. El uso de *slack* en el teléfono móvil implicó descargar e instalar la aplicación y crear un equipo, o grupo de trabajo, para recibir las notificaciones y alertas enviadas por el *homBot*,

para este proyecto, el cliente no envía mensajes al servidor. En la Figura 4 se muestra la pantalla de un teléfono móvil donde se ejecuta la aplicación *slack* y en la cual se reciben las notificaciones del *homBot*.



Figura 4. Captura de pantalla de un teléfono móvil ejecutando la aplicación *slack* para recibir los mensajes del *homBot*

## III. RESULTADOS

Se consiguió integrar los dispositivos de hardware en el sistema diseñado, programado con *Python*, para establecer la configuración cliente servidor y la página web para activarlo como *homBot*. A pesar de que no se encuentran normalmente personas u objetos a 30 centímetros, o menos, del *homBot*, la cámara permite detectar obstáculos a una distancia máxima de 1.8 metros aproximadamente.

La comunicación inalámbrica del *homBot* se realiza por medio de la interface WiFi del módulo embebido *Raspberry Pi Zero W*, para acceder a la Internet a través de un punto de acceso. Se realizaron dos conjuntos de pruebas que tuvieron como objetivo medir el alcance de la comunicación WiFi con la antena integrada del módulo y una antena eterna. Para llevar a cabo estas pruebas, se ubicó el *homBot* a diferentes distancias del punto de acceso y se ejecutó un programa en el *Raspberry* que accede continuamente el sitio web de la ampliación *slack* para obtener nivel de la potencia de la señal WiFi recibida (*RSSI-Received Signal Strength Indicator*) desde el punto de acceso, usando la biblioteca de funciones *rssi*. En el primer conjunto de pruebas se utilizó la antena que tiene integrada la tarjeta del *Raspberry* y transmitir con línea de vista al punto de acceso a una velocidad de 100 Mbps. Los resultados indicaron que alcance de la comunicación es 32 metros y el nivel *RSSI* fue -60 dBm. A distancias mayores a 32 metros la potencia decreció aceleradamente hasta perder

el enlace. En la figura 5, se muestra la gráfica que comprueba este hecho. En el segundo conjunto de pruebas se usó una antena externa conectada a la tarjeta del *Raspberry* transmitiendo a la misma velocidad del conjunto anterior y el alcance logrado fue 73 metros, siendo el nivel *RSSI* -70 dBm.

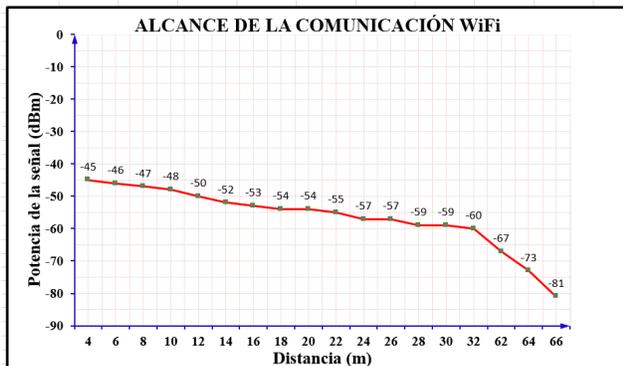


Figura 5. Alcance de la comunicación WiFi del homBot usando la antena integrada del módulo Raspberry

El sistema consume a plena carga, en promedio, 450 mA. El último grupo de pruebas tuvo como objetivo determinar la duración de la batería. Para realizar estas pruebas se realizó una rutina que mantiene al *homBot* en movimiento continuo circular y lee cada hora el voltaje de la batería por medio de un canal del *ADC* del módulo *Raspberry*, registrando en un archivo de la memoria *SD* tanto el tiempo transcurrido desde el inicio del movimiento como el valor de voltaje. Los resultados mostraron que la batería puede alimentar al sistema aproximadamente 48 horas continuas, transcurrido este tiempo, el *homBot* se detuvo cuando el voltaje de la batería cae a los 3.05 V. (Ver figura 6)

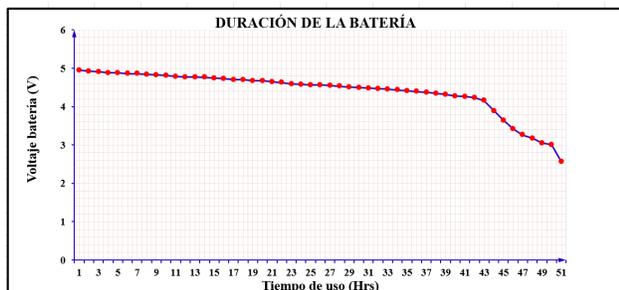


Figura 6. Duración de la batería

En la Figura 7a, se muestra una fotografía del *homBot* y en la Figura 7b una imagen capturada al detectar un obstáculo.

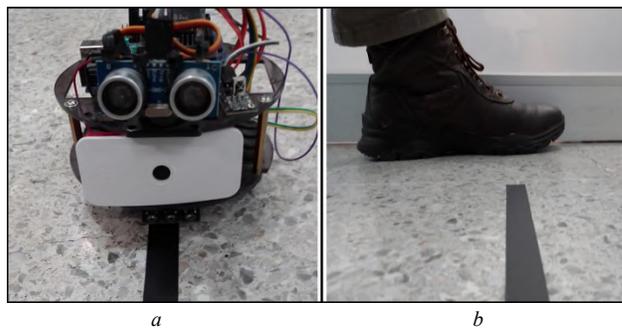


Figura 7. a)-Fotografía del homBot b)-Imagen capturada al detectar un obstáculo

#### IV. Discusión, Conclusión Y Recomendaciones

Se concluye que, el sistema obtenido es una buena opción como herramienta didáctica, para comprender los conceptos de la *IoT* y generar prototipos de *homBot's*. Se tiene planeado realizar una siguiente versión de este trabajo usando otro módulo *Raspberry* con más recursos para permitir disponer de mayor cantidad de respuestas en la comunicación entre el *homBot* y el usuario. Como complemento en domótica, se empleará la tarjeta *Raspberry Pi Zero W* y un sensor de temperatura y humedad *DHT11*. Es fácil configurar con la biblioteca de funciones proporcionada por el fabricante del sensor, ya que consta de solo tres terminales, uno para tierra, uno para los 5 V y el último para la señal que se conecta a una terminal *GPIO* apropiada de la tarjeta *Raspberry Pi*.

#### V. REFERENCIAS

- [1] Ackerman, E. y Guizzo, E. (2020). "A robot that keeps it simple: Hello robot wants to reinvent how autonomous machines perform tasks at home," in *IEEE Spectrum*, vol. 57, no. 10, pp. 11-11.
- [2] Kim, U. y Kim, J. (2020). "A Stabilized Feedback Episodic Memory (SF-EM) and Home Service Provision Framework for Robot and IoT Collaboration," in *IEEE Transactions on Cybernetics*, vol. 50, no. 5, pp. 2110-2123.
- [3] Zhou, H.; Yang, G.; Huang L. H.; Yang, H. y Pang. Z. (2020). "IoT-Enabled Dual-Arm Motion Capture and Mapping for Telerobotics in Home Care," in *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, vol. 24, no. 6, pp. 1541-1549.
- [4] Huang, J.; Tu, X. y He, J. (2016). "Design and Evaluation of the RUPERT Wearable Upper Extremity Exoskeleton Robot for Clinical and In-Home Therapies," in *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, vol. 46, no. 7, pp. 926-935.
- [5] Gómez, L. V. y Miura, J. (2021). "Ontology Learning of New Concepts Combining Textural Knowledge, Visual Analysis, and User Interaction," in *IEEE Access*, vol. 9, pp. 146023-146037.
- [6] Lv, Y.; Fang, Y.; Chi, W.; Chen, G. y Sun, L. (2021). "Object Detection for Sweeping Robots in Home Scenes (ODSR-IHS): A Novel Benchmark Dataset," in *IEEE Access*, vol. 9, pp. 17820-17828.
- [7] Tanaka, Y.; Morie, T. y Tamukoh, H. (2020). "An Amygdala-Inspired Classical Conditioning Model Implemented on an FPGA for Home Service Robots," in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 212066-212078.
- [8] Hu, K.; Gu, C. y Chen, J. (2022). "LTrack: A LoRa-Based Indoor Tracking System for Mobile Robots," in *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 71, no. 4, pp. 4264-4276.
- [9] Hazas, M. (2021). "Roombas and Landroids: Do Domestic Service Robots Save Energy?," in *IEEE Pervasive Computing*, vol. 20, no. 2, pp. 54-57.

- [10] Do, H. M.; Welch, K. C. y Sheng, W. (2022). "SoHAM: A Sound-Based Human Activity Monitoring Framework for Home Service Robots," in *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, a ser publicado.
- [11] Pang, G.; Yang, G. y Pang, Z. (2021). "Review of Robot Skin: A Potential Enabler for Safe Collaboration, Immersive Teleoperation, and Affective Interaction of Future Collaborative Robots," in *IEEE Transactions on Medical Robotics and Bionics*, vol. 3, no. 3, pp. 681-700.
- [12] Herrero, R. P.; Fentanes, J. P. y Hanheide, M. (2018). "Getting to Know Your Robot Customers: Automated Analysis of User Identity and Demographics for Robots in the Wild," in *IEEE Robotics and Automation Letters*, vol. 3, no. 4, pp. 3733-3740.
- [13] Sabnis, A.; Dwaracherla, V. y Vachhani, L. (2016). "Probabilistic Approach for Visual Homing of a Mobile Robot in the Presence of Dynamic Obstacles," in *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 63, no. 9, pp. 5523-5533.
- [14] Akabane, R. y Kato, Y. (2021). "Pedestrian Trajectory Prediction Based on Transfer Learning for Human-Following Mobile Robots," in *IEEE Access*, vol. 9, pp. 126172-126185.
- [15] Booth, K. E. C.; Mohamed, S. C.; Rajaratnam, S.; Nejat, G. y Beck, J. C. (2017). "Robots in Retirement Homes: Person Search and Task Planning for a Group of Residents by a Team of Assistive Robots," in *IEEE Intelligent Systems*, vol. 32, no. 6, pp. 14-21.
- [16] Tröbinger, M. et al. (2021). "Introducing GARMi-A Service Robotics Platform to Support the Elderly at Home: Design Philosophy, System Overview and First Results," in *IEEE Robotics and Automation Letters*, vol. 6, no. 3, pp. 5857-5864.
- [17] Iglesias, A. et al. (2021). "Extending the Evaluation of Social Assistive Robots With Accessibility Indicators: The AUSUS Evaluation Framework," in *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, vol. 51, no. 6, pp. 601-612.
- [18] Pinheiro, P. R. et al. (2020). "Integration of the Mobile Robot and Internet of Things to Monitor Older People," in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 138922-138933.
- [19] Miandashti, F. J.; Izadi, M.; Shirehjini, A. A. N. y Shirmohammadi, S. (2022). "An Empirical Approach to Modeling User-System Interaction Conflicts in Smart Homes," in *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, vol. 50, no. 6, pp. 573-583.



**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.



**Sánchez Rangel Francisco Rangel.** 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.



**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.

## 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 y sistemas operativos. El M. en C. Vega realiza investigación con redes inalámbricas de sensores y actuadores.



**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, robótica e IoT.

# Modificación del modelo cinemático de el Mars Rover para adaptación terrestre utilizando las toolboxes: Robotics System y Simscape, en MATLAB

M. A. Corrales-Arreola<sup>1</sup>, R. Juarez-Del-Toro<sup>1</sup>, J. M. Arzola-Monreal<sup>1</sup>

**Resumen-**En la industria minera es indispensable el uso de cargas explosivas que permiten la perforación de túneles mediante la detonación de los petardos. El tipo de yacimiento minero es determinante para caracterizar el tipo de superficie y equipo que se utiliza en su explotación. Actualmente, la perforación minera se realiza con equipo complejo de grandes dimensiones, operado por seres humanos, en un ambiente de alto riesgo, en parte por la manipulación de cargas explosivas. En este trabajo se propone el diseño de un vehículo robótico autónomo a escala mínima, que permita la entrada a la mina y alcance la posición deseada para la elaboración del barreno y la colocación de la carga explosiva; lo anterior, a través de un brazo robótico de cinco grados de libertad. El desempeño en este reto de automatización del seguimiento de trayectoria será mostrado a través de una simulación en la herramienta MATLAB.

**Palabras clave:** barreno, robot minero, simulación

**In the mining industry, the use of explosive charges that allow the drilling of tunnels by detonating firecrackers is essential. The type of mining deposit is decisive to characterize the type of surface and equipment used in its exploitation. Currently, mining drilling is carried out with complex equipment of large dimensions, operated by human beings, in a high-risk environment, in part due to the handling of explosive charges. This work proposes the design of an autonomous robotic vehicle on a minimum scale, which allows the entrance to the mine and reaches the desired position for the elaboration of the hole and the placement of the explosive charge; the above, through a robotic arm with five degrees of freedom. The performance in this trajectory tracking automation challenge will be shown through a simulation in the MATLAB tool.**

**Keywords:** blast-hole, mining robot, simulation

## I. INTRODUCCIÓN

La industria minera, a pesar de los desarrollos tecnológicos introducidos para humanizar sus procesos, aún se caracteriza por la ejecución de tareas que exigen a los trabajadores elevadas de cargas de trabajo físico y que en muchos casos no son adecuadas [1] ni seguras.

Las tareas de perforación de frente y limpieza presentaron un nivel de riesgo alto según la ERIN, que es un método observacional desarrollado para que personal evalúe

individuos expuestos a factores de riesgo sus siglas significan Evaluación del Riesgo Individual. Mientras que, en las tareas desatado de rocas, sostenimiento, perforación de frente y voladura [2]. El principal equipo de perforación de roca utilizado en la mina es del tipo neumático. Aunque estos equipos son simples y confiables, tienen baja eficiencia de perforación, baja automatización y malas condiciones de trabajo. Los equipos neumáticos cuentan con una capacidad para perforar agujeros profundos y grandes, por lo que puede no satisfacer las necesidades de la minería de alta precisión y de pequeños parámetros estructurales [3].

La robótica consiste en el diseño de sistemas. Actuadores de locomoción, manipuladores, sistemas de control, sensores, fuentes de energía, software de calidad, todos estos subsistemas tienen que ser diseñados para trabajar conjuntamente en la consecución de la tarea del robot. [4]. Cada día la robótica permite completar tareas donde la exposición a riesgos para los humanos es muy alta en el manejo de materiales peligrosos como en centrales nucleares, o en caso de la minera existen diferentes tipos de robots de apoyo o maquinaria pesada, que identifican cámaras de gases peligrosos, estos son autónomos, capaces de recorrer las galerías de la mina. Ante esta problemática pensamos que los robots pueden ser usados para superar estos desafíos; aunque podrían no estar capacitados para reemplazar completamente a los trabajadores, pero sí para la parte más peligrosa y pesada [5]. La maquinaria tipo jumbo es la utilizada para la perforación de barrenos dentro de los túneles para la voladura.

MATLAB es un software de simulación que permite el diseño y simulación de vehículos de exploración minera y robots autónomos. Los toolboxes de MATLAB: Simulink, SIMSCAPE, entre otros como ROS y SimMechanics constituyen una herramienta indispensable de pruebas y retos de automatización, previo a la construcción de algún prototipo físico, ya que los robots son sistemas electromecánicos que necesitan enfoque mecatrónico antes de fabricarlos [6]. Algunos de esos retos de automatización permiten hacer pruebas con vehículos autónomos, drones,

1

<sup>1</sup> Tecnológico Nacional de México, Campus Lerdo. Av. Tecnológico No.1555 Sur, Periférico Gómez-Lerdo Km. 14.5. Ciudad Lerdo, Estado de Durango. México. C.P. 35150. \*mm2220010@itslerdo.edu.mx

brazos robóticos, ambientes de simulación, colisión con objetos, plataformas de exploración espacial y en otros planetas. El MARS ROVER es un robot autónomo que está enviando constantemente sus monitoreos a una base de control en la tierra, así documentando imágenes de marte [7], evaluar su desempeño y poder establecer parámetros para los nuevos territorios en los que este explora, siendo un ejemplo libre proporcionado por la empresa Mathworks para su estudio y la aplicación de diferentes toolboxes.

Este trabajo está organizado de la siguiente manera: La sección de Introducción presenta el estado del arte y la importancia científica y tecnológica en el diseño de nuevos robots que realicen tareas donde los seres humanos se pondrían en situaciones de peligro, así como la importancia de las nuevas tecnologías en pro de la humanidad y por qué escogimos el software Matlab para la simulación. La sección de Parte Técnica aborda los temas principales que aportan al desarrollo de este proyecto, tales como el diseño y simulación del MARS ROVER en MATLAB así como su modificación para un modelo terrestre útil en mina basándose en los parámetros utilizados actualmente por medio de diferentes regulaciones nacionales e internacionales ya que la perforación es una de las operaciones más importantes dentro de la actividad minera[8], el control de seguimiento de la trayectoria de un vehículo y el movimiento de un brazo manipulador de cinco grados de libertad. En la sección de Resultados se presenta tanto el funcionamiento del MARS ROVER en MATLAB, como las modificaciones realizadas a ese modelo para el diseño de un ROBOT MINERO AUTÓNOMO que realice el seguimiento de una trayectoria trazada. Posteriormente se presenta la sección de conclusiones, agradecimientos y referencias bibliográficas.

## II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

### A. Mars Rover en MATLAB

Se consideró inicialmente como modelo de referencia, el apartado del Mars Rover de la biblioteca del software MATLAB, donde se especifica qué herramientas y bibliotecas se utilizaron y para qué; además de tener un modelo en el entorno de programación visual simulink para su análisis e interpretación como parte del programa de foros libres de apoyo del software en cuestión donde se plantea el entorno de simulación y se definen las trayectorias y accionamientos del robot del apartado en cuestión, siguiendo la trayectoria un camino trazado sobre la superficie, se detiene en un punto específico y utiliza su brazo accionador para realizar su tarea; esto para demostrar que es capaz de cumplir satisfactoriamente los procesos requeridos.

Es un software de programación y cálculo utilizando matrices para los procesos de diseño y análisis. Como su nombre lo indica matrix laboratory, utiliza cálculos

matriciales para conseguir las diferentes resoluciones incluso a problemas sencillos que una calculadora científica podría cumplir, así mismo también cuenta con entornos de desarrollo más sofisticados que permite la simulación de modelos y sus eventos, además de contar con una gran comunidad que constantemente conciben nuevas técnicas de programación creando así bibliotecas o toolboxes, las cuales facilitan el proceso de programación para quien no domina la consola de control para la modificación del sistema programado, teniendo en esta rama diferentes interfaces como lo son: simulink, que es un entorno de programación visual enfocada en bloques, que facilita mucho para aquellos que aún no han dominado la programación por código. Este software puede desarrollar y simular modelos complejos virtuales para probar el sistema desde sus facetas primarias.

Es por eso que se optó por utilizar este software para la simulación en esta etapa tan temprana, pues teniendo a la mano una comunidad tan grande para tomar referencia, así como ejemplos prácticos que la misma página oficial de mathworks ofrece para aprender a usar los diferentes medios integrados que contiene Matlab, apoyando el desarrollo temprano y facilitando las modificaciones próximas conforme lo vaya requiriendo el modelo para cumplir con los parámetros deseados, manteniendo una actualización constante siendo capaz de modificar las piezas de manera independiente afectando al mínimo el ensamblaje total del sistema en cuestión para su análisis y siguiente simulación.

Una toolbox es un paquete de funciones y apartados que proveen diferentes herramientas para un tópico en general, como análisis de señales o procesamiento de imágenes, algunas toolboxes son hechas por mathworks y requieren licencias para usarse mientras que otras son por parte de la comunidad siendo de uso libre.

Las herramientas de desarrollo que se emplearon fueron Robotics system y Simscape;

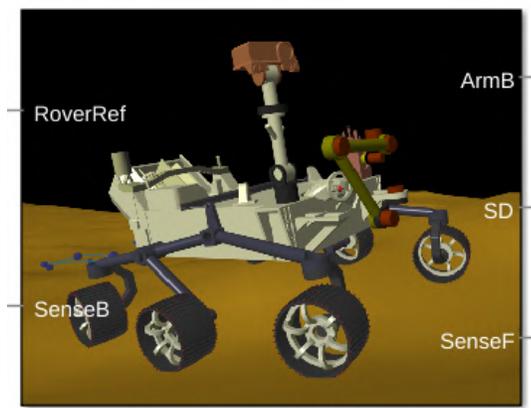
El primero es para definir las trayectorias mecánicas así como sus accionamientos, ya que robotics system brinda los algoritmos necesarios para los manipuladores en este caso brazos articulados, además de proporcionar el sistema de desplazamiento, capaz de interpretar la información obtenida durante la simulación de las cinemáticas para identificar eventos tales como: colisiones, mapeo de la interfaz de la superficie donde se estará simulando, además de un amplio catálogo de robots comerciales en la industria para validar trayectorias y ayudar en la fase de montaje, o la implementación de varios de manera combinada, así como ejemplos de referencia de modelos más complejos seccionados para facilitar la fase de aprendizaje con este toolbox.

En conjunto con el entorno de simulación simscape que se utiliza para poder representar un medio para que el robot interactúe, así como permite crear y modelar las partes físicas del robot pudiendo hacer conexiones entre las piezas para lograr la relación durante los eventos que se suscitaran.

Simscape cuenta con la capacidad de simular diferentes sistemas, ya sean hidráulicos, neumáticos, refrigerantes y motores eléctricos, así como la tracción y resistencia al movimiento tanto en las flechas del motor como en los fluidos, ayudando a desarrollar sistemas de control y comprobar su rendimiento brindando la posibilidad de modificar los valores de los modelos mediante variables en el tablero de control de MATLA, en este caso lo adaptaremos para simular terreno rocoso de superficie irregular para poder observar el comportamiento de la maquina en este, desde las dificultades en su desplazamiento como en la resistencia de las paredes al interactuar con ellas, al igual de ser capaces de enlazar los eslabones, bandas que estarán interactuando para poder analizar estas uniones en las partes mecánicas que será donde estará gran parte de los esfuerzos, un mal montaje no sería capaz de arrojar información útil además que el mismo entorno arrojaría un marcador al respecto y la simulación entraría en un evento fortuito de singularidad llegando a generar errores, como una posición extraña de las piezas, estar con el cuerpo en vertical en lugar de horizontal o extremidades torcidas al azar, dando como resultado que la simulación se detuviera o incluso no iniciara.

En caso de encontrar problemas entre la trayectoria programadas en Robotics system con respecto al terreno cavernoso, arrojaría los resultados pudiendo interpretar incluso en que punto de la tracción resultó la irregularidad, así como en el caso de accionar el brazo demostrara si entra en singularidades, al completar su cinemática entera volviendo al punto de inicio, pasando por despliegue, ejecución y retracción, terminando así la simulación satisfactoriamente.

Las siguientes figuras muestran el modelo inicial, en el caso de la figura 1 es el modelo 3d que el ejemplo presenta, en el caso de la figura 2 es el diagrama de bloques principal para el robot móvil.



Rover Plant Model And Control

Figura 1. Modelo 3d original

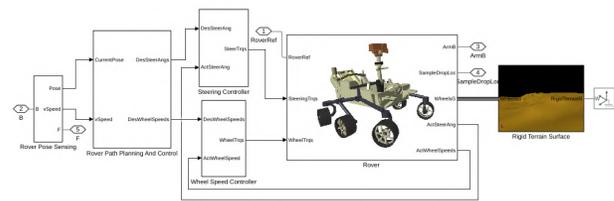


Figura 2. Diagrama de bloques principal

B. Seguimiento de trayectoria del robot

Para probar el modelo, se planteó un desplazamiento sencillo de 11 puntos programado por bloques, como lo muestra la figura 3, a través de un mapa de superficie irregular como se muestra en la figura 4, para así poder observar si el modelo puede desplazarse de manera adecuada o si existe algún problema, en especial al cruzar por pendientes, de esta manera poder ver el balance de la maquinaria, mostrando que por su diseño con centro de gravedad bajo evitamos volcaduras, contando con la tracción suficiente para cruzar las diferentes depresiones del terreno, incluso dando una curva donde se pudo apreciar que el modelo tiene problemas en circunstancias específicas, ya que al ser muy cerradas, este no toma dicha trayectoria de una forma idónea, demostrando que una ruta más abierta y así poder desenvolverse de una manera más satisfactoria para llegar a su punto final de trabajo.

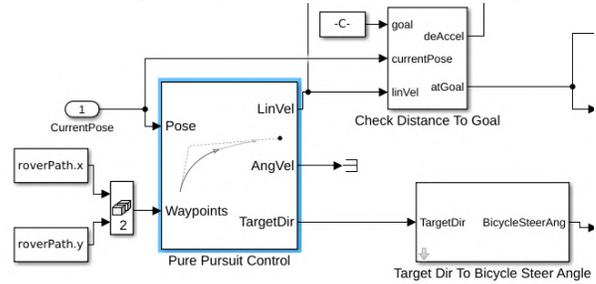


Figura 3. Diagrama de bloques de la trayectoria

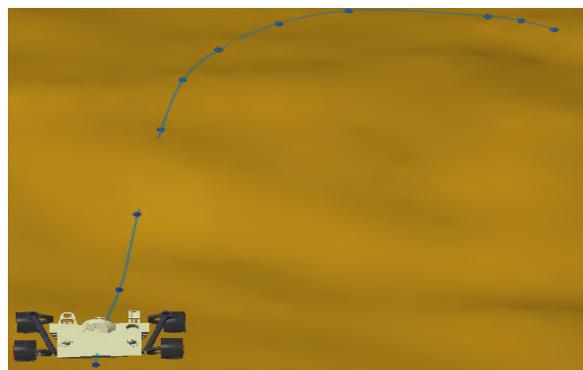


Figura 4. Trayectoria programada

C. *Brazo manipulador de cinco grados de libertad*

En esta sección acoplamos un brazo de 5 grados de libertad, para poder cumplir con el modelo de cinemática y finalizar con una acción hacia la superficie del terreno, tomando en cuenta que es la simulación de un próximo taladro para perforar en pared demostrando como serían los movimientos en esta interacción, satisfaciendo los mecanismos planeados como un modelo útil para la interpretación y mejora del sistema donde su disposición y control se pueden ver en la figura 5 y en la figura 9 las partes que forman el brazo de 5 grados de libertad específicamente sus parte mecánicas.

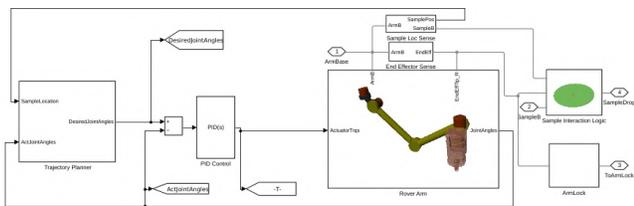


Figura 5. Diagrama a bloques del brazo

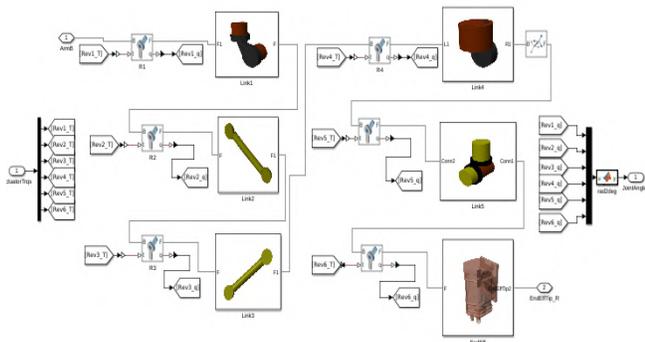


Figura 6. Diagrama de piezas del brazo

III. RESULTADOS

A. *Diferencias de diseño*

Se procederá a explicar cuáles son los resultados esperados que puedan ayudar a identificar el proyecto final respecto al ejemplo de base, para mostrar sus variaciones entre sí.

El alargamiento de la caja principal, el corte de la superficie con cámara, se le restará un par de ruedas y se agregará cadena del tipo oruga, está se dejó de usar en su mayoría porque las maquinas actuales usadas son de dimensiones abrumadoras y la tracción oruga requiere mucho espacio para las curvas, donde la maquinaria actual aprovecha las dimensiones de las minas con relación del tamaño del vehículo.

La idea de recortar la altura quitando la cámara se debe a

ahorrar espacio y se plantea relocarla en una zona trasera o si es prudente, durante esta primera etapa omitirla para mejor ejecución del prototipo propuesto.

B. *Ruedas*

Se eliminaron dos ruedas para para que sea posible adaptarse después al introducir los modelos tridimensionales por medio del software de modelado deseado, una banda para tracción de oruga, las ruedas de la zona media se eliminaron, y se bajó la suspensión, de esta manera se simplifica el modelo, así como lo muestran las figuras 7 y 8 correspondientes a los bloques de las ruedas de cada lado del chasis en relación a las figuras 9 y 10 que muestran cómo se veía el bloque antes, se eliminó también el tercer soporte para la zona de estas ruedas, se modificó en la superficie de desplazamiento, los objetos tocarían la superficie de simulación, como podemos apreciar en la figura 11, así se evita entrar en singularidad o generar posiciones aleatorias por parte de la simulación al intentar llenar los huecos faltantes para su correcto funcionamiento.

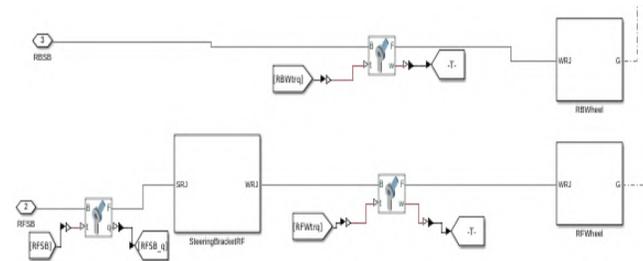


Figura 7. Diagrama de bloques ruedas derechas

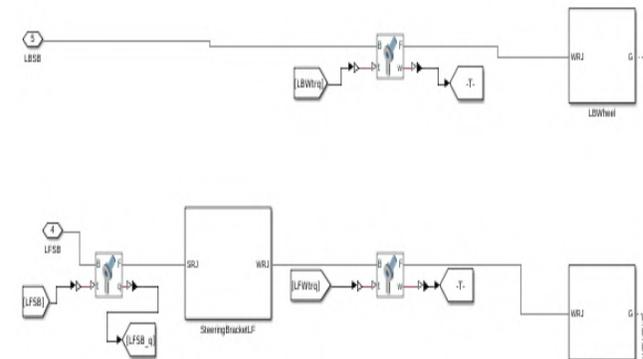


Figura 8. Diagrama de bloques ruedas izquierdas

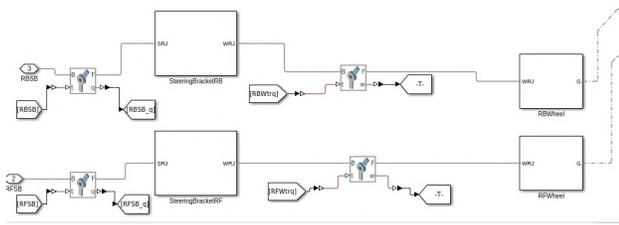


Figura 9. Diagrama de bloques original ruedas derechas

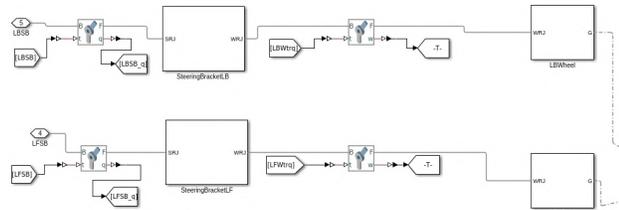


Ilustración 10. diagrama original ruedas izquierdas

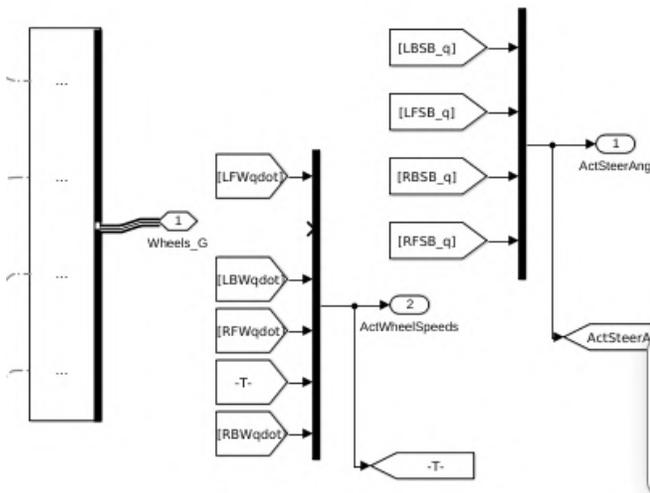


Figura 11. Diagrama de salida a superficie

C. Chasis

La superficie de cuerpo denominado chasis sufrió modificaciones para el montaje de la maquinaria, además que la parte donde se colocará el motor, así como los sistemas de control y refrigeración, se contempla ser montado en el eje Y para facilitar el desplazamiento en curva al hacerlo menos largo, siendo tan aplanado se tendrá a consideración los problemas que podría tener al tomar curvas pronunciadas, pero sabiendo que el diseño ocupa una área considerada como base, podemos especular que el equilibrio será favorable, no será hasta realizar esas pruebas que se pueda garantizar u optar por modificar aún más, el diseño de este primer prototipo en desarrollo donde se eliminaron diferentes soportes como el de la cámara, arrojando un modelo tipo caja muy simple como lo representa su diagrama expuesto en la

figura 12 a diferencia de cómo se veía originalmente, así como lo muestra la figura 13.

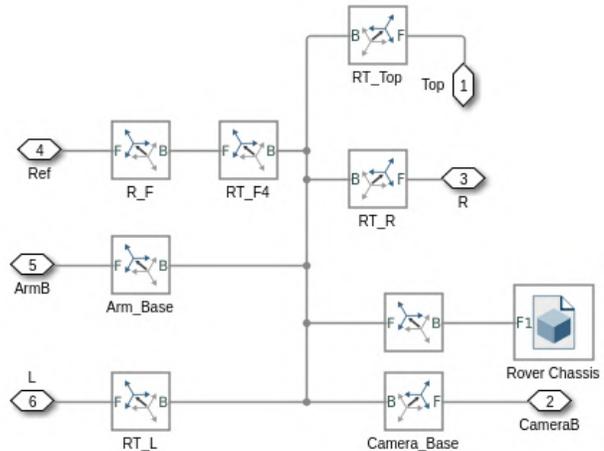


Figura 12. Diagrama de bloques chasis

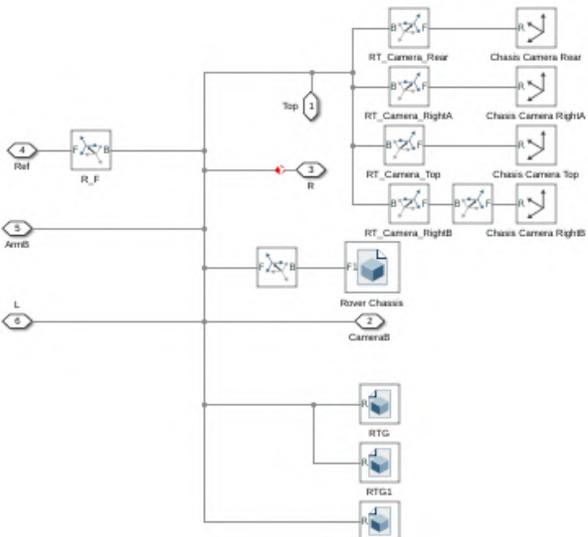


Figura 13. Diagrama original del chasis

Este desarrollo permite sentar las bases como un diseño de nivel pre-alfa para lo que será un trabajo a nivel tesis de posgrado, como el modelo base funciona correctamente, sobre todo para entender el funcionamiento de este tipo de modelaje de sistemas en Matlab, queda a consideración que lo ideal sería modelar en un softwares del tipo AutoCAD las piezas con las que se va a trabajar para mejorar la simulación, tomando en cuenta que este ejemplo es tomado directamente de la biblioteca de prácticas de Mathworks, modificado para poder trabajar en minas dejando para ser sustituido en un futuro el brazo con un accionador de carrera al final para manipular herramientas de perforación,

no se incluyeron por el hecho que aún está en desarrollo, pero se adjuntó su base de brazo para trabajar.

Tomar a consideración que para trabajar con estas toolbox, se necesita por lo menos la versión 2021 de Matlab lo cual requiere una cantidad de recursos abrumadora para máquinas de potencia limitada, sobre todo en el momento de simular podría llegar a tardar para grabar toda la animación incluso en la versión en línea del programa; lo cual dificulta en la parte de identificar los errores por medio de la consola, ya que tiene que encontrar la singularidad dentro de muchas ventanas de trabajo, que son todas las que intervienen en este tipo de simulación para tener todas las matrices funcionando correctamente sin combinar espacios de memoria.

Las siguientes figuras (14 y 15) dan una vista del modelo final, con la elevación de la suspensión ideal para superar el terreno irregular, siendo la ilustración 14 cuando el robot está subiendo una ligera colina y la ilustración 15 una vista lateral con el brazo siendo accionado.



Figura 14. Modelo final con brazo

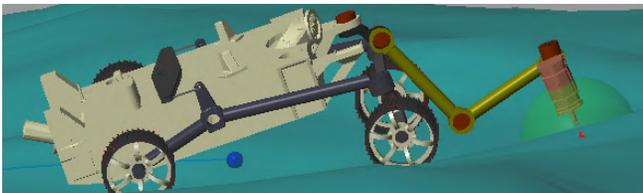


Figura 15. Vista lateral accionando el brazo

#### IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Esta edición a el modelo base del ejemplo modelado y control de un Mars Rover, permitió establecer alcances y parámetros, a la vez de fungir de manera ideal para comprender un software de simulación como este, se observó cómo interactúan las diferentes toolbox en este caso Robotics System y Simscape así mismo se pudieron observar fallos en cuestión de no definir bien las uniones de las piezas mecánicas, arrojando diferentes errores como un chasis que se genera al inicio de la simulación en una posición que rotó en el eje Z, o los soportes de las ruedas se hundían y caían a través del mapa, al no definir que estará tocando la cara del suelo, además que por el tipo de modificaciones, agregar o

eliminar piezas sería traducido a errores que darían pie a no iniciar la simulación entrando en una situación de arreglos de diferentes tamaños no compatibles, se logró un resultado favorable al construir un robot móvil para minas que superó el terreno sinuoso al que se tuvo que enfrentar en la simulación.

#### V. AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer al Instituto Tecnológico Superior de Lerdo por brindarme el apoyo para la investigación y la publicación de este artículo, de la misma manera agradezco a mis colaboradores por brindar su tiempo y paciencia, así como sus consejos y buena guía.

#### VI. REFERENCIAS

- [1] Y. Rodríguez-Ruíz, E. Pérez-Melgarejo, W. A. Barrantes-Pastor A. (2019) "Evaluación de la exposición a factores de riesgo de desórdenes musculoesqueléticos de tareas de minería subterránea" *Scientia Et Technica*, vol. 24, núm. 2, pp. 256-263,
- [2] Y. Rodríguez-Ruíz, E. Pérez-Melgarejo, W. A. Barrantes-Pastor A. (2019) "Evaluación de la exposición a factores de riesgo de desórdenes musculoesqueléticos de tareas de minería subterránea" *Scientia Et Technica*, vol. 24, núm. 2, pp. 256-263,
- [3] Hongli Wang1, \*, Wei Bao1, Xiantang Zhang1, Shuyue Wang2, Wenquan Cheng1, Lixin Song3. (2019). "Development of Double-arm Rock Drilling Car for Full Face Tunnelling," *Journal of Civil, Construction and Environmental Engineering*.
- [4] Jones et al (1998) *Mobile robots: Inspirations to implementation. Second Edition. A K Peters Ltd*
- [5] Hernán L. Helguero Velásquez, Rubén Medinaceli Torrez(2020) "Robot minero: Sistema Detector de Gases Utilizando Sensores en Tiempo Real MIN-SIS 1.0 SDG-STR" *Revista de media Ambiente y Minería*.
- [6] Mariappan, Saravana Mohan (2016) "Modelado y simulación de un robot redundante de perforación tipo manipulador SCARA utilizando SolidWorks Y Matlab/SimMechanics" *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*.
- [7] Sagan, C. *Cosmos*, 1980. Edt. Planeta, pp. 106-135; Albee, A (2003). *The unearthy landscapes of Mars*. *Scient. Amer.* 13(3): 34-43 <http://marsrovers.jpl.nasa.gov/home/index.html>
- [8] Seguridad minera(2017) *Revista Seguridad Minera n°126* <https://www.revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/perforacion-minera-tipos-clases-de-maquinaria-y-ubicacion-de-taladros/>

#### VII. BIOGRAFÍA



automatización y control.

**Corrales Arreola Manuel Alejandro.** Nació en ciudad Lerdo, Durango, México, con fecha 14 de abril de 1998. Es ingeniero en electrónica, Egresado en agosto del 2021 del Tecnológico Nacional de México (TecNM), campus lerdo. Actualmente se encuentra cursando la maestría en mecatrónica en el campus anteriormente mencionado, a partir de enero del 2022. Es becario del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). Se especializa en el ramo de



**Juárez Del Toro Raymundo**, se desempeña como docente de asignatura en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo TECNM. Perteneció al Sistema Nacional de Investigadores SNI del CONACYT. Asesor de tesis para estudiantes del posgrado en Ingeniería Mecatrónica. Es Físico Matemático del Instituto Politécnico Nacional IPN, en la ciudad de México. Obtuvo una maestría y un doctorado en ciencias en Teoría de Control Automático en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados,

CINVESTAV-IPN, en la ciudad de México. Sus líneas de investigación son en su mayoría multidisciplinarias. Está interesado en el desarrollo de proyectos multidisciplinarios a través del uso de herramientas matemáticas e ingenieriles. Algunas de estas herramientas son: control óptimo, ciencia de decisiones, inteligencia artificial, control robusto, métodos matemáticos, métodos numéricos, gestión eficiente de la energía, industria 4.0, robótica, visión artificial, entre otros. Es líder de investigación y tiene una participación científica activa en clústeres locales y algunos grupos de empresarios, como miembro y asesor en proyectos de Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+I).



**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); y el Doctorado en Ciencias de la Educación en la Universidad Autónoma de Coahuila. Saltillo,

Coahuila. México. (2013). Actualmente es docente del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Ciudad Lerdo. Durango. México. Perteneció a la división de Ingeniería en Sistemas Computacionales, imparte asignaturas relacionadas con programación web, investigación de operaciones, redes de computadoras, entre otras. Adicionalmente imparte clases en el posgrado de la Maestría en Ingeniería Mecatrónica del mismo instituto. Es miembro del cuerpo académico en consolidación con nombre “Ingeniería de Software Aplicada a Soluciones”, con el que ha participado en proyectos diversos de investigación afines a su área de estudio. Participa como supervisor técnico de la revista del ITSL desde la creación de la misma en 2015 a la fecha; además de aportaciones en el ramo de diseño editorial y vectorial.

# Proyecto de emprendimiento con el modelo Push-Pull para el Software SIGEPRORE del Tecnológico Nacional de México, Campus Lerdo

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

**Resumen** - SIGEPRORE es el software para la Gestión del Procedimiento de Residencia del Tecnológico Nacional de México campus Lerdo, el cual, automatiza el proceso de residencia profesional, enmarcado en el sistema de gestión de calidad con la norma ISO 9001:2015, que actualmente opera en esta institución educativa. SIGEPRORE ha estado en operación desde el año 2020, logrando un impacto positivo en la forma de trabajo virtual de todos los involucrados en el proceso, especialmente durante la pandemia por COVID-19. Derivado del éxito obtenido, surge la iniciativa de impulsar un proyecto de emprendimiento para ofrecer este sistema a los demás campus del TecNM, implementando el modelo de software como servicio. El objetivo de este estudio es: estructurar el proyecto de emprendimiento científico-tecnológico con el modelo Push-Pull, por medio de la evaluación de la viabilidad comercial del producto de software y de la estrategia de comercialización. Dentro de los resultados, se presenta el One Pager del proyecto y el mapa de Stakeholders. Este estudio permitirá definir un conjunto de acciones y procesos para la implementación del emprendimiento de este software, con un grado mayor de escalabilidad, con parámetros y modelos de referencia.

**Palabras Clave:** SIGEPRORE, emprendimiento, Push-Pull.

**Abstract** - SIGEPRORE is the software for Managing Internships; automating the whole process as marked in the quality management standard ISO 9001:2015, used by this educational institution. The SIGEPRORE software has been in use since 2020, having a positive effect on the teleworking of everyone who was involved in the process. The idea of offering this service under the Software-as-a-Service model was born after seeing the success achieved. The objective of this paper is to structure the technological-scientific entrepreneurship process with the Push-Pull model, evaluating the commercial viability of the software product and the marketing strategy. The One Pager of the project and the Stakeholders map can both be found under the results section. This study will allow us to define a set of actions and processes to implement our business, with a greater scalability and both with parameters and reference models.

**Keywords:** entrepreneurship, Push-Pull, SIGEPRORE

<sup>1</sup> Tecnológico Nacional de México, Campus Lerdo.  
Av. Tecnológico No. 1555 Sur. Periférico Gómez - Lerdo.  
Km. 14.5, Ciudad Lerdo, Estado de Durango. C.P. 35150. México.  
\*karla.rl@itslerdo.edu.mx

## I. INTRODUCCIÓN

El Tecnológico Nacional de México es la mayor institución de educación superior tecnológica en México: atiende a una población escolar de más de 600 mil estudiantes en licenciatura y posgrado en todo el territorio nacional, en modalidad escolarizada, no escolarizada, a distancia, abierta, virtual o mixta; sus instituciones están presentes en las 32 entidades del país. La innovación tecnológica es un rasgo presente en las declaraciones de misión de todos sus campus y la modalidad de titulación integral más frecuente de sus egresados de licenciatura es la ejecución de un proyecto de residencia profesional.

El presente artículo se deriva del desarrollo e implementación del software SIGEPRORE [1], “Sistema de Gestión del Procedimiento de Residencia”, sistema web que está en operación desde el año 2020 en el campus Lerdo del Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Lerdo (ITSL). Derivado de la utilidad de este software, sobre todo en la contingencia sanitaria por el Covid-19, para el seguimiento de las residencias profesionales realizadas por los estudiantes del ITSL, se estructura un proyecto de emprendimiento para ofrecer este sistema a los demás campus del TecNM.

El objetivo de este estudio es estructurar el proyecto de emprendimiento científico-tecnológico, por medio de la selección de un modelo para la evaluación de la viabilidad comercial del producto de software y la definición de la estrategia de comercialización. En este documento se describen, como parte de la propuesta de emprendimiento: los interesados en el proyecto, el modelo de emprendimiento y la estrategia de comercialización seleccionados.

## II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

### A. Tipos de emprendimiento

El emprendimiento y la innovación son guías en la búsqueda de las mejores soluciones a ciertas necesidades específicas; a continuación, se describen diversos tipos de emprendimiento: [2].

1. Tipos de emprendimiento por su nivel financiero:

- Pequeños emprendimientos: Se trata de una pequeña inversión para sustentar a la familia y generalmente se trata de negocios locales.
  - Grandes emprendimientos: Empresas internacionales que captan la atención de millones de consumidores y buscan competir contra las mejores.
2. Emprendimientos incubadores: a diferencia de los dos anteriores, estas ideas permanecen un largo tiempo en investigación y desarrollo, con el objetivo de satisfacer una necesidad recurrente dentro de un nicho. Las grandes empresas usan las incubadoras de ideas para generar suficientes datos y asegurarse que dicho negocio dará resultados.
  3. Emprendimientos novedosos: Estos requieren de un proceso de investigación que puede llevar mucho tiempo y gran inversión hasta poder obtener resultados fiables.
  4. Emprendimiento espejos: Su mayor enfoque es vender aquellos productos o servicios que ya están en el mercado, de la misma manera que la opción original. [2]

#### B. Push&Pull

La definición de las estrategias de promoción de su producto o servicio son imprescindibles en un modelo de negocio. Hay básicamente dos tipos de estrategias en el enfoque de mercado: Pull y Push.

El modelo Push se basa en la búsqueda de los potenciales clientes para despertar el interés, esta búsqueda es realizada por medio de diversas actividades de promoción que crean una necesidad y, por lo tanto, una demanda del consumidor para ese producto [3]. La clave es identificar los canales de comercialización, comunicación y distribución a partir de una creación nueva para posteriormente transformarla en innovación [4].

El modelo Pull, permite a los compradores buscar o solicitar el producto en los puntos de venta, esto conlleva a deducir que es la demanda del producto quien da la pauta para indicar la cantidad de producto a producir. En este caso el foco se pone en el mercado y en las necesidades detectadas a los segmentos a al que se quiere dirigir, esto permitirá que los clientes se acerquen a la marca ya que se les ofrece un producto o servicio diferente [5],[4].

Es común combinar los modelos anteriores, generando el modelo híbrido Push-Pull. Este modelo promueve que la innovación puede venir de un proceso que es impulsado por un cambio tecnológico (push) o identificando una nueva necesidad del usuario final (pull), es decir genera innovación tecnológica [6].

#### C. Stakeholders

Un stakeholder (la “parte interesada” o “inversionista” en una organización) es “cualquier grupo o individuo que puede afectar o ser afectado por el logro de los objetivos de la empresa” [7]

En cualquier sistema organizacional, la identificación y gestión de las partes interesadas es muy importante, pues entre el sistema y los stakeholders se dan relaciones de inclusión, participación, cooperación y responsabilidad [8]. Ferrary [9] afirma que los stakeholders establecen sus expectativas respecto a las organizaciones, se comunican en forma bidireccional con éstas e interactúan entre sí, impactando en mayor grado en el funcionamiento de las estructuras. En lo que respecta a las universidades, éstas establecen sus relaciones con las personas, comunidades u otras instituciones en función de su misión institucional, dirigiendo sus recursos al logro de sus objetivos, buscando obtener beneficios y utilidades de esos vínculos [10]. Gaete[10] clasifica a los stakeholders de las organizaciones en círculos: en primera instancia incluyen a los empleados, directivos, accionistas y sindicatos; un segundo círculo representa a los stakeholders de carácter económico (clientes, acreedores, distribuidores y proveedores); en el círculo más externo contiene a los agentes sociales, como la comunidad, el gobierno, las organizaciones sin fines de lucro, las entidades reguladoras y el medio ambiente.

#### D. Estrategias de comercialización y viabilidad

Este aspecto refiere a establecer una planeación de acciones acordes a una estrategia, es un elemento clave en la conformación orientada hacia el logro de los objetivos; de las estrategias de comercialización, o mercadeo, una de las principales es la de marketing, la cual, según [11] establece una regla y estrategia fundamental para su éxito, la regla se refiere a lograr captar el interés por lo que se oferta o promueve; mientras que la estrategia hace referencia a los aspectos esenciales, los cuales se acotarán a la naturaleza de este proyecto de emprendimiento.

#### E. Modelo de Software como servicio (SaaS)

El Software como servicio (SaaS) se utiliza en las organizaciones que compran o desarrollan sus aplicaciones, estos servicios están alojados externamente en la web. En este modelo las actividades son administradas por un equipo central, esto permite que las unidades remotas puedan acceder a las aplicaciones mediante un navegador web. Las principales funciones del proveedor de servicio consisten en:

- mantener actualizado en sistema en una sola unidad para después estar disponible de forma inmediata con los usuarios,

- tener el licenciamiento de las herramientas utilizadas,
- definir el sistema operativo que se estará utilizando, el lenguaje de programación y la forma de acceder a los datos,
- y controlar la infraestructura de la nube, esto incluye las redes y seguridad.

### III. RESULTADOS

El sistema SIGEPRORE 2.0, actualmente está montado en un servidor y es utilizado por 300 usuarios aproximadamente cada semestre. El éxito de este software se debe, primeramente, a que el sistema está establecido en las políticas de operación del procedimiento de residencia profesional del sistema de gestión de calidad del ITSL, y a que la totalidad de las tareas son realizadas de forma remota, asíncrona y ágil. Gracias a este proyecto, todos los actores del procedimiento obtienen mejoras en la organización y tiempo dedicado a las tareas. Es por todas estas razones que surge la iniciativa de impulsar un proyecto de emprendimiento para ofrecer este sistema web a los demás campus del TecNM.

La estructura de este proyecto de emprendimiento está basada en el modelo híbrido Push-Pull. Se determina este modelo debido a que ya se tiene un problema identificado que se atenderá con el impulso de un cambio tecnológico, así como también, por los usuarios/clientes objetivo. En la figura 1, se muestra el diagrama de flujo a seguir acorde al modelo híbrido con el objetivo de generar una innovación tecnológica con este proyecto.

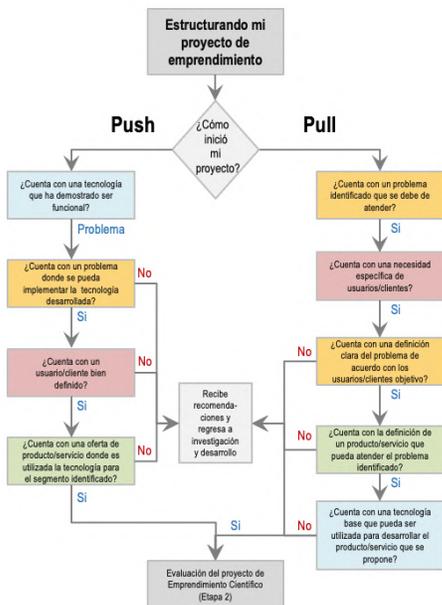


Figura 1. Diagrama de flujo del modelo Push-Pull  
Fuente: Elaboración propia

Los stakeholders identificados para el sistema SIGEPRORE juegan un rol importante en el desarrollo del proyecto. En el primer círculo, se identifica el cuerpo académico de desarrollo de software y los estudiantes pertenecientes al ITSL; dentro del segundo círculo se encuentra el socio de carácter económico, como la subdirección de investigación y desarrollo del ITSL, que funge como proveedor y en el círculo más externo se ubican la Dirección del TecNM, los campus de la Región Lagunera y otros institutos. La figura 2 muestra el mapa de los stakeholders descritos.

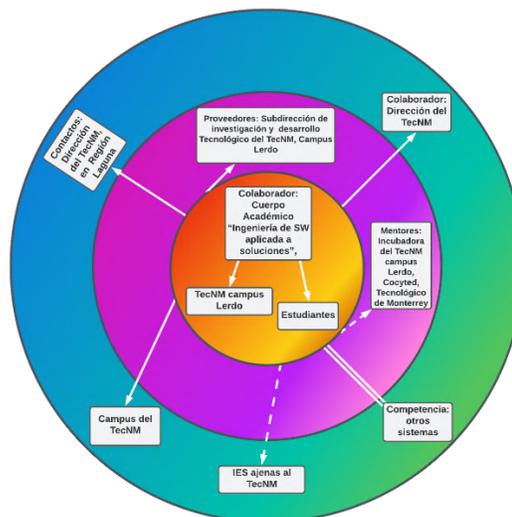


Figura 2. Mapa de stakeholders  
Fuente: Elaboración propia

Dentro de las estrategias de comercialización, se identifica que los principales consumidores del sistema SIGEPRORE, están contenidos en los 254 planteles federales y descentralizados, distribuidos a nivel nacional; de la anterior clasificación, se derivan los diversos programas de estudio (PE) de cada plantel. Cada PE tiene la característica de ofrecer la asignatura de *Residencia Profesional*, la cual es el ambiente de ejecución principal del SIGEPRORE, en el cual, los alumnos realizan sus prácticas profesionales en un entorno híbrido con actores principales como: el alumno, la empresa, el asesor interno, y el asesor externo por mencionar algunos. Los consumidores principales del SIGEPRORE son la triada alumnos-docentes-asesor externo; además de los jefes de los PE, directores académicos, y asesores externos.

Parte de las acciones orientadas a la comercialización del sistema SIGEPRORE, es la inclusión de un modelo denominado *Software as a Service* o *SaaS* por sus siglas en inglés, el cual se implementa como una forma de desarrollo, mantenimiento y ejecución en la nube. Una de las ventajas principales del uso de este tipo de servicio, es que al estar alojado en internet, tanto su mantenimiento como

distribución puede ser mediante un flujo de trabajo distribuido en una relación tiempo-alcance prácticamente global, o donde se tenga un servicio de internet disponible. En la Figura 3, se especifica cual sería la propuesta a realizar mediante esta arquitectura de trabajo, la cual integra principalmente, servidores, bases de datos, código fuente, y el sistema, que en este caso es el SIGEPRORE; todo esto, bajo un esquema integral, el cual es efectivamente el SaaS.

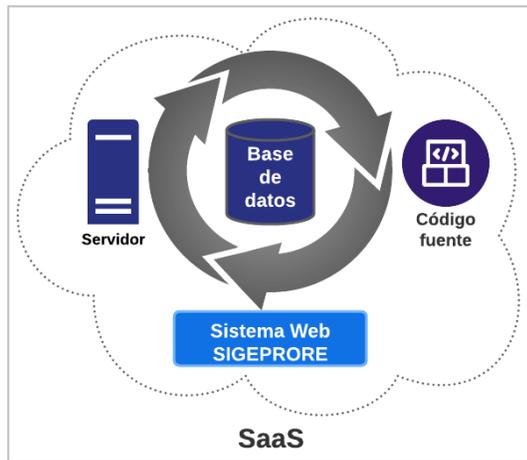


Figura 3. Entorno de desarrollo basado en la nube.  
Fuente: Elaboración propia

Una herramienta fundamental para la comercialización de un proyecto es la One Pager. El objetivo de una One Pager es mostrar la esencia del negocio, en ella se plasma la información más relevante del proyecto como el problema, la solución, el tamaño de mercado, el modelo de negocio, entre otros puntos; todo este conjunto de información, permitirá generar interés en el cliente o inversor. La figura 4 representa el One Pager de SIGEPRORE.



Figura 4. One Pager SIGEPRORE  
Fuente: Elaboración propia

#### IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

##### A. Discusión

En los proyectos de innovación tecnológica institucional, se debe priorizar la satisfacción de las necesidades de la comunidad estudiantil y el logro de la misión institucional del TecNM; la identificación de las expectativas, influencia, colaboración y responsabilidad de los actores interesados (stakeholders) es vital para la planeación de la estrategia de comercialización de un software institucional. El modelo híbrido Push-Pull es utilizado en ámbitos variados. Perozo y Boscán [12] reportan que el modelo de Software como Servicio es una tendencia mundial en alza, cuyas ventajas principales son la salida rápida a producción y el uso de software estandarizado de alto nivel para empresas de todos los tamaños. Los autores mencionados también alertan acerca de las principales desventajas del SaaS: la limitada integración con sistemas legados, inestabilidad en las redes, así como la falta de personalización del software. [12]

El Instituto Tecnológico Superior de Lerdo tiene el interés de promover el cambio del modelo de negocio de compra de licencias al de pago por uso, en pos de los múltiples beneficios ya descritos. Se considera que en el Tecnológico Nacional de México hay una cantidad considerable de sistemas administrativos, cuya migración a SaaS podría representar para las instituciones del TecNM el acceso a diversidad de servicios de forma ágil y segura, con reducción de costos.

En la adopción del modelo SaaS, hay problemas y limitaciones que es imperativo considerar y van desde considerar las expectativas de los usuarios potenciales en aspectos internos de calidad del software como la flexibilidad y la tolerancia a fallas, hasta los derivados del modelo como la garantía de continuidad en el servicio en situaciones de inestabilidad de la red, fallas técnicas de los servidores proveedores, entre otras. En el caso del SIGEPRORE, estas limitaciones se han identificado y las respuestas se integrarán a la propuesta de emprendimiento que será enviada al TecNM.

En el modelo SaaS la principal perspectiva es la ampliación del segmento de mercado. Esta investigación puede ser una guía útil para los desarrolladores de software en los diversos campus del Tecnológico Nacional de México, que deseen impulsar proyectos de emprendimiento para ampliar el mercado de sus sistemas informáticos.

### B. Conclusión

El objetivo principal de este proyecto es comercializar el sistema SIGEPRORE, este proceso tiene una proyección a 12 meses; en los primeros tres meses (corto plazo), se pretende buscar financiamiento para costear la infraestructura necesaria e implementar el modelo de software como servicio (SaaS), a mediano plazo (4 a 6 meses) se ofrecería el sistema como prueba piloto a los campus regionales pertenecientes al TecNM, con el objetivo de obtener retroalimentación externa que permita realizar mejoras al software; por último, se busca que, a partir del séptimo mes, se inicie con la distribución y venta en los campus del TecNM. Cabe destacar que actualmente el sistema web para la gestión del procedimiento de residencia profesional tiene el certificado de registro de obra ante el Registro Público del Derecho de Autor (INDAUTOR) dentro de la rama de programas de computación con el número de registro 03-2021-11161145290001.

El equipo de trabajo ha apostado por lograr que este software se posicione dentro de la comunidad del TecNM y esto se quiere lograr destacando la propuesta de valor. La automatización del proceso de residencia profesional del TecNM, la calidad del software, la reducción de tiempos y la rapidez en la atención al cliente, son las características clave de la propuesta de valor.

Los riesgos que se pueden presentar durante el proceso son el soporte, el mantenimiento, las actualizaciones y la aceptación en todos los campus del sistema, sin embargo, éstos no serán impedimento para seguir con el proceso de comercialización. El análisis de comercialización da como resultado que la viabilidad comercial del proyecto tenga un índice del 70%, por lo que se comprueba la efectividad.

### C. Recomendaciones

Al iniciar cualquier proyecto de emprendimiento de un producto o servicio es altamente recomendable el análisis profundo de varios aspectos esenciales: cliente, tecnología, proceso de producción, financiamiento, modelo de negocio, marco legal y equipo de trabajo. Algunas de las acciones realizadas por los autores en este proceso de investigación son: identificación y mapeo de los stakeholders, confirmación de la necesidad del producto con los interesados, definición y retroalimentación de los supuestos principales, conocimiento del segmento de mercado a un buen nivel de detalle, identificación y selección de la tecnología necesaria y disponible, protección legal del producto de software, identificación de los usuarios potenciales que apoyan con el proceso de prueba, conocimiento de las alternativas de solución para el negocio, definición de los recursos humanos, cálculo de los costos de

producción, planteamiento de estrategias de financiamiento y evaluación de la viabilidad comercial. Una capacitación formal en emprendimiento es indispensable para aquellas personas que no poseen la formación inicial en negocios.

### V. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen en primera instancia al titular de la Subdirección de Investigación y Desarrollo Tecnológico del ITSL, Ing. Jesús Alejandro Valdés Nieblas, por su apoyo en este proyecto; el agradecimiento se extiende al Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Durango (COCYTED) y a los estudiantes de ingeniería en sistemas computacionales que han colaborado desde el 2019 en el desarrollo e implementación del software que da origen a este emprendimiento.

### VI. REFERENCIAS

- [1] Rodríguez, K.V., Moreno, E., Flores, M.G., Arzola, J.M. (2021). Development of a web management system for the internship process at the TecNM campus Lerdo. *Journal of Computational Technologies*, V-5 N-15 with ISSN: 2523-6814. Journal edited by ECORFAN-Mexico, S.C. Holding Taiwan. (2021) and DOI: 10.35429/JOCT.2021.15.5.1
- [2] Rodríguez, R. A. (2011). *El emprendedor de éxito*. México: Mc Graw Hill.
- [3] Gade, B. (2021). *Estrategia Push y Pull: qué es y cómo aplicarla*. GADE Business School.
- [4] Sobejano, J. (15 de Enero de 2014). *Enfoques push y enfoques pull en procesos de innovación*. Obtenido de sintetia.com: <https://www.sintetia.com/enfoques-push-y-enfoques-pull-en-procesos-de-innovacion/>
- [5] López, M. I. (2017). *Evolución de la logística desde actividad de la cadena de valor a elemento clave en el modelo de negocio: un enfoque push-pull*. Universidad de Jaén, Facultad de Ciencias Sociales y Jurídicas.
- [6] García, A. C. (2021). La innovación tiene historia. *Puente de Hierro, I(1)*. Obtenido de <https://www.puentedehierro.org/ojs/index.php/pdh/article/view/13/9>
- [7] Freeman, R.E., Harrison, J.S., Wicks, A.C., Parmar, B.L., de Colle, S. (2002) "Stakeholder Theory: The State of the Art", in N.E. Bowie(ed.): *The Blackwell Guide to Business Ethics*. Blackwell Publishers, Oxford.
- [8] González E. E. (2007). La teoría de los stakeholders. Un puente para el desarrollo práctico de la ética empresarial y de la responsabilidad social corporativa. *Veritas. Revista de Filosofía y Teología, II(17)*, 205-224. ISSN: 0717-4675.
- [9] Ferrary, M. (2005). A stakeholder perspective of human resource management. In *Stakeholder theory* (pp. 104-124). Palgrave Macmillan, London.
- [10] Gaete Q. R. (2011). Identificación de los stakeholders de las universidades. *Revista de Ciencias Sociales (Ve), XVII(3)*, 486-499. ISSN: 1315-9518. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=28022767009>
- [11] Arechavaleta Vázquez, E.F. (2015). Estrategias de comercialización. En Ramírez-Ortiz, M.E. (Ed.). *Tendencias de Innovación en la Ingeniería de Alimentos*. Barcelona, España: Omnia Science. 169-195.
- [12] Perozo, M. A. & Boscán R. N. (2014) Software como servicio (SAAS): Tendencias Mundiales (Software as a service-SaaS: Global Trends). *Revista Electrónica Facultad de Ingeniería UVM*. ISSN:1856-6936. Volumen 8 Edición No 1. <https://revistav.uvm.edu.ve/articulos/7mqo9vArticulo5.pdf>

- [13] Freeman E. (1984) "Strategic Management: A Stakeholder Approach", Pitman, Boston.
- [14] Flórez, O., Trejos, C., & Becerra, M. (2016). Modelo híbrido pull-push en el sector de las telecomunicaciones. *Ingeniería Industrial* (15), 213-227.
- [15] García Suárez, Víctor Manuel. (1997). La comercialización de productos y servicios de información en el sector bibliotecario-informativo. *ACIMED*, 5(3), 11-13. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1024-94351997000300004&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1024-94351997000300004&lng=es&tlng=es).
- [16] Inboundcycle. (2022). <https://www.inboundcycle.com/?hsLang=es>. Obtenido de <https://www.inboundcycle.com/?hsLang=es>: <https://inboundmarketing.inboundcycle.com/inbound-marketing-saas?hsCtaTracking=3d595c56-a949-43c5-be1e-fba390b9efc0%7C3bd8ac97-eeed-424f-b18e-58410f61513c>
- [17] Jerez, J. L., & Mendoza, Á. G. (2010). *Marketing internacional para la expansión de la empresa*. Madrid España: ESIC.
- [18] Hernández, Á. (2009). El SaaS y el Cloud-Computing: una opción innovadora para tiempos de crisis. *REICIS. Revista Española de Innovación, Calidad e Ingeniería del Software*, 5(1), 38-41.
- [19] Plazas, M. A., & Romero, F. (2016). *Implementación de SaaS por parte de las MiPymes en Colombia: caso aplicado en el sector de sistemas hidráulicos y equipos de bombeo*. Bogotá: universidad católica de colombia, facultad de ingeniería de sistemas.
- [20] Pressman, R. (2010). *Ingeniería del Software: Un Enfoque Práctico*. McGraw Hill.
- [21] Rodríguez, J. (2014). Beneficios del modelo as a service en las PYMES. *Revista digital de la Carrera de Ingeniería de Sistemas*, 117-130.

## VII. 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 de Ingeniería en Sistemas Computacionales, es maestra en Administración (2005), siendo cursada esta, en la Universidad Autónoma de Coahuila, campus Laguna y es especialista en ingeniería mecatrónica, grado que obtuvo en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo en 2017. Experiencia docente de 15 años en

la impartición de clases en sistemas computacionales, en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, con más de 27 materias distintas. Docente con actividades en el área de investigación y desarrollo tecnológico produciendo 20 proyectos de Software, un registro de marca y registro de software ante INDAUTOR. Experiencia Profesional de más de 12 años en el soporte empresarial en el ámbito de las tecnologías de la información. Es miembro del cuerpo académico en consolidación con nombre "Ingeniería de Software Aplicada a Soluciones", tiene el reconocimiento a perfil deseable del PRODEP desde el 2015 y es candidata a investigadora estatal del Consejo de Ciencia y Tecnología del estado de Durango.



**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); y el Doctorado en Ciencias de la Educación en la Universidad Autónoma de Coahuila, Saltillo, Coahuila, México. (2013). Actualmente es docente del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Ciudad Lerdo, Durango, México. Pertenece a la división de Ingeniería en Sistemas Computacionales,

imparte asignaturas relacionadas con programación web, investigación de operaciones, redes de computadoras, entre otras. Adicionalmente imparte clases en el posgrado de la Maestría en Ingeniería Mecatrónica del mismo instituto. Es miembro del cuerpo académico en consolidación con nombre "Ingeniería de Software Aplicada a Soluciones", con el que ha participado en proyectos diversos de investigación afines a su área de estudio. Participa como supervisor técnico de la revista del ITSL desde la creación de la misma en 2015 a la fecha; además de aportaciones en el ramo de diseño editorial y vectorial.



**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), todas estas instituciones en Torreón, Coahuila, México. Ella 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 2005. Colaboró por 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. La Dra. Moreno posee el reconocimiento a perfil deseable del PRODEP desde el 2017 y es candidata a investigadora estatal del Consejo de Ciencia y Tecnología del estado de Durango.



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

# Análisis del proceso de reinscripción de los estudiantes del TecNM campus Tierra Blanca: modelación y simulación en SIMIO

F. Ríos Martínez<sup>1</sup>, L. Fuentes Rosas<sup>1</sup>, M. S. Flores Serrano<sup>1</sup>, V. Sánchez Vázquez<sup>1</sup>.

**Resumen**— Este artículo presenta un estudio de simulación del proceso de reinscripción de los estudiantes de Ingeniería Industrial del Tecnológico Nacional de México campus Tierra Blanca, con el objetivo de obtener un modelo de simulación representativo del sistema actual que sirva de base para evaluar escenarios que propicien la mejora continua en el proceso antes mencionado. Se aplicó la metodología de modelado y simulación propuesta por Law y Kelton, valorando las características del sistema, tomando datos de las variables de entrada tales como tiempos de atención y tiempos de arribos. Para la obtención de las bases de datos de cada una de las variables de entrada se diseñaron instrumentos de recolección mismos que fueron piloteados y validados. Las bases de datos fueron tratadas estadísticamente mediante la prueba de bondad de ajuste (Anderson Darling y Kolmogorov Smirnov) encontrando que todas las variables se ajustaron a distribuciones teóricas conocidas. Para la construcción del modelo de simulación se utilizó el software SIMIO, desarrollado por el equipo de Arena, permitiendo aplicar tecnología orientada a objetos y potencias de los procedimientos en animación 3D. Los resultados avalan, con un 95% de confianza, un modelo representativo del sistema de reinscripción.

**Palabras claves**—*m*studiantes, *modelado*, *proceso*, *simulación*, *SIMIO*, *tecnológico*

**Abstract**— This article presents a simulation study of the re-enrollment process of Industrial Engineering students of the National Technological Institute of Mexico campus Tierra Blanca, with the aim of obtaining a simulation model (MS) representative of the current system that serves as a basis for evaluating scenarios that promote continuous improvement in the aforementioned process. The modeling and simulation methodology proposed by Law and Kelton was applied, assessing the characteristics of the system, taking data from the input variables such as attention times and arrival times. To obtain the databases of each of the input variables, collection instruments were designed and piloted and validated. The databases were statistically treated using the goodness of fit test (Anderson Darling and Kolmogorov Smirnov) finding that all variables were adjusted to known theoretical distributions. For the construction of the MS, the SIMIO software developed by the Arena team was used, allowing the application of object-oriented technology and powers of the procedures in 3D

animation. The results guarantee, with 95% confidence, an MS representative of the re-registration system.

**Keywords**— *students, modeling, process, simulation, SIMIO, technological*

## I. INTRODUCCIÓN

Las instituciones educativas públicas o privadas necesitan contar con recursos materiales y humanos para gestionarse; la administración de dichos recursos debe ser inteligente de tal manera que ofrezca servicios que satisfagan las exigencias de sus clientes. Actualmente, las organizaciones educativas enfrentan el reto de brindar una enseñanza de calidad, la cual se ocupa de la formación profesional de una persona con las exigencias laborales [1], para ello despliegan una serie de procesos internos que las ayuden a tal fin.

De acuerdo a Mallar [2], un proceso es un “conjunto de actividades de trabajo interrelacionadas, que se caracterizan por requerir ciertos insumos (inputs: productos o servicios obtenidos de otros proveedores) y actividades específicas que implican agregar valor, para obtener ciertos resultados (outputs)”. Por otra parte, Pepper [3], indica que los procesos “son aquello que constituye el núcleo de una organización, son las actividades y tareas que realiza a través de las cuales produce o genera un servicio o producto para sus usuarios”. El punto central implícito en la gestión de la calidad de un proceso es “agregar valor” a este resultado o salida.

La gestión de procesos de negocio combina la aplicación de metodologías y herramientas para una adecuada gestión de los mismos [4], “es una disciplina que se convierte en un medio para el logro de los objetivos” [5].

En general, en un ambiente universitario, la estructura organizacional se caracteriza porque cada departamento se enfoca en resolver las tareas asignadas, en este contexto, la necesidad de una mejor gestión de los procesos en las Instituciones de Educación Superior (IES), es un tema importante y desafiante que las IES deben abordar.

El departamento de Ingeniería Industrial del Tecnológico Nacional de México (TecNM) campus Tierra Blanca, posee

<sup>1</sup> Tecnológico Nacional de México campus Tierra Blanca, División de Estudios de Ingeniería Industrial. Av. Veracruz s/n esq. Héroes de Puebla,

Colonia Pemex, C.P. 95180, Tierra Blanca, Veracruz, México.  
\*fernando.rios@itstb.edu.mx

procesos con acciones repetitivas durante un periodo escolar, entre ellos al inicio de cada semestre los estudiantes requieren un servicio para su reinscripción, realizando varias acciones en donde esperan un turno para ser atendidos, provocando tener largas filas de espera y con tiempos prolongados, las colas (líneas de espera) son parte de la vida diaria: todos esperan en colas para comprar en un supermercado, hacer un depósito en el banco, enviar un paquete por correo, obtener comida en la cafetería, comprar billetes para el teatro, etc. [6]. Se ha generado una costumbre a una considerable cantidad de esperas, lo cual es molesto y aún más si estas son demasiado largas.

La simulación ayuda a las organizaciones a predecir, comparar y mejorar el resultado operativo sin los costos y riesgos involucrados. Su importancia radica en su utilidad para sugerir la estrategia de la empresa desde un punto de vista empírico, para generar observaciones sobre variables clave y para el análisis estadístico de los datos resultantes. [7]. La simulación de eventos discretos opera bajo la generación y gestión el tiempo de eventos, los eventos se van ordenando en una cola para su ocurrencia, de esta forma que el simulador lee la cola y empieza a desencadenar los eventos [8]. La simulación de eventos discretos en comparación con la de eventos continuos es relativamente más fácil de simular permite modelar situaciones con un alto grado de complejidad con funciones relativamente simples, y de esta forma se pueden construir modelos representativos, con la realidad y con el nivel de detalle requerido.

Simio, es un software de simulación inteligente basado en objetos que permite construir los modelos usando la biblioteca estándar predeterminada (para simular eventos discretos) o crear nuevos objetos con gráficos, permitiendo resaltar áreas de riesgos o cuellos de botella presentados por las operaciones actuales para así simular los mejores escenarios y lograr mejores resultados de servicio al cliente [9] está equipado con una animación 3D que permite crear modelos con una realidad sumamente atractiva.

El objetivo de la presente investigación es proporcionar un modelo de simulación (MS) representativo del sistema actual del proceso de inscripción de estudiantes de la carrera de ingeniería industrial del campus Tierra Blanca que permita conocer su comportamiento y servir de base para probar escenarios de mejora.

## II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

La metodología seguida para la realización del MS fue la propuesta por Law y Kelton [10], integrada por 10 pasos.

### A. Formulación del modelo

El proceso de reinscripción, objeto de estudio, presenta el inconveniente de largas filas de espera con tiempos prolongados, situación que genera inconformidades entre el

alumnado principalmente.

El proceso de reinscripción se presenta dos veces por año y convoca a una cantidad de alumnos de poco menos de 630 alumnos (matrícula correspondiente a la carrera de Ingeniería Industrial en sistema escolarizado), el horario de atención es de 9:00 a 14:00 horas durante tres días, involucrando a tres áreas del campus: subdirección de finanzas con departamento de ingresos propios, dirección académica con el departamento de ingeniería industrial y dirección de planeación y vinculación con servicios escolares. En el área académica la participación de la división de ingeniería industrial está representada por docentes que apoyan a la labor de asesoría reticular, proceso mediante el cual se verifica que la carga propuesta por el alumno sea válida en cuanto a número de créditos, no violación de retícula, etc., y el jefe de división a quien se le remiten los casos especiales (alumnos con problemas generalmente ocasionados por la reprobación de materias). El proceso inicia con la obtención de línea de captura (orden de pago para la reinscripción), pago correspondiente en institución bancaria, asesoría reticular (administración efectiva de la retícula), y obtención de horario de clases al nuevo semestre por parte del departamento de servicios escolares.

### B. Recolección de datos y definición del modelo

El enfoque sistemático de reunir información en un estudio de simulación es de gran importancia, de ella depende la alimentación correcta del modelo en perfeccionamiento. Para efectos de este trabajo se realizaron las mediciones correspondientes en el sistema real durante el primer periodo de reinscripción del año 2022, que comprendió del 17 al 28 de enero.

Las actividades que se realizaron para la recolección de datos fueron: identificación de variables de entrada y salida del sistema; diseño del instrumento de recolección de datos; recolección de datos del sistema real y análisis estadístico de los datos.

Se identificaron 10 variables en el proceso de reinscripción (Tabla 1).

Para la toma de datos de cada una de las variables se diseñaron instrumentos de recolección que además de coleccionar los tiempos correspondientes tuvieran la sensibilidad de identificar situaciones no contempladas tales como porcentaje de alumnos que llenan incorrectamente los formatos, porcentaje de alumnos que requieren pasar con el jefe de carrera y número de hombres y mujeres.

TABLA I. VARIABLES DEL MODELO DE SIMULACIÓN

Número de Variable	Descripción (tiempo)
1	Llegada a la caja
2	Obtención de línea de captura
3	Traslado al banco
4	Pago de línea de captura
5	Validación del pago (sello)
6	Llenado de formatos de asesoría
7	Asesoría reticular
8	Alta en grupo
9	Impresión de horario
10	Atención del jefe de carrera

Una vez terminado el tiempo de colección de datos se procedió al tratamiento estadístico de cada una de las bases de datos generadas por las variables. Para tal actividad se utilizó el paquete estadístico Stat::fit versión 3, se realizaron las pruebas de bondad de ajuste Kolmogorov Smirnov y Anderson Darling.

C. Verificación del modelo

En el diagrama de flujo del proceso de reinscripción que se muestra en la figura 1.

El estudiante realiza la asesoría reticular en departamento de ingeniería industrial con la ayuda de un asesor (docente) para analizar su situación académica, en el caso del que estudiante tenga una situación de asesoría no autorizada, acude con el jefe de carrera para un análisis más complejo de la trayectoria académica. Una vez autorizado la asesoría reticular, el estudiante procede a realizar su reinscripción en el departamento de control escolar, donde el estudiante obtiene su carga académica (horario de materias del próximo semestre a cursar).

El diagrama de flujo fue presentado al jefe de carrera (criterio de comparación) quien avaló la veracidad del modelo conceptual proporcionando la continuidad del proceso de simulación.

D. Construcción del modelo

Para construir el modelo de simulación, el modelo conceptual se tradujo al lenguaje de programación SIMIO. Donde se finieron objetos tales como: *Server*, *ModelEntity*, *Source*, *TransferNode*, *Sink* y *Path*.

E. Pruebas piloto

Realizar experimentos pilotos (simulaciones cortas), brindan orientación sobre cómo abordar el estudio y calcular el número de repeticiones necesarias [11]. En este se realizaron 10 corridas piloto que sirvieron para verificar que la animación no tuviera deficiencias y para tener información para el soporte de la validación del modelo.

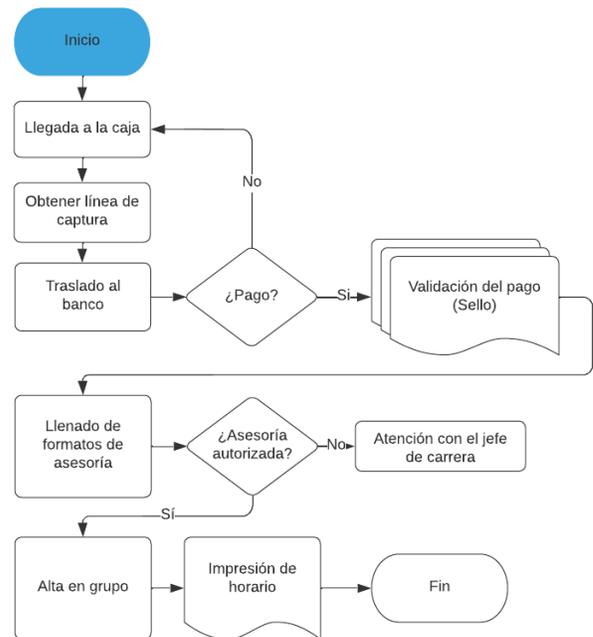


Figura 2. Diagrama de flujo del proceso

F. Validación del modelo

La mayoría de los modelos corresponden a una sola representación matemática, cuyos parámetros primero deben determinarse a partir del proceso de validación del modelo, utilizando datos experimentales [12]. EL método de validación se realiza mediante la prueba de t-pareada, que es una prueba de hipótesis que compara una muestra aleatoria de un sistema real con una muestra aleatoria de un modelo simulado [13]. Cada una de las variables fue validada mediante la prueba correspondiente.

G. Diseño de experimentos y corridas del modelo

Uno de los peligros al realizar un estudio de simulación es pretender que una sola corrida (réplica) del modelo es suficiente para la toma de decisiones [13], [14], [15] para evitar incurrir en tal peligro se debe realizar el diseño de experimentos que consiste en determinar matemáticamente el número óptimo de corridas utilizando dado valor a un error absoluto  $\beta$ .

Una vez determinado el número de corridas se procedió a realizarlas en el modelo.

III. RESULTADOS

Del tratamiento estadístico de datos se obtuvo que todas las variables se ajustaron a distribuciones teóricas conocidas, la figura 2 ilustra el resultado de una de ellas.

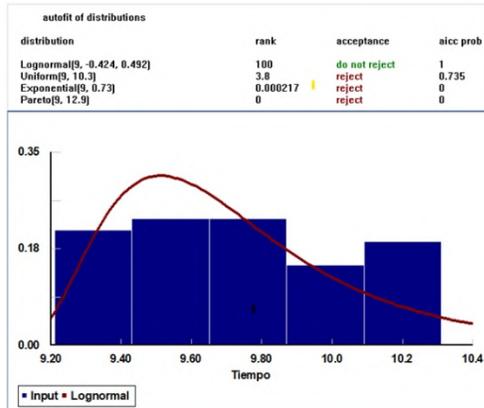


Figura 2. Resultados del tratamiento estadístico a variable tiempo de atención

Las figuras 3 y 4 muestran vistas de la construcción del modelo de simulación (MS).

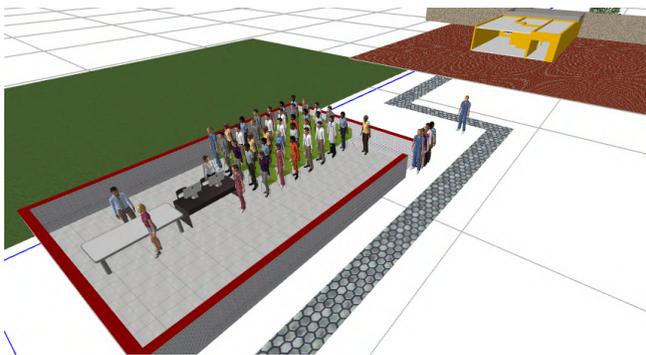


Figura 3. Vista en 3D de una parte del proceso de reinscripción (llenado de formatos y asesoría reticular)



Figura 4. Vista en 3D de una parte del proceso de reinscripción (arribo del alumnado)

Del procedimiento de validación, cada una de las variables estudiadas fueron sometidas a dicho procedimiento, en la tabla 2 se muestra la validación de una de ellas; aparecen muestras de datos tanto datos reales como simulados de la variable de tiempo de atención del jefe de carrera:

$X_i$  = tiempo promedio de atención (minutos) con el jefe de carrera del sistema real

$Y_j$  = tiempo promedio de atención (minutos) con el jefe de carrera del modelo de simulación

Las hipótesis involucradas son:

$$H_0: X_i = Y_j$$

$$H_1: X_i \neq Y_j$$

TABLA II. MUESTRAS APAREADAS DE LA VARIABLE TIEMPO DE ATENCIÓN DEL JEFE DE CARRERA

Corridas	Reales $X_i$	Simulados $Y_{ji}$	Diferencias observadas $Z_j = X_i + Y_j$	Desviaciones al cuadrado $(Z_j - Z_{10})^2$
1	2.31	2.01	0.3	13.37
2	8.96	9.92	-0.96	24.17
3	6.66	8.46	-1.8	33.14
4	41.51	20.86	20.65	278.65
5	17.85	16.94	0.91	9.28
6	16.35	16.94	-0.59	20.67
7	34.33	26.44	7.89	15.46
8	11.70	11.29	0.41	12.58
9	25.08	12.32	12.76	77.49
10	10.86	10.86	0	15.65
		Suma	39.57	
		Promedio	3.957	

Se utilizó un nivel de confianza del 95% con un nivel de significancia del 5% ( $\alpha=0.05$ ) y se determinó el intervalo de confianza de acuerdo con (1)

$$Z_{10} \pm t_{n-1, 1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{Var(Z_n)} = (-1.377, +9.291) \quad (1)$$

El intervalo de confianza obtenido incluyó al cero por lo cual no se puede rechazar la  $H_0$ , concluyendo, con un 95% de confianza, la validez del modelo y que cualquier diferencia observada entre los datos del sistema real y el MS no es estadísticamente significativamente y esto se deben a fluctuaciones aleatorias.

La tabla 3 muestra los resultados obtenidos de la media, varianza y  $\beta$ , información necesaria para determinar el diseño de experimentos (número de corridas). El procedimiento fue realizado con un 95% de confianza y un error absoluto de 5%.

TABLA III. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS PILOTO

Corridas	Tiempo promedio simulado
1	2.01
2	9.92
3	8.46
4	20.86
5	16.94
6	16.94
7	26.44
8	11.29
9	12.32
10	10.86
Varianza muestral	42.32
$\beta$	0.50

Una expresión aproximada para el número total de replicaciones  $n^*(\beta)$  requerido para obtener un error absoluto  $\beta$  es dado por:

$$n * (\beta) = \min \left\{ i \geq n: t_{i-1, 1-\alpha/2} \sqrt{\frac{s^2(n)}{i}} \leq \beta \right\} \quad (2)$$

Es posible determinar  $n^*(\beta)$  incrementando  $i$  en uno hasta que un valor de  $i$  cumpla la condición. Realizando el procedimiento resultó que el número de replicaciones óptimas es 652.

$$i=652 \quad 1.96 \sqrt{\frac{42.32}{652}} \leq 0.50 \quad (3)$$

El modelo se corrió 652 veces. Algunas de las medidas de desempeño más representativas se reportan en la tabla 4.

TABLA IV. RESULTADOS DE LAS 652 CORRIDAS

Medida de desempeño	Valor
Alumnado atendido por día	95
Tiempo promedio que un alumno pasó en el proceso (minutos)	173
Alumnado que llenan incorrectamente sus formatos	25
Cuello de botella más crítico	Caja
Tiempo máximo que un alumno pasa en la cola más crítica (minutos)	75
Alumnado que pasan con jefe de carrera	17
Utilización del servidor caja (%)	99

De la tabla puede observarse que del 100% de alumnado atendido por día el 26% se regresa a la actividad de llenado de formatos por haber hecho incorrecta la actividad lo que significa un reproceso para los asesores reticulares. Los alumnos que requieren intervención del jefe de carrera representan el 18%. El cuello de botella más significativo lo representa el área de ingresos propios con un solo servidor y

un factor de ocupación del 99%, es importante hacer hincapié en que el servidor en esta área no solo atiende a alumnos de ingeniería industrial sino también al alumnado de otras carreras.

#### IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Con un 95% de confianza se tiene un MS representativo del proceso de reinscripción de los alumnos de ingeniería industrial del campus Tierra Blanca abonando a la causa de otras investigaciones que demuestran la versatilidad de la técnica de simulación que no solo se aplica a sistemas de transformación y servicios, también puede modelar problemas sociales y climáticos.

Con este modelo se analizó un proceso dentro de una institución educativa que fue útil para observar los cuellos de botella, colas prolongadas durante el proceso de la atención a estudiantes en su proceso de reinscripción; con los resultados se tiene la visión del comportamiento del sistema y se perfilan alternativas de mejora mismas que, a partir del presente trabajo, abren posibilidades a investigaciones futuras cuyo propósito sea la generación y comprobación de alternativas en el MS para constatar la mejora.

#### V. REFERENCIAS

- [1] Chisaguano Garcia, E.A (2018) “Optimización de procesos administrativos y contables en una institución educativa privada en la ciudad de Quito”, Facultad de Ciencias Administrativas y Contables, Pontificia Universidad Católica de Ecuador.
- [2] Mallar, M. A. (2010.). La gestion por procesos: Un enfoque de gestión eficiente. *Revista Científica Visión de Futuro*. [en línea]. 13(1), Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=357935475004>
- [3] Papper, S. (2011). Definition of process management. *Medwave* [en línea]. 11(05). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.5867/medwave.2011.05.5032>
- [4] Barrera R. A.; Barrientos V. V.; Santiago P. J. y Canepa S. A (2018). Gestión de procesos de negocio. *Inventio* [en línea] 14(1), pp. 43-48. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.30973/inventio/2018.14.32/8>
- [5] Congacha A. E. y Garcia, V. J. (2017, Jun.). Modelación, Simulación y automatización de procesos en la gestión de servicios académicos universitarios. *3C Tecnología* [en línea] 22(6), pp 32-51. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.17993/3ctecno.2017.v6n2e22.32-51>
- [6] Velazquez G. E (2018, Feb) “Modelo de Teoría de colas”, Facultad de Matemáticas, Departamento de Estadística e Investigación Operativa, Universidad de Sevilla.
- [7] Belda. F. C. y Grande E. (2015) Los modelos de simulación: una herramienta multidisciplinar de investigación. *Encuentros multidisciplinares*, 11, 37-48.
- [8] Pérez J. E (2018) Simulación de un modelo de atención al usuario en confiterías, Universidad de la Sabana, Escuela Internacional de Ciencias Económicas y Administrativas, Chía Colombia.

- [9] Kelton D. S (2013). Simio and Simulation: Modeling, Analysis, Application, 3rd ed., Ed. Createspace Independent Pub.
- [10] Law, A.M. y Kelton, W.D. (2000). Simulation Modeling & Analysis. Ed. USA: McGraw-Hill.
- [11] Rodríguez J., Serrano D., Manleón T. y Caro, J. (2008). Los modelos de simulación de eventos discretos en la evaluación económica de tecnologías y productos sanitarios. *Gaceta Sanitaria*, 22(2), 151-161.
- [12] Cepeda, J., Verdugo, P. (2018). Automatic Voltage Regulator Model Validation Based on Mean-Variance Mapping Optimization and Field Tests. *Revista Técnica Energía*, 14, 165-173
- [13] Fuentes, L., Rojas, M. y López, A. (2021). Determinación del número óptimo de unidades en un sitio de taxis, usando simulación en simio. *Revista Ciencia, Ingeniería y Desarrollo*, 1(7), 76-80.
- [14] Serrano, B. y Garzón, V. (2019). Estudio de la caída de las ventas de la farmacia Farmicentro MM a través de la simulación de eventos discretos. *Revista Conrado*, 15(67), 38-44.
- [15] Robinson, S. (2014). Simulation: The practice of model development and use. Basingstoke: Red Globe Press.

## VI. BIOGRAFÍA



**Ríos Martínez Fernando.** El maestro es originario de Tierra Blanca, Veracruz. Maestro en Ingeniería Electrónica por la Universidad del Centro de Veracruz, Ingeniero en Sistemas Computacionales por el Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca. El actualmente labora en Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca en la división de Ingeniería Industrial. Las líneas en la que trabaja son: diseño y optimización de productos y procesos, tecnologías de la información en la

administración y control de procesos, tecnologías emergentes de la información y comunicación. EL maestro Ríos cuenta con certificados de competencia laboral, es miembro activo de la Sociedad Latinoamericana de Ciencia y Tecnología (SOLACYT), de la Red Iberoamericana de Academias de Investigación. Es perfil deseable por PRODEP y es responsable técnico de proyectos de desarrollo e innovación tecnológica por parte del Tecnológico Nacional de México.



**Fuentes Rosas Liliana.** Es doctoranda en Ciencias de la Administración en la Universidad Cristóbal Colón, Veracruz, México. Maestra en Ciencias en Ingeniería Administrativa y Licenciada en Ingeniería Industrial por el Instituto Tecnológico de Orizaba, Veracruz, México. Ella actualmente labora en el Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca, Veracruz, México, en la División de Posgrado e Investigación en la Maestría de Ingeniería Industrial y en la División de Ingeniería

Industrial. Las líneas de investigación de su interés son: simulación y redes logísticas, estadística aplicada y productividad humana. La Maestra Fuentes pertenece al Colegio Nacional de Ingenieros Industriales (CONAI), a la Sociedad Mexicana de Investigación de Operaciones (SMIO) y a la Red Iberoamericana de Academias de Investigación (REDIBAI). Es Perfil Deseable por PRODEP y líder del Cuerpo Académico Productividad y Mejora continua.



**Flores Serrano María del Socorro.** Maestra en Ingeniería Industrial por la Universidad Cristóbal Colón de Veracruz, Licenciada en Ingeniería Industrial por el Instituto Tecnológico de Tehuacán, Puebla. Docente de tiempo completo en el Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca, reconocimiento al perfil deseable otorgado por el Prodep, colaboradora en el cuerpo académico "Productividad y Mejora Continua", Certificada en Lean Manufacturing, ponente en Congresos Nacionales e Internacionales, publicaciones en revistas con arbitraje e indizadas, directora de tesis de maestría y licenciatura.



**Sánchez Vázquez Viridiana.** Doctora en Administración y Desarrollo empresarial, egresada del Colegio de Estudios Avanzados de Iberoamérica, Xalapa, Veracruz, México. Maestra en Ingeniería con especialidad en Calidad y Productividad, egresada del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey y licenciada en Ingeniería Industrial por el Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca, Veracruz, México. Actualmente la Doctora labora en el Instituto

Tecnológico Superior de Tierra Blanca es docente de tiempo completo en la carrera de Ingeniería Industrial, forma parte del cuerpo Académico de Energías Renovables, ha participado como Instructora del Diplomado en Formación y Desarrollo de Competencias Docentes y en proyectos con financiamiento en el área de sustentabilidad y energías renovables. Además de contar con Perfil Deseable PRODEP.

# Diseño y evaluación de un controlador de lógica difusa para la extracción de la máxima potencia en un sistema fotovoltaico de 10KW interconectado a la red

K. G. Vidaña-Aldaba<sup>1</sup>, J. Lara-Cardoso<sup>1</sup>, C. Hernandez-Flores<sup>1</sup>, M. A. Arjona-López<sup>1</sup>

**Resumen** — La energía solar fotovoltaica es una fuente de energía prometedoras ya que es abundante, limpia y sustentable. Sin embargo, presenta el inconveniente de una baja eficiencia de conversión de sus paneles fotovoltaicos aunada a la intermitencia de su generación en función de las condiciones ambientales. Los algoritmos de seguimiento del punto de máxima potencia permiten operar los paneles fotovoltaicos en su punto óptimo para extraer el máximo de energía disponible. Una forma de lograrlo es aplicando un controlador lineal proporcional-integral a un convertidor elevador de voltaje conectado en cascada. Sin embargo, este controlador clásico tiene un bajo desempeño ante cambios rápidos de irradiancia solar. Considerando que la lógica difusa no requiere un modelo matemático exacto y trabaja con entradas imprecisas, este artículo presenta el diseño y evaluación de un controlador de lógica difusa para extraer la máxima potencia en un sistema fotovoltaico de 10kW interconectado a la red eléctrica mediante un convertidor trifásico con capacidades de mejoramiento de la calidad de la energía. Los resultados de simulación obtenidos en Matlab-Sim Power Systems demuestran que el controlador propuesto no solo es capaz de extraer una mayor potencia sino de hacerlo de una manera más rápida y precisa que los controladores clásicos.

**Palabras claves** — algoritmo SPMP, energía solar, lógica difusa, sistema fotovoltaico

**Abstract** — Photovoltaic solar energy is a promising source of energy since it is abundant, clean and sustainable. Nevertheless, it has the drawback of a low conversion efficiency of its photovoltaic panels along with the intermittency of its generation in function of the environmental conditions. The maximum power point tracking algorithms allow the photovoltaic panels to operate at the optimal point for extracting the maximum of the available energy. One way to achieve this is by applying a linear proportional-integral controller to a voltage boost converter connected in cascade. Nevertheless, this classic controller has a poor performance under rapid changes in solar irradiance. Considering that fuzzy logic does not require an exact mathematical model and works with imprecise inputs, this article presents the design and evaluation of a fuzzy logic controller for extracting the maximum power in a 10kW photovoltaic system interconnected to the grid by means of a three-phase converter with power quality improvement capabilities. The simulation results obtained in Matlab-SimPowerSystems demonstrate that the proposed controller not only is capable of extracting a higher power but do it in a faster and more accurate manner than the classic controllers.

**Keywords** — fuzzy logic, MPPT algorithm, photovoltaic system, solar energy

## I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, los combustibles fósiles se han ido agotando de manera gradual e inevitable, por lo que la sustentabilidad energética de futuras generaciones representa una problemática seria. Para contrarrestarla, una alternativa es el uso de fuentes de energía renovable, como la fotovoltaica que aprovecha la radiación del sol para producir electricidad. Esta es una solución prometedoras que está contribuyendo en gran medida hacia un futuro sustentable [1]. Sin embargo, para aprovechar al máximo la energía fotovoltaica es necesario extraerla y convertirla de manera óptima y eficaz mediante el uso de convertidores electrónicos de potencia (CEP). Estos convertidores están basados en dispositivos semiconductores que mediante su apertura y cierre permiten regular la transferencia de energía, así como implementar diversos algoritmos de control [2].

Un sistema fotovoltaico consiste principalmente de dos CEP. El primero de ellos es un elevador de voltaje, con el cual se implementa el algoritmo de seguimiento del punto de máxima potencia (SPMP) [3]. El segundo convertidor es un inversor, el cual transforma la corriente directa (CD) proveniente de las celdas solares fotovoltaicas en una corriente alterna (CA). Además, se encarga de compensar la distorsión armónica total (DHT) de la corriente de la red causada por la no linealidad de la carga, teniendo así un efecto positivo en la calidad de energía suministrada [4].

Los controladores de lógica difusa (CLD) han demostrado tener un alto desempeño en aplicaciones de energía fotovoltaica. Estos CLD se caracterizan por dos grandes ventajas: 1) la capacidad de trabajar con sistemas no lineales sin requerir de su modelo matemático, y 2) la capacidad de lidiar con entradas imprecisas. Distintas investigaciones han demostrado que los algoritmos SPMP basados en lógica difusa (LD) permiten extraer una mayor potencia del sistema fotovoltaico y mantener una salida estable ante cambios de temperatura e irradiancia, además de hacerlo de una manera más rápida, precisa y con mayor eficiencia que los controladores clásicos lineales como el proporcional-integral (PI) [5]-[8].

<sup>1</sup> División de Estudios de Posgrado e Investigación, TNM Instituto Tecnológico de La Laguna, Blvd. Revolución y Av. Instituto Tecnológico de La Laguna, C.P. 27000, Torreón, Coahuila, México.

\* vidanakarol@gmail.com

En este artículo, se presenta el análisis, diseño y simulación de un CLD para el seguimiento del PMP en un sistema fotovoltaico interconectado a la red. Las variables de entrada a este controlador difuso son el error  $[E]$  y la diferencia del error  $[\Delta E]$  [9], [10]. A diferencia de trabajos anteriores [11], [12], se propone 1) una base de reglas difusas únicas, 2) las entradas se fuzzifican y tratan mediante siete funciones de membresía consistentes en cinco funciones triangulares y dos funciones sigmoideas, y 3) para la variable de salida se utilizan siete funciones triangulares. La propuesta de estos siete niveles difusos permite alcanzar una mayor eficiencia del algoritmo de SPMP, en comparación con los controladores basados en cinco o tres niveles.

El presente artículo se organiza de la manera siguiente. En la sección II presenta el sistema fotovoltaico de 10kW bajo estudio, así como el modelado de todos sus componentes. El diseño del controlador de lógica difusa propuesto se describe en la sección III. La sección IV muestra los resultados de simulación obtenidos en Matlab-SimPowerSystems. Aquí también se analiza la eficiencia del CLD en comparación con el controlador PI clásico. Finalmente, la sección V presenta las conclusiones.

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

Sistema fotovoltaico bajo estudio

El sistema fotovoltaico estudiado se muestra en la Figura 1. Sus componentes son: el arreglo fotovoltaico serie/paralelo de 10kW, el controlador de lógica difusa y el lineal, el convertidor elevador para el SPMP y el inversor trifásico binomial que funciona como un filtro activo paralelo y que se interconecta a la red eléctrica y a la carga. Se puede observar que la entrada del módulo fotovoltaico tiene un par de señales, una constante para la temperatura, y otra variante en el tiempo para la irradiancia solar. Observe que la salida  $G$  del bloque de control del algoritmo SPMP se envía a la compuerta del MOSFET del convertidor elevador de voltaje.

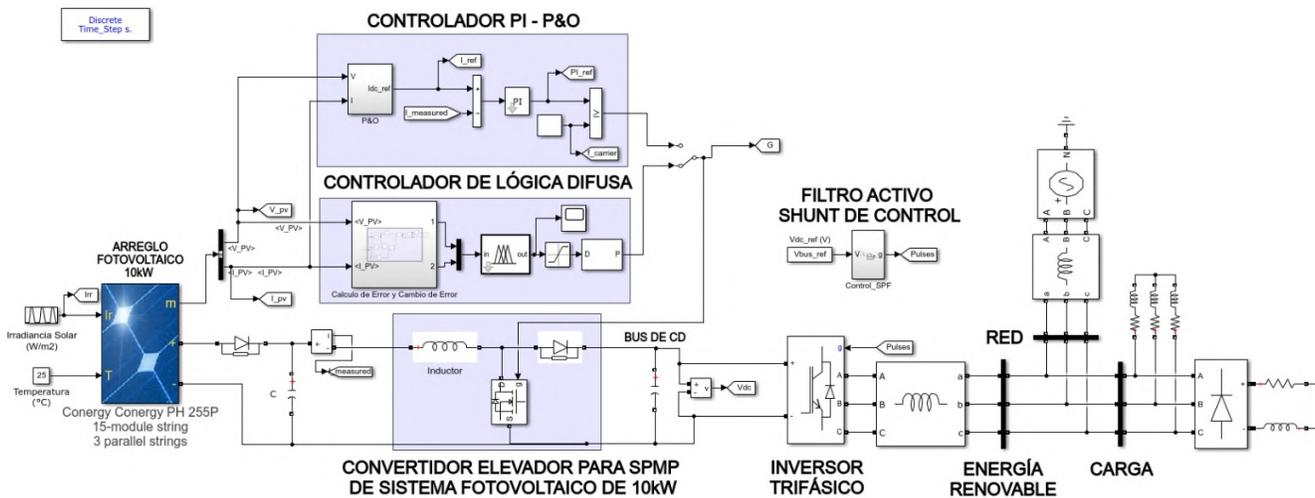


Figura 1. Diagrama a bloques del sistema fotovoltaico bajo estudio

A. Modelado de las Celdas Fotovoltaicas y Obtención de las Curvas Características.

El modelo de un panel fotovoltaico se basa en el de una celda fotovoltaica, el cual consiste de una fuente de corriente, un diodo que representa la no linealidad de la celda, una resistencia en serie  $R_s$  y otra en paralelo  $R_p$ . Estas resistencias representan las pérdidas asociadas al material de la celda y a las fugas de corriente, respectivamente.

En la Figura 2, se muestra el circuito equivalente del modelo de una celda fotovoltaica [13].

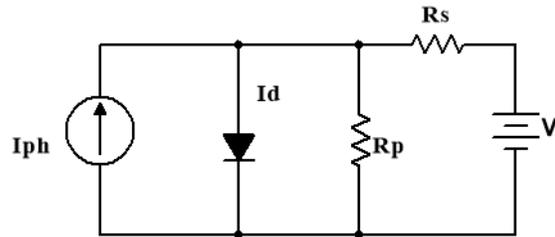


Figura 2. Circuito del modelo de una celda fotovoltaica

La corriente neta  $I$  de una celda fotovoltaica está dada por la expresión:

$$I = I_{ph} - I_o \left[ \exp \left( \frac{q(V + IR_s)}{kT_c A} \right) - 1 \right] - \left[ \frac{V + IR_s}{R_p} \right] \quad (1)$$

donde

- $I_{ph}$  es la fotocorriente
- $I_d$  es la corriente del diodo
- $k$  es la constante de Boltzmann ( $1.381 \times 10^{-23}$  J/K)
- $T_c$  es la temperatura absoluta de la celda (K)
- $q$  es la carga del electrón ( $1.602 \times 10^{-19}$  J/V)
- $V$  es el voltaje de salida (V)
- $I_o$  es la corriente de saturación (A)
- $A$  es el factor de idealidad

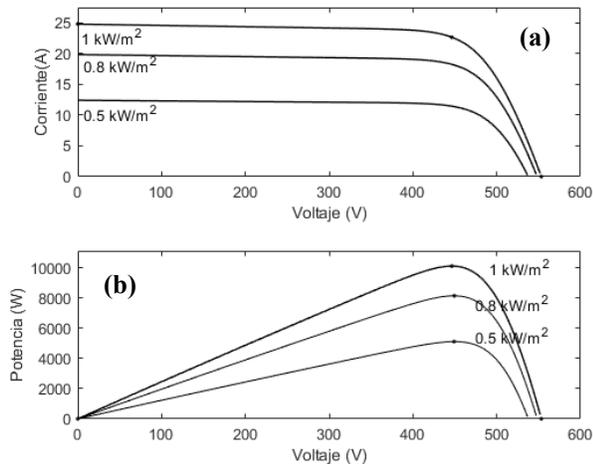


Figura 3. a) Curvas V-I. b) Curvas V-P

La herramienta de Matlab-SimPowerSystems cuenta con un bloque de panel solar fotovoltaico, el cual incluye una gran variedad de paneles comerciales. En el presente trabajo se han aprovechado los recursos de este bloque para generar las curvas características de voltaje-corriente (V-I) y de voltaje-potencia (V-P). El modelo de los paneles fotovoltaicos utilizados en la simulación es CONERGY PH 255P. El arreglo de 10kW bajo estudio consiste de 15 módulos en serie y 3 en paralelo. Las curvas V-I y V-P obtenidas para este sistema fotovoltaico se muestran en la Figura 3. Para esto, se consideró una temperatura ambiente de  $T=25\text{ }^{\circ}\text{C}$  e irradiancias solares de 1000, 800 y 500  $\text{W}/\text{m}^2$ , respectivamente. Estas gráficas además permiten conocer la corriente de corto circuito  $I_{SC}$ , el voltaje de circuito abierto  $V_{OC}$ , y el punto de máxima potencia tanto de un panel fotovoltaico como del arreglo total, el cual seguirá en todo momento el algoritmo SPMP.

### B. Convertidor Elevador de Voltaje

El convertidor elevador también denominado troceador en paralelo, transforma el voltaje de entrada de CD en otro de CD

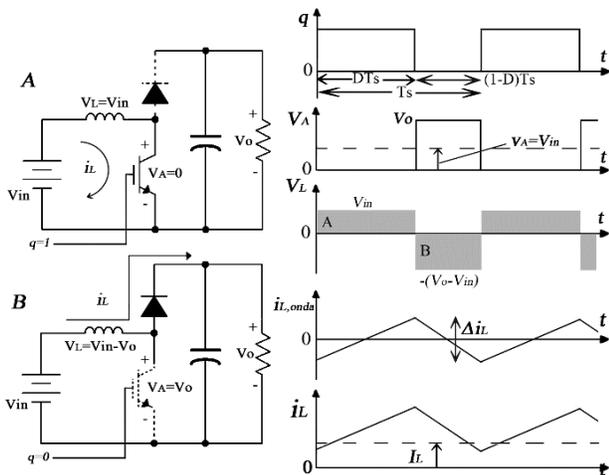


Figura 4. Circuito eléctrico del convertidor elevador y sus formas de onda

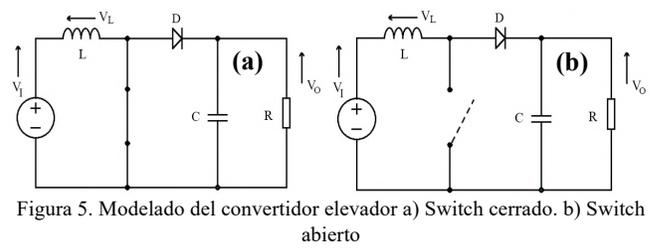


Figura 5. Modelado del convertidor elevador a) Switch cerrado. b) Switch abierto

de salida de mayor magnitud. Su comportamiento con el switch tanto abierto como cerrado se ilustra en la Figura 4.

En la Figura 5, se muestra el circuito del convertidor elevador, en sus dos estados posibles. Cuando el switch está cerrado, la corriente de la fuente circula solo a través del inductor pues el diodo está polarizado inversamente. Por lo que

$$V_L = V_i \quad (2)$$

$$v_L = V_i = L \frac{di_L}{dt} \quad (3)$$

$$\int_0^{DT_s} di_L = I_L(DT_s) - I_L(0) = \Delta i_{L_{on}} \quad (4)$$

$$\Delta i_{L_{on}} = \int_0^{DT_s} \frac{v_L}{L} dt = \int_0^{DT_s} \frac{V_i}{L} dt = \frac{V_i DT_s}{L} \quad (5)$$

mientras que, cuando el switch está abierto, la corriente fluye hasta la carga RC a través del inductor y el diodo polarizado directamente. De esta manera se tiene que

$$V_L = -(V_i - V_o) \quad (6)$$

$$v_L = -(V_i - V_o) = L \frac{di_L}{dt} \quad (7)$$

$$\int_{DT}^{T_s} di_L = I_L(T_s) - I_L(DT_s) = \Delta i_{L_{off}} \quad (8)$$

$$\Delta i_{L_{off}} = \int_{DT_s}^{T_s} \frac{v_L}{L} dt = - \int_{DT_s}^{T_s} \frac{V_i - V_o}{L} dt = - \frac{(V_i - V_o)(1 - D)T_s}{L} \quad (9)$$

En cada estado el área bajo la curva de  $V_L$  es igual en magnitud, pero de signo opuesto, por lo que su suma durante un ciclo es igual a cero. Así, las corrientes que circulan en cada estado también son iguales y se cumple lo siguiente:

$$\Delta i_{L_{on}} - \Delta i_{L_{off}} = \frac{V_i DT_s}{L} + \frac{(V_i - V_o)(1 - D)T_s}{L} = 0 \quad (10)$$

Finalmente, el voltaje de salida  $V_o$  en función del voltaje de entrada  $V_i$  y el ciclo de trabajo  $D$  se expresa como:

$$V_o = \frac{1}{1 - D} V_i \quad (11)$$

dato que  $D$  varía de 0 a 1, entonces  $V_o$  siempre es igual o mayor que  $V_i$ . El valor de  $D$  será proporcionado por el controlador de lógica difusa diseñado o el controlador PI.

C. Algoritmo de SPMP P&O

El método de perturbación y observación (P&O) se basa en el criterio de variar el voltaje a la salida del arreglo fotovoltaico en una dirección positiva y evaluar si aumenta la potencia o disminuye, en caso de aumentar se continua así hasta que se encuentre el punto de máxima potencia (PMP) [14]. En el caso de que el cambio en la potencia resulte negativo, la perturbación tendrá ahora un sentido contrario al anterior. El algoritmo P&O basado en estas condiciones y la diferencia de potencia ( $\Delta P$ ) se ilustra en la Figura 6 y se resume como:

- a) Si  $\Delta P > 0$ , se encuentra a la izquierda del PMP y se debe incrementar el voltaje.
- b) Si  $\Delta P = 0$ , la pendiente de la curva es cero y se ha encontrado el PMP.
- c) Si  $\Delta P < 0$ , se encuentra a la derecha del PMP y debe decrementar el voltaje.

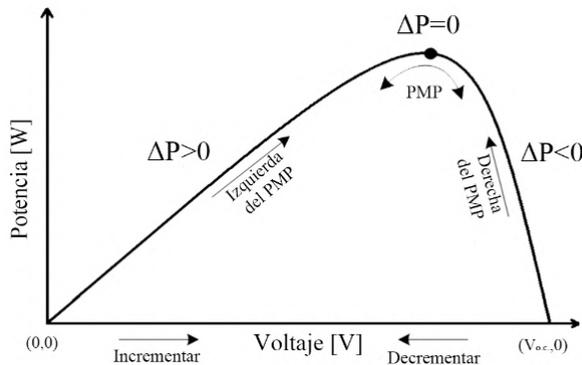


Figura 6. Algoritmo de P&O [14]

D. Convertidor Trifásico Binivel

Un convertidor de fuente de voltaje (CFV) trifásico binivel alimentando una carga trifásica en estrella se muestra en la Figura 7. Esta topología consiste de un arreglo de 3 switches ( $S_a, S_b, S_c$ ) en la parte superior, y otros tres en la parte inferior ( $S'_a, S'_b, S'_c$ ) que funcionan de manera complementaria a los primeros con el fin de evitar un corto circuito en el bus de CD. La combinación de cerrado '1' y abierto '0' de los 6 switches, da lugar a 8 posibles combinaciones que generan distintas rutas de flujo de corriente y voltajes de salida.

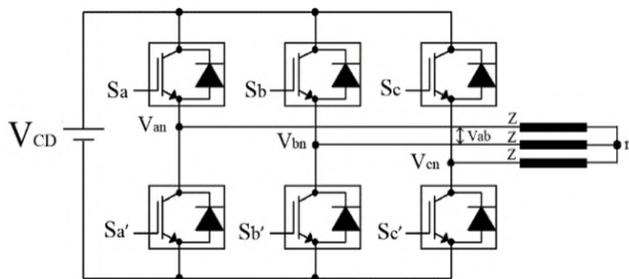


Figura 7. Convertidor trifásico binivel de fuente de voltaje

La Tabla I resume los voltajes resultantes en función del patrón de conmutación de sus switches.

TABLA I. ESTADOS DE CONMUTACIÓN DEL INVERSOR BINIVEL

VECTORES DE VOLTAJE	PATRÓN DE CONMUTACIÓN			VOLTAJES					
	$S_a$	$S_b$	$S_c$	DE FASE			DE LÍNEA		
				$V_{an}$	$V_{bn}$	$V_{cn}$	$V_{ab}$	$V_{bc}$	$V_{ca}$
$V_0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$V_1$	1	0	0	2/3	-1/3	-1/3	1	0	-1
$V_2$	1	1	0	1/3	1/3	-2/3	0	1	-1
$V_3$	0	1	0	-1/3	2/3	-1/3	-1	1	0
$V_4$	0	1	1	-2/3	1/3	1/3	-1	0	1
$V_5$	0	0	1	-1/3	-1/3	2/3	0	-1	1
$V_6$	1	0	1	1/3	-2/3	1/3	1	-1	0
$V_7$	1	1	1	0	0	0	0	0	0

Los voltajes de fase y de línea se calculan a partir de la combinación de los switches superiores utilizando las siguientes matrices:

$$\begin{bmatrix} V_{an} \\ V_{bn} \\ V_{cn} \end{bmatrix} = \frac{V_{CD}}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_a \\ S_b \\ S_c \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$\begin{bmatrix} V_{ab} \\ V_{bc} \\ V_{ca} \end{bmatrix} = V_{CD} \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_a \\ S_b \\ S_c \end{bmatrix} \quad (13)$$

E. Filtro Activo Paralelo

En el sistema fotovoltaico bajo estudio, el filtro activo paralelo tiene el objetivo de compensar las corrientes armónicas generadas por la carga no lineal y mantener una corriente sinusoidal en la red eléctrica. Así, el sistema opera con una distorsión armónica por debajo de los límites permitidos y se mejora la calidad de la energía generada.

La Figura 8 muestra el diagrama del algoritmo de control indirecto que compensa los armónicos generados por la carga no lineal [15]. Observe como el voltaje del bus de CD se controla mediante un PI, cuya salida es multiplicada con los voltajes de referencia unitarios para así generar las corrientes de referencia. El error de corriente finalmente entra a la modulación de espacio vectorial de donde se obtienen las seis señales de conmutación para el convertidor de la Figura 7.

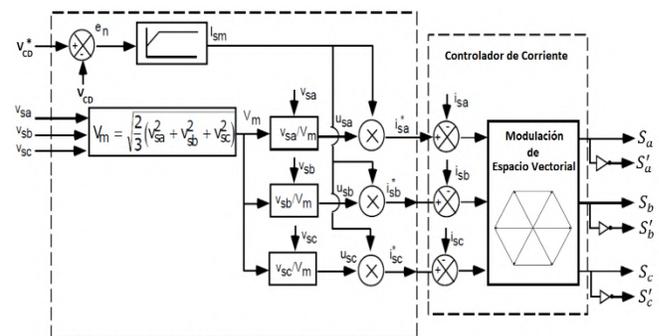


Figura 8. Técnica de control indirecto del filtro activo [15]

Algoritmo de SPMP basado en lógica difusa

Los controladores de lógica difusa son muy utilizados en aplicaciones de energías renovables, ya que son sencillos de implementar, tienen un buen desempeño considerando la no linealidad del sistema y no requieren conocer su modelo matemático exacto. En este trabajo, el controlador de lógica difusa se ha diseñado para seguir el punto de máxima potencia del sistema fotovoltaico de 10kW bajo condiciones climáticas cambiantes. Los CLD constan de tres fases: fuzzificación, inferencia y defuzzificación.

- 1) En la fuzzificación las entradas del controlador se convierten en variables lingüísticas. Las entradas propuestas del CLD son el error  $E$  y la diferencia de error  $\Delta E$  definidas como:

$$E(n) = \frac{dP}{dV} = \frac{P(n) - P(n-1)}{V(n) - V(n-1)} \quad (14)$$

$$\Delta E(n) = E(n) - E(n-1) \quad (15)$$

donde  $P$  y  $V$  son la potencia y el voltaje del arreglo fotovoltaico, respectivamente. La salida del controlador es por conocimiento del sistema, el cambio en el ciclo de trabajo  $\Delta D$  del convertidor elevador.

- 2) La inferencia consiste en crear un conjunto de reglas. En el sistema fotovoltaico las reglas son basadas en el convertidor elevador de voltaje. En la Tabla II, se muestra el conjunto de reglas correspondiente al proceso de inferencia. Para esto se han propuesto los siguientes siete niveles difusos: NB (Negative Big), NM (Negative Medium), NS (Negative Small), ZE (Zero), PS (Positive Small), PM (Positive Medium) y PB (Positive Big).
- 3) Para el proceso de defuzzificación, la salida del controlador es convertida a una variable numérica mediante funciones de membresía. Así, se podrá controlar el ciclo de trabajo del convertidor elevador en base al PMP.

La Figura 9 muestra estas funciones membresía correspondientes a las entradas  $E$  y  $\Delta E$ , así como a la salida.

TABLA II. REGLAS DIFUSAS

		$\Delta E$						
		NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
$E$	NB	PB	PM	PS	NS	NS	NM	NB
	NM	PM	PS	PS	NS	NS	NS	NM
	NS	PS	PS	PS	NS	NS	NS	NS
	ZE	NS	NS	PS	ZE	ZE	NS	NS
	PS	NS	NS	NS	PS	PS	PS	PS
	PM	NM	NM	NS	PS	PS	PS	PS
	PB	NB	NB	NM	PS	PS	PM	PB

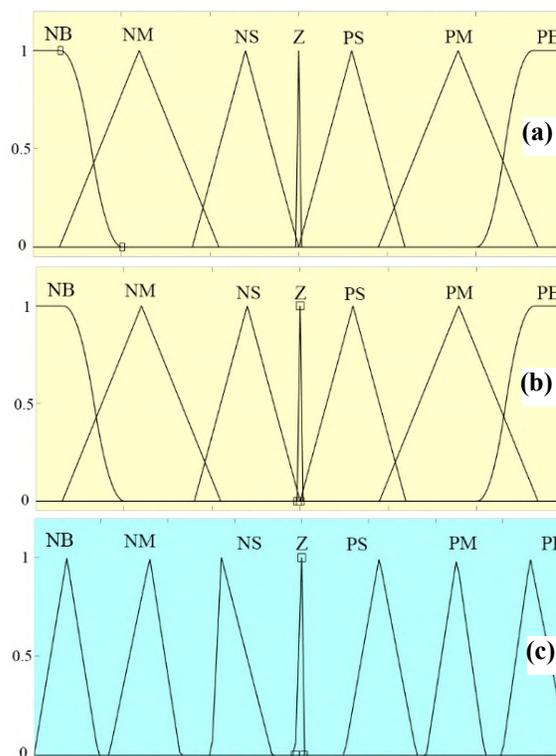


Figura 9. Funciones membresía. a) Entrada  $E$ . b) Entrada  $\Delta E$ . c) Salida  $\Delta D$

$\Delta D$ . Estas funciones de membresía han sido ajustadas en base a prueba y error hasta obtener un resultado de alto desempeño y máxima eficiencia.

III. RESULTADOS

El sistema fotovoltaico de la Figura 1 se simuló en Matlab-SimPowerSystems considerando condiciones de temperatura nominal a 25 °C y de irradiancia solar cambiante en el rango de  $500W/m^2$  a  $1000W/m^2$ . Mediante la secuencia repetitiva mostrada en la Tabla III se especificó el perfil trapezoidal de variación para la irradiancia solar.

En la Figura 10, se observan las trayectorias completas del seguimiento del PMP, tanto con el controlador LD como con el controlador PI de P&O para una irradiancia cambiante a 25 °C. Es notable que ambos controladores siguen el punto de máxima potencia con una alta precisión. Sin embargo, se nota como el controlador de lógica difusa lo hace con una mayor exactitud.

En la Figura 11, se muestra la potencia obtenida con ambos controladores para una irradiancia de  $500W/m^2$  a 25 °C. Los resultados para una irradiancia solar de  $1000W/m^2$  a 25 °C se muestran en la Figura 12.

La Tabla IV muestra un análisis comparativo de la eficiencia obtenida con los dos controladores SPMP. Es importante notar que en ambos casos el controlador de lógica difusa alcanzó una mayor eficiencia que el controlador PI.

A continuación, se analiza la calidad del voltaje y de la corriente de la red eléctrica, y también se identifica si están en

Tabla III. Parámetros para la simulación de Irradiancia solar

TIEMPO [s]	[ 0 0.5 1.5 2.5 3.5 4 ]
IRRADIANCIA [ $W/m^2$ ]	[ 500 500 1000 1000 500 500 ]

Tabla IV. Comparación de eficiencia de los controladores SPMP

PARÁMETROS		EFICIENCIA	
Irradiancia ( $W/m^2$ )	Temperatura ( $^{\circ}C$ )	Controlador LD	Controlador PI
500	25	97.84%	95.44%
1000	25	98.3%	92.9%

fase o fuera de fase para así deducir cuando la red está suministrando o recibiendo energía. Este análisis se realiza en los primeros dos segundos de la simulación.

La Figura 13 muestra que en  $t = 1s$ , el voltaje y la corriente se encuentran en fase, lo que significa que la red eléctrica suministra la potencia para alimentar la carga. Por el

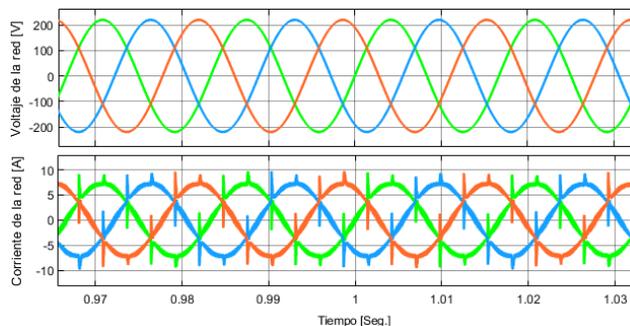


Figura 13. Voltaje y corriente de la red eléctrica en fase

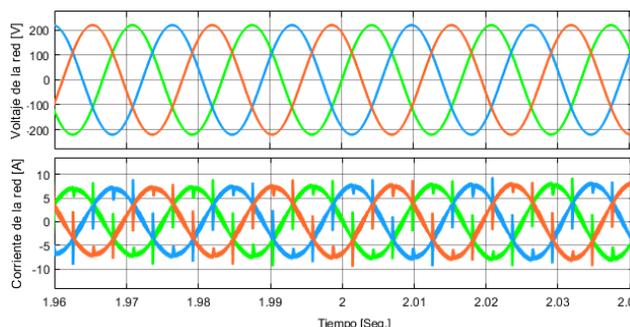


Figura 14. Voltaje y corriente de la red eléctrica fuera de fase

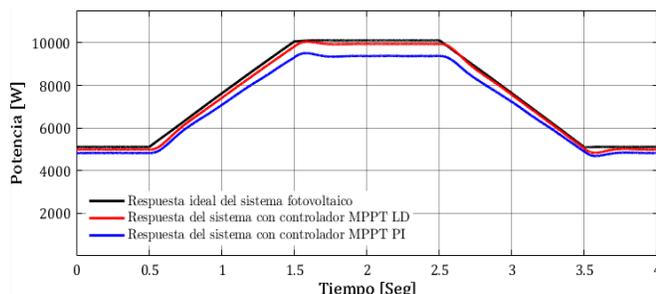


Figura 10. Respuesta completa del sistema a 25  $^{\circ}C$  con ambos controladores SPMP: LD y PI

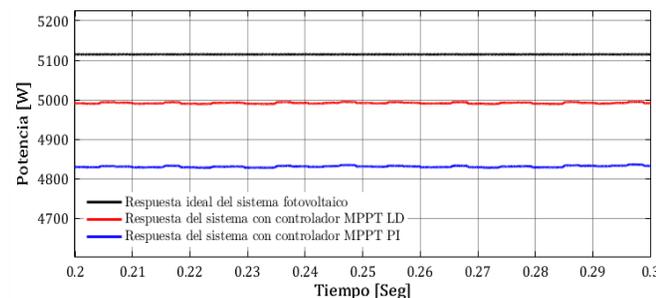


Figura 11. Respuesta del sistema a 500 $W/m^2$  y 25  $^{\circ}C$  con ambos controladores SPMP: LD y PI

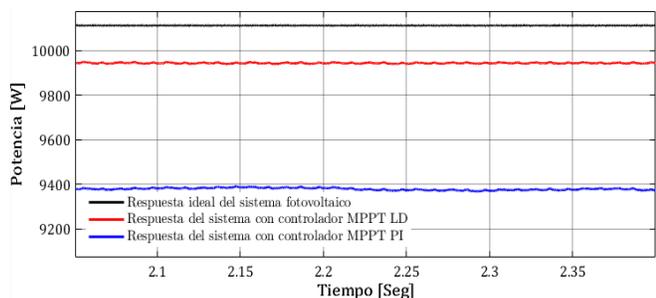


Figura 12. Respuesta del sistema a 1000 $W/m^2$  y 25  $^{\circ}C$  con ambos controladores: LD y PI

contrario, en la Figura 14 se nota que en  $t = 2s$  se encuentran defasados 180°. Esto debido a que ahora el sistema fotovoltaico está produciendo energía suficiente para alimentar la carga y envía el excedente a la red eléctrica. Una característica importante de la corriente de la red es que tiene forma senoidal debido a la correcta compensación de los armónicos generados por la carga no lineal. El filtro activo paralelo basado en la técnica de control indirecto permite llevar acabo esta compensación utilizando el mismo inversor trifásico binivel encargado de la regulación e integración de la energía producida por el arreglo fotovoltaico.

#### IV. CONCLUSIONES

Este artículo presentó el diseño y la evaluación de un controlador de lógica difusa para la extracción de la máxima potencia de un sistema fotovoltaico de 10kW interconectado a la red eléctrica. Se evaluó el desempeño y eficiencia del CLD y se comparó con la de un controlador PI basado en el algoritmo P&O. Ambos controladores se probaron bajo condiciones variables de irradiancia solar y a temperatura constante. Los resultados de la simulación mostraron que el CLD no solo sigue correctamente el PMP, sino que lo hace con una mayor eficiencia, pues para una irradiancia de 1000  $W/m^2$ , el CLD alcanzó una eficiencia de 98%, mientras que con el controlador PI fue de tan solo 93%. Al analizar y comparar las trayectorias del seguimiento de máxima potencia obtenidas con ambos controladores se puede concluir que el controlador basado en lógica difusa supera en general al controlador PI, ya que logró un mejor rendimiento y un menor tiempo de respuesta, por lo que es el más viable para aplicaciones de energía fotovoltaica de alto desempeño.

## V. AGRADECIMIENTOS

K. G. Vidaña-Aldaba agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico otorgado en el marco del "Programa de Becas Nacionales para Estudios de Posgrado" con número de solicitud 2022-000002-01NACF-00971.

Los autores también agradecen al TNM y al Instituto Tecnológico de La Laguna por el apoyo económico recibido para el desarrollo del presente trabajo de investigación.

## VI. REFERENCIAS

- [1] Hester R.E, Harrison R.M. y Elliot. D. (2003). "Sustainable Energy: Choices, problems and opportunities", *Sustainability and Environmental Impact of Renewable Energy Sources* (19-48). London: Royal Society of Chemistry. DOI: 10.1039/9781847551986-00019.
- [2] Xiao W., El Moursi M. S., Khan O. y Infield D. (2016). "Review of grid-tied converter topologies used in photovoltaic systems," *IET Ren. Power Gen.*, vol. 10, no. 10, pp. 1543-1551. DOI: 10.1049/iet-rpg.2015.0521.
- [3] Subudhi B. y Pradhan R. (2013). "A Comparative Study on Maximum Power Point Tracking Techniques for Photovoltaic Power Systems," *IEEE Trans. Sustainable Energy*, vol. 4, pp. 89-98. DOI: 10.1109/TSTE.2012.2202294.
- [4] Boukadoum A. y Bahi T. (2014). "Fuzzy Logic Controlled Shunt Active Power Filter for Harmonic Compensation and Power Quality Improvement," *Journal of Engineering Science and Technology Review*, vol. 7, no. 4, pp. 143-149. DOI: 10.25103/jestr.074.23.
- [5] Noman A. M., Addoweesh K. E. y Mashaly H. M. (2012). "A fuzzy logic control method for MPPT of PV systems," *38th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society (IECON)*, pp. 874-880. DOI: 10.1109/IECON.2012.6389174.
- [6] M. L. Shah, A. Dhaneria, P. S. Modi, H. Khambhadiya y K. K. D. (2020). "Fuzzy Logic MPPT for Grid Tie Solar Inverter," *IEEE International Conference for Innovation in Technology (INOCN)*, pp. 1-6. DOI: 10.1109/INOCN50539.2020.9298323.
- [7] M. S. Bouakkaz, A. Boukadoum, O. Boudebouz, I. Attoui, N. Boutaseta y A. Bouraiou. (2020). "Fuzzy Logic based Adaptive Step Hill Climbing MPPT Algorithm for PV Energy Generation Systems," *International Conference on Computing and Information Technology (ICCIIT-1441)*, pp. 1-5. DOI: 10.1109/ICCIIT-144147971.2020.9213737.
- [8] S. Siddula. (2020). "Analysis of Fuzzy Logic Based MPPT Using Incremental Conductance Technique for PV Cell," *Conference on Smart Technologies in Computing, Electrical and Electronics (ICSTCEE)*, pp. 180-185. DOI:10.1109/ICSTCEE49637.2020.9277172.
- [9] R. Sankar, S. Velladurai, R. Rajarajan y J. A. Thulasi. (2017). "Maximum power extraction in PV system using fuzzy logic and dual MPPT control," *International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing (ICECDS)*, pp. 3764-3769. DOI: 10.1109/ICECDS.2017.8390168.
- [10] C. B. Prasad, S. K. Sonam, B. R. G. Reddy y P. Harika (2017), "A fuzzy logic based MPPT method for solar power generation," *2017 International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS)*, pp. 1182-1186. DOI: 10.1109/ICCONS.2017.8250654.
- [11] M. Dabboussi, A. Hmidet and O. Boubaker (2020), "An efficient Fuzzy Logic MPPT Control Approach for Solar PV System: A Comparative Analysis with the Conventional Perturb and Observe Technique," *6th IEEE International Energy Conference (ENERGYCon)*, pp. 366-371, DOI: 10.1109/ENERGYCon48941.2020.9236503.
- [12] Ray P. K., Das S. R. y Mohanty A. (2019). "Fuzzy-Controller-Designed-PV-Based Custom Power Device for Power Quality Enhancement," *IEEE Trans. Energy Conversion*, vol. 34, no. 1, pp. 405-414. DOI: 10.1109/TEC.2018.2880593.

- [13] Granda-Gutiérrez E. E. et al. (2013). "Modelado y simulación de celdas y paneles solares," *Congreso Internacional de Ingeniería Electrónica*, vol. 35, pp. 17-22. DOI: 10.13140/2.1.4192.8968.
- [14] Ali A. I. M., Mohamed E. E. M. y Youssef A.-R. (2017). "MPPT algorithm for grid-connected photovoltaic generation systems via model predictive controller," *Nineteenth International Middle East Power Systems Conference (MEPCON)*, pp. 895-900. DOI: 10.1109/MEPCON.2017.8301286.
- [15] Singh B. N., Chandra A. y Al-Haddad K. (1998). "Performance comparison of two current control techniques applied to an active filter," *8th International Conference on Harmonics and Quality of Power*, vol. 1, pp. 133-138. DOI: 10.1109/ICHQP.1998.759859.

## VII. BIOGRAFÍA



**Vidaña Aldaba Karol Gabriel** es egresado de la carrera de Ingeniería Electrónica con la especialidad de Mecatrónica y Control, del Instituto Tecnológico de La Laguna en la ciudad de Torreón, Coahuila, México en 2021.

Él actualmente estudia la Maestría en Ciencias de Ingeniería Eléctrica perteneciente al PNPC del CONACYT, en la línea de investigación de Potencia y Energías Renovables dentro de la División de Estudios de Posgrado e Investigación del Instituto Tecnológico de La Laguna, Torreón, Coahuila, México. Sus áreas de interés son la energía fotovoltaica y la electrónica de potencia.



**Lara Cardoso Jorge** obtuvo el grado de Doctor en Ingeniería Eléctrica de la Université du Québec-École de Technologie Supérieure (ÉTS), Montreal, Canadá, en 2017. Actualmente es profesor investigador en la División de Estudios de Posgrado e Investigación del Instituto Tecnológico de la Laguna (ITL), Torreón, Coahuila, México.

El Dr. Lara es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) de México teniendo la distinción de Investigador Nacional Nivel I. También es revisor activo de las revistas IEEE Transactions on Industrial Electronics, IEEE Transactions on Power Electronics, IEEE Transactions on Energy Conversion, IEEE Access e IET Electric Power Applications. Sus intereses de investigación incluyen electrónica de potencia, energías renovables eólica y fotovoltaica, calidad de la energía, filtrado activo, máquinas eléctricas y drives, vehículos eléctricos y control en tiempo real basado en DSP.



**Hernández Flores Concepción** recibió el grado de Ingeniería Sistemas Computacionales del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Morelos en 1990, el grado de Maestría en Ciencias en Fundamentos de Tecnología de la Información Avanzada en el Imperial College, de Londres, Inglaterra en 1995, y el grado de Doctor en Ciencias en Ingeniería Eléctrica del Instituto Tecnológico de la Laguna en Torreón, México, en 2007. Laboró con el Departamento de Simulación del Instituto de Investigaciones Eléctricas desde 1991 hasta el 2000. Actualmente trabaja en el Instituto Tecnológico de la Laguna, en Torreón, México. Sus áreas de interés son inteligencia artificial, optimización, máquinas eléctricas y energías renovables.



**Arjona López Marco A.** recibió el grado de Ingeniería Eléctrica del Instituto Tecnológico de Durango, México en 1988, el grado de Maestría en Ciencias en Ingeniería Eléctrica en 1990 y el grado de Doctor en Filosofía en Ingeniería Eléctrica del Imperial College, Londres, Inglaterra en 1996. Laboró con el Departamento de Simulación del Instituto de Investigaciones Eléctricas desde 1991 hasta 1999. Actualmente es Profesor de Máquinas Eléctricas en el Instituto Tecnológico de la Laguna.

Sus intereses son el diseño, análisis y control de máquinas eléctricas y energías renovables.

# Modelo de simulación en SIMIO del proceso de arribo de vuelos internacionales de un aeropuerto en el estado de Puebla

L. M. González Cos-Alcocer<sup>1</sup>, L. Fuentes-Rosas<sup>2</sup>, L.G. Tobón-Galicia<sup>2</sup>, M. Hernández-Cortez<sup>2</sup>

**Resumen**— Se realizó un estudio de simulación en SIMIO para la optimización del proceso de arribo (registro) de pasajeros de vuelos internacionales de un aeropuerto de la ciudad de Puebla México. El proceso de arribo presenta congestión de pasajeros debido a las medidas de contingencia sanitaria por el COVID-19 provocando que un pasajero espere más de 20 minutos para salir del sistema. El objetivo del estudio es evaluar la viabilidad de obtener una redistribución del área en cuestión, a través de un modelo de simulación (MS) representativo del sistema actual. Se aplicó la metodología de Law & Kelton (2014) para la obtención de dicho modelo. Se identificaron seis variables de entrada de las cuales se recabó información y se construyeron bases de datos. Las bases de datos fueron tratadas estadísticamente mediante pruebas de bondad de ajuste ajustándose a distribuciones de probabilidad uniforme y lognormal. Como resultado se obtuvo, con un 95% de confianza, un gemelo digital del sistema de arribos de pasajeros al área internacional de dicho aeropuerto en el cual se probará la redistribución de planta.

**Palabras claves**—aeropuerto, distribución de planta, logística, SIMIO, simulación

**Abstract**— A simulation study was carried out in SIMIO for the optimization of the process of arrival (registration) of passengers of international flights from an airport in the city of Puebla Mexico. The arrival process presents congestion of passengers due to the sanitary contingency measures due to COVID-19 causing a passenger to wait more than 20 minutes to leave the system. The objective of the study is to evaluate the feasibility of obtaining a redistribution of the area in question, through a simulation model (MS) representative of the current system. The methodology of Law & Kelton (2014) was applied to obtain this model. Six input variables were identified from which information was collected and databases were constructed. The databases were statistically treated by goodness of fit tests adjusting to uniform and lognormal probability distributions. As a result, a digital twin of the passenger arrivals system to the international area of said airport was obtained with 95% confidence, in which the redistribution of the plant will be tested.

**Keywords**—airport, layout planning, logistics, SIMIO, simulation

## I. INTRODUCCIÓN

En el invierno de 2019 – 2020 se desató un virus a nivel internacional (Covid-19) que paralizó a la mayoría de las actividades mientras se adoptaban las medidas y controles de esta nueva enfermedad [1], así como se estudiaba su desarrollo en las personas infectadas y como se podía controlar.

La reactivación de las actividades económicas en la época COVID presenta un nuevo reto ya que el virus y sus consecuencias en la salud de las personas generan una situación de control rígido en cuanto a higiene personal, aislamiento social y sana distancia entre las individuos [2], se generaliza el uso de cubrebocas, la toma de temperatura, lavado de manos a profundidad, desinfección con gel antibacterial u otro desinfectante, lo cual ha generado un proceso riguroso en todos los hogares, oficinas y comercios, así como cuestionario médico y revisión en caso de ameritarlo [3]. Sólo actividades realmente esenciales no se detuvieron en los primeros meses de esta contingencia [4], situación que ha generado en todos los sectores económicos, de producción de bienes como servicios, requieran de cambios y ajustes en todos los procesos a los que se llamarán protocolos, las organizaciones que deseen permanecer en estos tiempos deben adoptar una variada serie de protocolos de bioseguridad [5] para garantizar a los clientes o usuarios seguridad al realizar trámites, compras o consultas dentro de ellas [6]. La industria de servicios que gira alrededor de la aeronáutica no se ha quedado atrás debe innovarse constantemente, dentro de estas empresas se tienen las que dan servicio a las líneas aéreas y a los clientes finales que son los pasajeros.

De acuerdo con las nuevas disposiciones en materia de espacios para evitar contagios, los aforos antiguos han disminuido [7], optimizando el espacio y brindando la atención adecuada al pasajero sin aglomeraciones. “Esto [la arquitectura] se proyecta con dispositivos detectores de Covid-19 incorporados a las entradas de las estructuras o espacios, se plantea el diseño con materiales antibacteriano y

Héroes de Puebla, Col PEMEX, C.P. 95180., Tierra Blanca, Veracruz, México.

\*luis.gca@alvarado.tecnm.mx

<sup>1</sup> Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Alvarado, División de Estudios de Ingeniería Industrial, Escolleras Norte S/N, Col La Trocha, C.P. 95250, Alvarado, Ver.

<sup>2</sup> Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca, División de Estudios de Ingeniería Industrial, Av. Veracruz s/n, Esq.

de sencilla desinfección como el cobre y el bronce, debe ser un planeamiento que facilite el cumplimiento de las medidas de bioseguridad y la distancia de 1,5m a 2m entre cada individuo” [8]. Para Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA) estas medidas representan un reto debido a que en cada uno de sus unidades de negocio deben de establecerse controles y medidas para salvaguardar la seguridad de los pasajeros y el personal que labora en cada área de trabajo, una de las más crítica es el área de inmigración, ya que por los controles es más lenta que el resto generando cuellos de botellas y aglomeraciones.

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

Metodología

Para la realización del presente trabajo se siguió la metodología propuesta por Law y Kelton [9] que consta de 10 pasos, mismos que se ilustran en la figura 1.

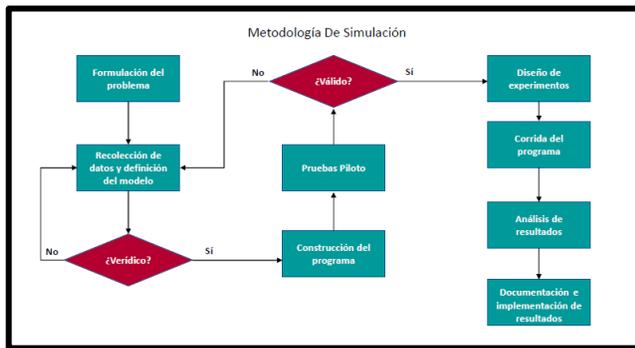


Figura 1. Metodología de simulación (Fuente [9])

A. Formulación del problema.

La parte del sistema a modelar se encuentra dentro del Aeropuerto Hermanos Serdán (AHS) de la ciudad de Puebla, México. La sala de arribo de pasajeros internacionales es un vestíbulo de 167.44 m<sup>2</sup> el cual conecta con el vestíbulo de migración y el de sanidad en donde se cuenta con 72 m<sup>2</sup> de espacio, más un par de oficinas donde se llevan a cabo revisiones más exhaustivas de tanto de condiciones migratorias como de salud, de ser así necesarias.

B. Recolección de datos y formulación del modelo.

El proceso del sistema que se simuló, queda definido con las actividades siguientes:

- Banda transportadora.
- Migración.
- Control sanitario.
- Aduana y Semáforo Fiscal.
- Revisión.
- Pago de derechos.

El proceso que siguen los pasajeros se aprecia en la figura 2. Como puede observarse el proceso inicia con el desembarque de la nave e ingreso a la sala de llegadas internacionales se encuentran dos variantes, que el equipaje

vaya documentado en la sección de carga o que lo lleven como equipaje ligero de mano. Estos últimos serán los primeros en ingresar al sistema haciendo una fila de espera en el proceso de migración, posteriormente pasarán a control sanitario, declaración de aduanas y semáforo fiscal. Los seleccionados pasan a revisión de equipaje, si exceden la franquicia de importación son remitidos a pagar los derechos correspondientes para después salir del sistema.

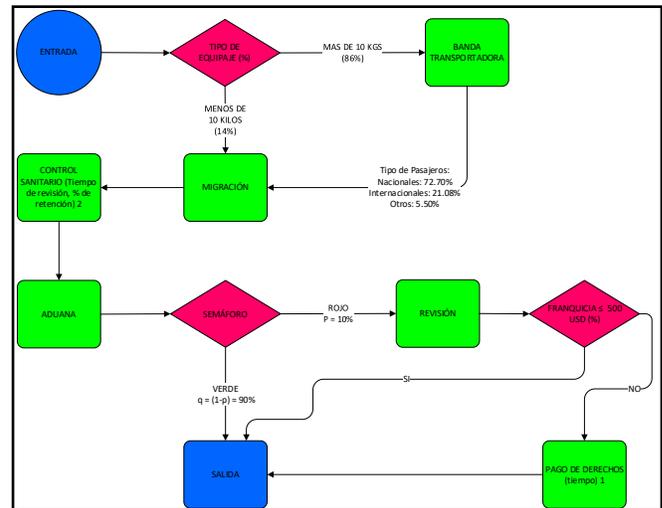


Figura 2. Diagrama de flujo de proceso de arribo

La toma de datos significó la identificación de las variables de entrada al sistema, y posteriormente se realizó la toma de datos durante el período comprendido del julio a octubre de 2021. Se identificaron ocho variables, se muestran en la tabla 1.

TABLA I. VARIABLES DEL MODELO DE SIMULACIÓN

Número de Variable	Descripción (tiempo)
1	Tiempo de arribo de pasajeros
2	Número de pasajeros por viaje
3	Tiempo de espera por equipaje en banda transportadora
4	Tiempo de atención en área de migración
5	Tiempo de atención en control sanitario
6	Tiempo de atención en aduana-semáforo
7	Tiempo de atención de área de revisión
8	Tiempo de atención en área de pago de servicios

El análisis estadístico de las variables implicó la realización de pruebas de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov y Anderson Darling, para ello se utilizó el software Stat::Fit versión 3. Los resultados de las pruebas arrojaron que todas las variables se ajustaron a distribuciones teóricas

conocidas. La figura 3 muestra el tratamiento estadístico de una de ellas.

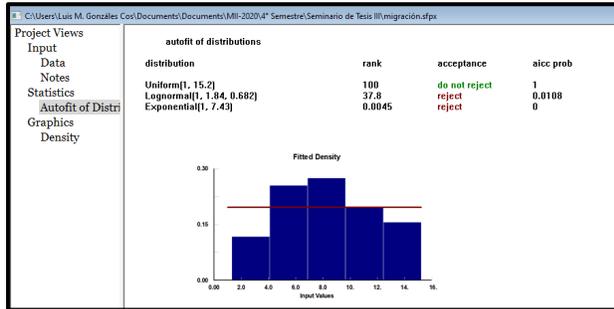


Figura 3. Tratamiento estadístico variable tiempo de atención en área de migración

C. Verificación del modelo

El diagrama de flujo mostrado en la figura 2 se mostró al director de proyectos de ASA para constatar que el modelo conceptual corresponde al proceso bajo estudio; se obtuvo el aval del director.

D. Construcción del modelo de simulación

Una vez verificado el modelo conceptual se procedió a la traducción de éste a lenguaje del simulador SIMIO se incluyeron elementos tales como: Source, ModelEntities, Servers, TimePaths, BasicNodes y Sink, el diseño rústico se muestra en la figura 4.

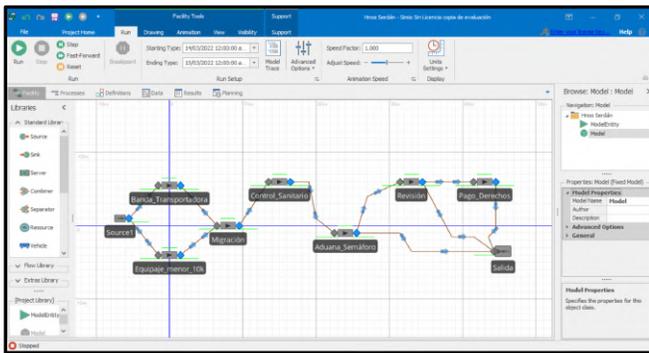


Figura 4. Vista del MS en su versión rústica

La figura 5 muestra una vista en 3D de la versión animada del MS.

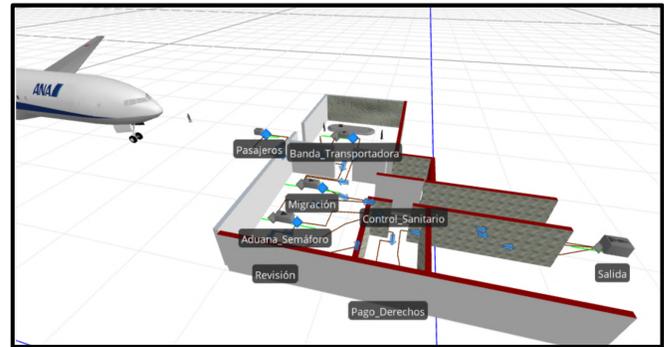


Figura 5. Vista 3D del MS

E. Pruebas piloto

El MS fue corrido 10 veces para constatar que la animación y programación no tuvieran deficiencias y además para tener información para la validación del mismo.

F. Validación del modelo

La validación de un MS es el procedimiento matemático por medio del cual se demuestra que los datos que arroja el son estadísticamente iguales a los del sistema real [10]. El procedimiento se realiza utilizando la prueba t-pareada, ya que como prueba de hipótesis se desarrolla comparando una muestra aleatoria del sistema real contra una muestra aleatoria del MS. En la Tabla 2 se aprecian dos muestras de datos, reales y simulados de la variable tiempo de atención en área de migración

$X_i$ = tiempo promedio de atención en el área de migración del sistema real

$Y_i$ = tiempo promedio de atención en el área de migración del modelo de simulación

TABLA II. MUESTRA DE DATOS REAL Y SIMULADOS

Corridas	Datos		$Z_j = X_i - Y_i$	$(Z_j - \bar{Z}_{10})^2$
	Reales	Simulados		
1	$X_i$	$Y_i$		
1	5.03	2.36	2.67	6.145
2	2.14	1.21	0.93	0.546
3	1.75	6.31	-4.56	22.572
4	3.61	4.65	-1.04	1.515
5	4.90	3.68	1.22	1.058
6	6.11	5.45	0.66	0.219
7	4.26	2.15	2.11	3.682
8	1.57	3.27	-1.70	3.575
9	7.42	7.76	-0.34	0.281
10	4.42	2.46	1.96	3.129
	Promedio		0.191	

Se definieron las siguientes hipótesis:

- $H_0$ : No existe diferencia significativa entre la media del conjunto de datos del sistema real y la media del conjunto de datos del MS.

- $H_1$ : Existe una diferencia significativa entre la media del conjunto de datos del sistema real y la media del conjunto de datos del MS.

Utilizando un nivel de confianza del 95% se determinó el intervalo de confianza de acuerdo con (1)

$$Z_{10} \pm t_{n-1, 1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{Var(Z_n)} = (-1.367, +1.749) \quad (1)$$

Dado que el intervalo obtenido incluye al cero se concluye, con un 95% de confianza, que el MS es representativo del sistema real y que las diferencias presentadas no son estadísticamente significativas. Cada una de las variables fue sometida a validación encontrando en todos los procesos intervalos que incluyen al cero por lo que se acepta la validez del MS.

*G. Diseño de experimentos y corrida del modelo*

Se obtuvo el número de corridas óptimas, para ello se tomaron 10 corridas piloto usando un nivel de confianza (1- $\alpha$ ) del 95% [12], La tabla 3 muestra los resultados de los cálculos de la varianza y  $\beta$ , datos que son necesarios para determinar el número de corridas (diseño de experimentos).

TABLA III. DATOS PARA EL DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Corridas	Tiempo promedio Simulado
1	2.36
2	1.21
3	6.31
4	4.65
5	3.68
6	5.45
7	2.15
8	3.27
9	7.76
10	2.46
<b>Varianza muestral</b>	4.316
<b><math>\beta</math></b>	0.2

El número total de replicaciones  $n^*(\beta)$  requerido para obtener un error absoluto  $\beta$  es dado por:

$$n * (\beta) = \min \left\{ i \geq n: t_{i-1, 1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{s^2(n)}{i}} \leq \beta \right\} \quad (2)$$

Incrementando  $i$  en uno hasta que un valor de  $i$  cumpla la condición es posible determinar  $n^*(\beta)$ . Realizando el procedimiento resultó que el número de replicaciones óptimas es 418.

$$i=418 \quad 1.96 \sqrt{\frac{4.316}{418}} \leq 0.20 \quad (3)$$

El modelo se corrió 418 veces.

III. RESULTADOS

Una vez realizada la metodología paso a paso se procedió al análisis de las estadísticas que arroja el simulador, dentro de las medidas de desempeño más representativas se encuentran las referidas en la tabla 4.

TABLA IV. RESULTADOS DEL MS

Medida de desempeño por día	Valor
Número promedio de pasajeros que arriba al aeropuerto	140
Tiempo promedio que un pasajero pasó en el sistema (minutos)	86
Tiempo máximo que un pasajero pasó en el sistema (minutos)	198
Cuello de botella más crítico (CBC)	Migración
Tamaño máximo de cola en el CBC	65
Tiempo promedio que un pasajero pasa en la cola más crítica (minutos)	66
Tiempo máximo que un pasajero pasa en la cola más crítica (minutos)	172
Número promedio de pasajeros que lleva equipaje documentado	21
Número promedio de pasajeros que pasa a revisión	14
Número promedio de pasajeros que realiza pago de derechos	4

De la tabla puede observarse que del 100% de pasajeros que llegan por día el 15% lleva equipaje documentado, lo que significa como consecuencia lógica mayor tiempo en el sistema, se observa que el cuello de botella crítico es el área de migración.

IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Se obtuvo un Modelo representativo del sistema real (95% de confianza) resultado del seguimiento a la metodología con rigor científico por lo que los experimentos que se lleven a cabo tendrán la certeza de estarse refiriendo al sistema bajo estudio.

Con las estadísticas obtenidas se fortalece la visión para proponer escenarios de mejora, por lo que los trabajos a futuro serían justamente la generación, modelado y evaluación de dichos escenarios de tal manera que se pueda generar una propuesta factible y eficiente al Aeropuerto.

Se comprobó la flexibilidad de la técnica de simulación pudiendo modelar un sistema complejo y apoyándose en un simulador de última generación como Simio se obtuvo el gemelo digital con una animación muy atractiva en 3D, por lo que se recomienda ampliamente el uso de dicho simulador.

## V. REFERENCIAS

- [1] Duan, H. W. (2020). Coronavirus: limit short-term economic damage. *Nature (Vol. 578, Issue 7796)*, 515.
- [2] Aguilar Gómez, N. E., Hernández Soto, A. A., & Ibanes Gutierrez, C. (2020). Características del SARS-CoV-2 y sus mecanismos de transmisión. *Infectología Pediátrica*, 143-148.
- [3] Gaviria-Núñez, A. M. (2020). Estrategias de bioseguridad en tiempos de COVID-19. *Biociencias*, 4(1), 1-5.
- [4] Dávila-Flores, A., & Valdés-Ibarra, M. (16 de Febero de 2021). México. Costos económicos del cierre de las actividades “no esenciales” por la pandemia Covid-19. Análisis multisectorial y regional con modelos sam. *Economía Teoría Y Práctica*, 15-44.
- [5] Barbosa, E. O. (2020). Adaptación Del Protocolo De Bioseguridad Para Mitigar El Impacto Del Covid-19 En El Área De Producción De La Empresa Global Textil Sas, Ubicada En Bogotá. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad De Ciencias Empresariales. Bogotá, Colombia: Corporación Universitaria Minuto De Dios.
- [6] Tropiano, Y., & Noguera, A. (Mayo de 2020). El protocolo de bioseguridad, bajo el modelo de varios países de América Latina, y papel de los servicios y/o comité de seguridad y salud laboral ante el Covid-19. *Cielo laboral*(5), 9.
- [7] ACTIU Medidas Protección - Espacios de Trabajo. (Junio de 2020). *Actiu*. Recuperado el 13 de Enero de 2021, de <https://www.actiu.com/es/actualidad/noticias/guia-espacios-de-trabajo-post-covid19/>
- [8] Salvador-Rerrín, M. (2020). Transformación de la arquitectura desde el COVID-19. *FINIBUS*, 3(6), 26-45.
- [9] Law, A.M. y Kelton, W.D. (2000). *Simulation Modeling & Analysis*. Ed. USA: McGraw-Hill.
- [10] Fuentes, L; López, A.G.; Tobón, L.G. y Moras (2019). Análisis de la red logística de un crucero vial utilizando simulación en SIMIO para evaluar la alternativa de colocar un semáforo. *Revista Ciencia Ingeniería y Desarrollo*, 1(5), pp. 1-6. Disponible en: <http://revistacid.itslerdo.edu.mx/coninci2019/CID016.pdf>.
- [11] Fuentes, L; López, A.G, Rojas, L (2021). Determinación del número óptimo de unidades en un sitio de taxi, usando simulación en SIMIO. *Revista Ciencia Ingeniería y Desarrollo*, 1(7), pp. 76-80. [http://revistacid.itslerdo.edu.mx/coninci2021/2021\\_Ciencia\\_Ingenieria\\_Desarrollo\\_Tec\\_Lerdo.pdf](http://revistacid.itslerdo.edu.mx/coninci2021/2021_Ciencia_Ingenieria_Desarrollo_Tec_Lerdo.pdf)
- [12] Chung, C.A. (2004). *Simulation Modeling Handbook a Practical Approach*. Ed. Washington D.C.: CRC PPRESS

## VI. BIOGRAFÍA



**González Cos Alcocer, Luis Manuel.** Es maestrante de Ingeniería Industrial por el Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca, Veracruz, México. Licenciado en Ingeniería Industrial por el Instituto Tecnológico de la Laguna, Torreón, Coahuila, México.

Él actualmente labora en el Instituto Tecnológico Superior de Alvarado, Veracruz, México, en la División de Ingeniería Industrial. Las líneas de investigación de su interés son: simulación,

ergonomía, diseño de estaciones e instalaciones fabriles.

El maestro González pertenece a la Sociedad de Ergonomistas de México, A.C. (SEMAC).



**Fuentes Rosas, Liliana.** Es doctoranda en Ciencias de la Administración en la Universidad Cristóbal Colón, Veracruz, México. Maestra en Ciencias en Ingeniería Administrativa y Licenciada en Ingeniería Industrial por el Instituto Tecnológico de Orizaba, Veracruz, México.

Ella actualmente labora en el Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca, Veracruz, México, en la División de Posgrado e Investigación en la Maestría de Ingeniería Industrial y en la División de Ingeniería Industrial. Las líneas de investigación de su interés son: simulación y redes logísticas, estadística aplicada y productividad humana. La Maestra Fuentes pertenece al Colegio Nacional de Ingenieros Industriales (CONAI), a la Sociedad Mexicana de Investigación de Operaciones (SMIO) y a la Red Iberoamericana de Academias de Investigación (REDIBAI). Es Perfil Deseable por PRODEP y líder del Cuerpo Académico Productividad y Mejora continua.



**Tobón Galicia, Lucila Guadalupe.** Doctora en Administración y Desarrollo empresarial, egresada del Colegio de Estudios Avanzados de Iberoamérica, Xalapa, Veracruz, México. Maestra en Ingeniería Industrial y Licenciada en Ingeniería Industrial por el Instituto Tecnológico de Orizaba, Veracruz, México.

Ella actualmente labora en el Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca como docente de tiempo completo en la División de Ingeniería Industrial y en la División de Posgrado e Investigación en la Maestría en Ingeniería Industrial. La doctora Tobón pertenece a la Red Iberoamericana de Academias de Investigación (REDIBAI) y forma parte del cuerpo Académico Productividad y Mejora continua y cuenta con el reconocimiento de Perfil Deseable PRODEP.



**Hernández Cortés, Magdalena.** Doctora en Administración y Desarrollo empresarial, egresada del Colegio de Estudios Avanzados de Iberoamérica, Xalapa, Veracruz, México. Maestra en Ingeniería Administrativa por el Instituto de Estudios Universitarios y Licenciada en Ingeniería Industrial por el Instituto Tecnológico de Orizaba, Veracruz, México.

Ella labora en el Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca es docente de tiempo completo en la división de Ingeniería Industrial. La doctora Hernández pertenece a la Red Iberoamericana de Academias de Investigación (REDIBAI) y forma parte del cuerpo Académico Ingeniería aplicada a procesos productivos y cuenta con el reconocimiento de Perfil Deseable PRODEP.

# Elaboración de un sistema web para la aprobación de créditos

I. R. Sánchez-Juárez<sup>1</sup>, M. P. Paredes-Xochihua<sup>2</sup>, V. Morales-Zamora<sup>3</sup>.

**Resumen**— Se implementará un sistema web que permita agilizar la obtención de líneas de crédito en el área de crédito y cobranza mediante servicios REST (REPRESENTATIONAL STATE TRANSFER), los cuales permitirán la conectividad entre diversos sistemas basados en el protocolo HTTP; esto para una empresa dedicada a ofrecer herramientas financieras cuyo objetivo fundamental es ofrecer a los clientes servicios y soluciones integrales en la obtención de líneas de crédito. Los módulos a desarrollar son usuarios, empleados, tipos de créditos, bancos, giro mercantil, garantías, catálogos, seguridad y administración. Dentro del módulo de créditos se deberá tener la opción de poder cargar documentos de garantías en formato pdf. Para realizar la conexión con el Backend y el Frontend se emplearán Servicios REST que permitan obtener información con la ejecución del servicio; de igual manera se empleará JPA (Java Persistence API) que es la encargada de convertir los objetos Java en instrucciones para el manejador de bases de datos. En el desarrollo del software se implementará la metodología SCRUM la cual permitirá ir desarrollando entregables en un periodo de tiempo corto para que el cliente tenga módulos funcionales antes de estar terminado el sistema.

**Palabras claves**— crédito, JPA, REST, sistema, soluciones

**Abstract**—A web system will be implemented to speed up the obtaining of lines of credit in the area of credit and collection using REST services (REPRESENTATIONAL STATE TRANSFER), which will allow connectivity between some systems based on the HTTP protocol, these for a company dedicated to offering financial tools whose main goal is to offer customers comprehensive services and solutions in obtaining lines of credit. credit. The modules to be developed are users, employees, types of credit, banks, commercial line of business, guarantees, catalogues, security and administration. within the credit module, you should have the option of being able to upload guarantee documents in pdf format. To make the connection with the Backend and the Frontend, REST Services will be used to obtain information with the execution of the service; similarly, JPA will be used, which is responsible for converting Java objects into instructions for the database manager. In the development of the software, the SCRUM methodology will be implemented, which will allow developing deliverables in a short period of time so that the client has functional modules before the system is finished.

**Keywords**— credit, JPA, REST, solutions, system

## I. INTRODUCCIÓN

El sistema financiero hace que los recursos que permiten desarrollar la actividad económica real -producir y consumir- lleguen desde aquellos individuos a los que les sobra el dinero en un momento determinado hasta aquellos que lo necesitan y facilite compartir los riesgos. [1]

México cuenta con un sistema financiero eficaz que favorece la capacidad de consumo y la inversión, con niveles de capitalización por encima de estándares internacionales. Cuenta con un marco legal moderno con buenas prácticas en materia prudencial, de riesgos, contable y de gobierno corporativo. [7]

Garuza consultores es una empresa mexicana dedicada a ofrecer herramientas financieras, han fondeado más de 600 empresas mexicanas, gracias a las respuestas inmediatas a las solicitudes; ofrecen soluciones inmediatas, eficientes y a la medida para los negocios, y crear puentes a largo plazo.

Actualmente cuenta con una herramienta que ya no es eficiente para el control del negocio y para la operación, además esta herramienta no tiene módulos para los catálogos de documentación, taller de productos, carga de documentos, avales, notificaciones, registro de empleados o usuarios, y principalmente el cotizador que proporcione una tabla de amortización, esto ocasiona que el proceso para otorgar un crédito sea tedioso y tardío.

Debido al crecimiento de la operación de la empresa, se requiere contar con una herramienta de software que tenga la información actualizada, además de garantizar un mejor control del negocio y de la operación, ya que esta cumplirá con cada uno de los módulos que requiere la organización para las prestaciones de los diferentes créditos, permitiendo una buena organización.

\* ivan\_r.sanchez@smartin.tecnm.mx.

<sup>1</sup> Tecnológico Nacional de México campus San Martín Texmelucan, División de Ingeniería en Sistemas Computacionales, Camino a la Barranca de Pesos S/N, San Lucas Atoyatenco, C.P. 74120, San Martín Texmelucan, Puebla, México.

Para desarrollar el sistema se implementarán servicios REST quienes permiten acceder y/o modificar la información mediante los métodos HTTP, por lo cual puedes acceder a ellos mediante URL's. Por lo general regresan la información en formato JSON, aunque también pueden regresar archivos XML o CSV. [8]

Estos servicios no se encargan de mantener ningún tipo de estado entre peticiones y cada una de las peticiones es totalmente independiente de la siguiente. Al no mantener estado nos encontramos que se incrementa la escalabilidad de estos. [8]

La metodología de desarrollo de software para éste proyecto es SCRUM, pues es una metodología ágil que disminuye el margen de error en los procesos de manera colaborativa, formando grupos de trabajo incluyente y cooperativo para llevar con éxito la atención de los diferentes proyectos y/o solicitudes de servicio. [5]

En Scrum se realizan entregas parciales y regulares del producto final, priorizadas por el beneficio que aportan al receptor del proyecto. Por ello, Scrum está especialmente indicado para proyectos en entornos complejos, donde se necesita obtener resultados pronto, donde los requisitos son cambiantes o poco definidos, donde la innovación, la competitividad, la flexibilidad y la productividad son fundamentales. [6]. En la Figura 1 se muestra el diagrama de la metodología SCRUM

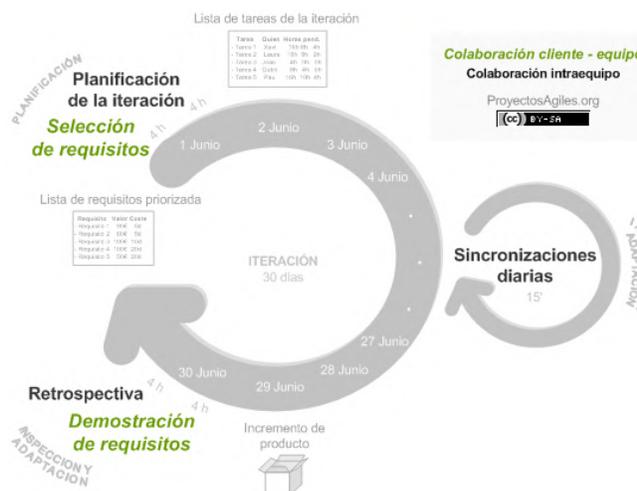


Figura 1: Diagrama de la metodología SCRUM  
Fuente: Proyectos ágiles

## II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

Scrum disminuye el margen de error en los procesos de manera colaborativa, formando grupos de trabajo incluyente y cooperativo para llevar con éxito la atención de los

diferentes proyectos y/o solicitudes de servicio. Por cada Sprint se genera un Product Back LOG, historias de usuario y las interfaces de alta resolución, en la Tabla I se muestra el Product Back Log del Sprint 1 junto con la funcionalidad a implementar.

TABLA I. PRODUCT BACK LOG DEL SPRINT 1

MÓDULO	FUNCIONALIDAD
Usuarios	Datos de usuario
	Consulta perfil de usuario
Catálogos	Usuarios
	Empleados
	Tipos de créditos
	Bancos
	Giro Mercantil

Después de analizar los entregables del primer sprint se realizaron las historias de usuario, ahora en la Tabla II se muestra la historia 3 del módulo catálogos relacionada al tipo de crédito; se colocan todos los criterios de aceptación para que ésta historia este completa y validada.

TABLA II. HISTORIA DE USUARIO TIPOS DE CRÉDITOS

Historia de usuario	3
Historia:	Módulo de catálogos: tipos de créditos
Como	Administrador del sistema, Gerente Comercial y/o Directivo
Necesito	Poder consultar, modificar y dar de alta nuevos tipos de créditos
Criterios de aceptación:	
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tener un botón "Alta tipo Crédito" para agregar un nuevo crédito y su tipo de pago.</li> <li>2. Que tenga un botón cancelar al momento de dar de alta el crédito, al presionar que me regrese a la pantalla anterior.</li> <li>3. Que se pueda consultar el tipo de crédito seleccionado del resultado de la búsqueda.</li> <li>4. Tener la opción para poder buscar un crédito.</li> <li>5. Guardar los cambios realizados al crédito.</li> <li>6. No se podrán borrar los tipos de créditos.</li> <li>7. No se podrán duplicar los tipos de créditos.</li> <li>8. Se podrán guardar los cambios que se modificaron del tipo de crédito</li> </ol>

La realización de la conexión con el Backend y el Frontend se usaron Servicios REST para obtener información. Estos servicios se generan y se crean según la información que se requiera obtener en cada una de las pantallas. Se crean URL's para tener conexión del Frontend y el Backend que permiten hacer la petición deseada En la Tabla III se muestra la creación de URL's del lado del Backend.

TABLA III. URL'S CONSTANTES

```
//Catálogo de documentos
consultarDocumentacionPaginación: environment.apiUrl +
'consultarDocumentacionPaginacion.do',
consultaGarantia: environment.apiUrl + 'consultarGarantia.do',
consultaCredito: environment.apiUrl + 'consultarCredito.do',
(preoperty) ConsulXUpdateDocumento: String +
'guardaActualizaDocumento.do',
ConsulXUpdateDocumento: environment.apiUrl +
'ConsulXUpdateDocumento.do'
```

En el módulo de los catálogos la funcionalidad importante es la administración de estos, se podrán buscar registros, modificar, dar de alta de nuevos registros, las tablas tienen paginación para poder mostrar datos según se requieran.

La manera de realizar estas funcionalidades se usó de JPA que es la propuesta estándar que ofrece Java para implementar un Framework Object Relational Mapping (ORM), que permite interactuar con la base de datos por medio de objetos, de esta forma, JPA es el encargado de convertir los objetos Java en instrucciones para el Manejador de Base de Datos (MDB). que permite interactuar con la base de datos por medio de objetos, de esta forma.

En la Tabla IV se muestra el uso de JPA que genera la consulta de datos del catálogo Bancos, donde se crea un objeto llamado banco que contiene el nombre de las columnas de la tabla a la que se está haciendo referencia, con este objeto y la funcionalidad de JPA se consultan todos los datos de esta tabla, con la instrucción Sort.Direction.DESC se ordenan los datos de forma descendente y se agrega el nombre de la columna según se requiera ordenar, en la búsqueda se hace un withMatcher con el nombre de la columna que se necesite encontrar, con este mismo se mandan los valores que realizan la paginación.

TABLA IV. USO DE JPA PARA EL CATÁLOGO BANCOS.

```
@RestController
@RequestMapping (UrlConstantes.BANCO)
public class BancoService extends GenericServiceImpl <Banco,
BancoRepository>{

private static final Logger LOG =
Logger.getLogger(BancoService.class)
@Autowired

private BancosBussiness bancosBuss;

@Autowired
BancoRepository jpaRepository;

@PostMapping(value = UrlConstantes.CONSULTA_BANCO)
@ResponseBody

public ResponseEntity<Page<Banco>> findAll(@RequestBody
ConsultaList<Banco> data) throws Exception{
Pageable pageable = PageRequest.of(data.getPagina(),
data.getRegXPagina(), Sort.Direction.DESC, "id");

ExampleMatcher exampleMatcher =
ExampleMatcher.matchingAny().withMatcher("nombre",
ExampleMatcher.GenericPropertyMatchers.contains().ignoreCase());

return new ResponseEntity<> (jpaRepository.findAll
(Example.of(data.getBean(), exampleMatcher), pageable),
HttpStatus.OK);
}
```

### III. RESULTADOS

Después de haber realizado la programación del Back-End en los módulos, se continuó con el desarrollo del Front-End y ahora se muestra el resultado de la pantalla que permite la carga de documentos dependiendo al tipo de crédito solicitado por el cliente solo se podrán cargar documentos en formato pdf, después de haber cargado el documento se habilitará un botón cuya función es visualizar el archivo cargado. En la figura 2 se muestra la pantalla de los documentos.

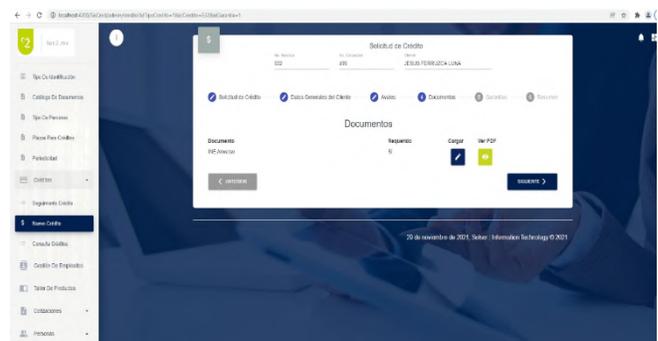


Figura 2. Carga de documentos

Posterior a la carga de documentación se deberá enviar una notificación para que los usuarios que sean del área jurídica

puedan revisar el estado del crédito para aprobarlo o en su casa rechazarlo, la notificación debe indicar el estado: "Pendiente de revisar" y un número de solicitud. En la figura 3 se muestra el mensaje notificando al área jurídica que tiene una nueva solicitud.



Figura 3. Envío de notificación a jurídico

A fin de verificar la calidad de los avances del sistema se envía una versión de pruebas al departamento de QA quienes verifican el correcto funcionamiento de los flujos y pantallas realizadas, donde se nos informa las incidencias que se tuvieron en cada pantalla y se corrigen para cumplir con los requerimientos del cliente.

En la primera pantalla de gestión de usuarios se levanta la incidencia, que se podrá dar clic en el botón guardar sin haber cambiado la contraseña, se corrigió a que el botón solo estuviera habilitado hasta que las contraseñas fueran actualizadas y estas coincidieran al momento de verificar.

Con el propósito de atender las incidencias se utiliza el sistema COS (Centro Operativo Solser) de la empresa. Como se muestra en la Figura 4.

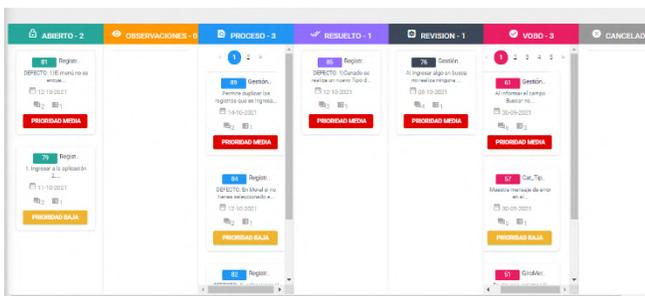


Figura 4. Sistema COS

Se realizaron pruebas de los diferentes flujos asignados para comparar el tiempo de respuesta entre el sistema anterior y el actualizado, derivado de ello se obtuvieron los datos necesarios acerca del tiempo para solicitar un crédito, estos datos permiten identificar que el uso del sistema se reduce en un promedio de 43.60% el tiempo para solicitar un crédito. En la Tabla V están los datos que permiten ver los tiempos optimizados en la solicitud de créditos.

TABLA V. TIEMPO DE CAPTURA PARA LA SOLICITUD DE UN CRÉDITO

ANÁLISIS DE OPTIMIZACIÓN DE TIEMPO PARA LA SOLICITUD DE UN CRÉDITO				
CLIENTE	TIEMPO EN MINUTOS/SISTEMA ANTERIOR	TIEMPO EN MINUTOS/SISTEMA ACTUAL	DIFERENCIA DE TIEMPO EN MINUTOS	PORCENTAJE DE TIEMPO OPTIMIZADO
1	28	15	13	46.42%
2	30	20	10	33.34%
3	32	17	15	46.87%
4	32	18	14	43.75%
5	30	16	14	46.67%
6	36	20	16	44.45%
7	38	20	18	47.37%
8	35	19	16	45.71%
9	29	16	13	44.82%
10	30	19	11	36.66%
Promedio de Captura			14	43.60%

En el proceso de asignación de un crédito es indispensable contar con documentación personal, esto es muy importante durante el seguimiento del proceso de la solicitud, ya que en cada tipo de crédito se solicitan documentos distintos, sin embargo, en su captura todos tienen el mismo proceso. En la Tabla VI, se muestra los tiempos para la captura de la documentación del cliente para solicitar un crédito y con la implementación del sistema se puede reducir en un 34.81%.

TABLA VI. TIEMPO DE CAPTURA DE DOCUMENTACIÓN

ANÁLISIS DE TIEMPO DE CAPTURA DE DOCUMENTACION				
CLIENTE	TIEMPO EN MINUTOS/SISTEMA ANTERIOR	TIEMPO EN MINUTOS/SISTEMA ACTUAL	DIFERENCIA DE TIEMPO EN MINUTOS	PORCENTAJE DE TIEMPO OPTIMIZADO
1	20	15	5	25%
2	19	11	8	42.10%
3	18	13	5	27.8%
4	18	12	6	33.34%
5	20	11	9	45%
6	22	14	8	36.37%
7	18	12	6	33.34%
8	20	11	9	45%
9	22	14	8	36.37%
10	21	15	5	23.80%
Promedio de Captura			6.3	34.81%

#### IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Se concluye que con el desarrollo del sistema este permitirá agilizar el proceso de prestaciones dando un servicio de calidad, así como tener un mejor control del negocio y de la

operación, ya que esta cumplirá con los módulos requeridos de la empresa para las prestaciones de los diferentes créditos.

En este sistema se han implementado Servicios Rest donde se añadió la autenticación con tokens para mejorar la seguridad, además de que esta creado bajo Angular que permite que tenga una estructura modular y consistencia al código, facilita la creación de cada una de las pantallas ya que está basada en componentes y lo principal es que brinda el mantenimiento del software.

Como se vio en los tiempos de captura, con el desarrollo y uso del sistema de créditos se obtuvo una buena administración en el proceso de obtención de créditos, de igual manera un mejor control del negocio y de la operación en un aumento del 38% de optimización.

## V. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Tecnológico Nacional de México Campus San Martín Texmelucan por el apoyo brindado al Cuerpo Académico de Desarrollo de Sistemas de Información y Comunicación para la realización de éste trabajo.

## VI. REFERENCIAS

- [1] Banxico educa (30 de mayo de 2022). Sistema financiero. Disponible en: [http://educa.banxico.org.mx/banco\\_mexico\\_banca\\_central/sistema-financiero.html](http://educa.banxico.org.mx/banco_mexico_banca_central/sistema-financiero.html)
- [2] desarrolloweb (2016). Inyección de dependencias. <https://desarrolloweb.com/articulos/patron-diseno-contenedor-dependencias.html>
- [3] IBM (03 de junio de 2022). JPA (Java Persistence API). Disponible en: <https://www.ibm.com/docs/es/was-liberty/nd?topic=overview-java-persistence-api-jpa>
- [4] Konrad Mike, Shrum Sandy, CMMI (2ª ed.): Guía para la integración de procesos y la mejora
- [5] d e productos. Madrid: Addison Wesley. (ISBN 9788478290963)
- [6] Pérez, A. (01 de junio de 2022). Las 5 etapas en los "Sprints" de un desarrollo Scrum. Disponible en: <https://www.obsbusiness.school/blog/las-5-etapas-en-los-sprints-de-un-desarrollo-scrum>
- [7] Proyectos Ágiles. (s.f.). Qué es SCRUM. <https://proyectosagiles.org/que-es-scrum/>
- [8] Proyectos México (30 de mayo de 2022). Sistema financiero. Disponible en <https://www.proyectosmexico.gob.mx/por-que-invertir-en-mexico/economia-solida/sistema-financiero/>
- [9] Rodríguez, E., Segura, F. O. (01 de junio de 2022). Descubrimiento de servicios REST basado en sus documentos WADL. Disponible en: <https://www.ridaa.unicen.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/123456789/1352/Rodriguez%2C%20Emmanuel%20-%20Segura%20Felix.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [10] Rogger S. Pressman. (2010). Ingeniería del Software. Un enfoque práctico. México D.F.: Mc Graw Hill
- [11] Somerville, I. (2011). Ingeniería de software. Novena edición. Pearson Educacion. México

## VII. BIOGRAFÍA



**Sánchez Juárez, Ivan Rafael.** Nació el 15 de febrero de 1983 en San Martín Texmelucan, Puebla. Obtuvo el grado de Licenciado en Ciencias de la Computación en 2009 por la FCC-BUAP en el estado de Puebla, México y el grado de Maestro en Sistemas Computacionales en 2022 por la Universidad Da Vinci de la Ciudad de México. Actualmente es Profesor de Tiempo Completo y presidente de Academia de Ciencias de la Computación en el TecNM Campus San Martín Texmelucan, Puebla, México. Las áreas de interés son: Graficación, Realidad Aumentada, Cómputo Matemático, Bases de Datos y Desarrollo de Sistemas Computacionales. Es miembro del Cuerpo Académico de Desarrollo de Sistemas de Información y Comunicación



**Paredes Xochihua, María Petra.** Nació el 22 de agosto de 1978 en Tlaxcala, Tlaxcala, México. Obtuvo el grado de Licenciatura en Informática en la especialidad de Sistemas Inteligentes en 2001 y el grado de Maestra en Ciencias en Ciencias de la Computación en 2005, en el Instituto Tecnológico de Apizaco, Tlaxcala, México. Actualmente es Profesora de Tiempo Completo en el TecNM Campus San Martín Texmelucan, Puebla, México. Las áreas de interés son: Desarrollo de Sistemas Computacionales, Aprendizaje automático, Procesamiento de Lenguaje Natural y Visión Artificial. Es miembro del Cuerpo Académico de Desarrollo de Sistemas de Información y Comunicación, y cuenta con Perfil Deseable.



**Morales Zamora, Vianney.** Nació el 4 de agosto de 1984, en la ciudad de Tlaxcala, Tlaxcala. Licenciada en Informática con especialidad en base de datos en el 2007 y Maestría en Sistemas Computacionales con especialidad en inteligencia artificial en el año 2010 en el Instituto Tecnológico de Apizaco, Tlaxcala, México. Actualmente es Profesora de Tiempo Completo en el TecNM Campus San Martín Texmelucan, Puebla, México. Las áreas de interés son: Sistemas Expertos, Desarrollo Web, Aprendizaje Automático y Visión Artificial, Administración de Base de Datos. Miembro del Cuerpo Académico de Desarrollo de Sistemas de Información y Comunicación, cuenta con perfil deseable desde el 2014.

# Implementación del ciclo de Deming en empresa minera de Sombrerete, Zacatecas

L. Mena-Zamora<sup>1</sup>, A. L. Guzmán-Ayala<sup>1</sup>, M. I. Ceceñas-Jacquez<sup>1</sup>, M. G. Ceseñas-Cordero<sup>1</sup>, L. E. Pinedo-Reza<sup>1</sup>

**Resumen**— Actualmente en las empresas de la región, como del país se vuelve necesario integrar herramientas de mejora continua en términos de procesos, políticas, control y particularmente de innovación en cada de las áreas de las compañías con el propósito de impulsar el desarrollo económico. La presente investigación contiene el análisis de los procesos de una empresa minera en la región de Sombrerete, empleando técnicas para la recolección de datos mediante la observación, investigación documental y la entrevista con el personal administrativo, con el principal objetivo de analizar de manera detallada los métodos empleados en la organización, además el trabajo incluye la implementación del “Ciclo de Deming” logrando obtener múltiples beneficios como lo son reducción de costos, control administrativo y optimización de las actividades empresariales. Dentro de los cambios efectuados durante la etapa de aplicación se incluye la capacitación al personal en el uso de herramientas de calidad para la toma de decisiones, el rediseño de formatos de control, la estandarización en el funcionamiento correcto de procesos estratégicos, tácticos y operativos, la organización de los espacios de trabajo mediante la metodología 5s; así como el seguimiento a la pandemia SARS-COV-2 (coronavirus tipo 2) aplicando acciones preventivas como correctivas, además de un oportuno seguimiento.

**Palabras claves**— *calidad, control, mejora, optimización seguimiento*

**Abstract**— Currently in the companies of the region, such as the country, it becomes necessary to integrate continuous improvement tools in terms of processes, policies, control and particularly innovation in each of the company's areas with the purpose of promoting economic development. The present investigation contains the analysis of the processes of a mining company in the Sombrerete region, using techniques for data collection through observation, documentary research and interview with the administrative staff, with the main objective of analyzing in detail the methods used in the organization, in addition the work includes the implementation of the "Deming Cycle" achieving multiple benefits such as cost reduction, administrative control and optimization of business activities.

The changes made during the application stage include training staff in the use of quality tools for decision making, redesign of control formats, standardization in the correct functioning of strategic, tactical and operational processes, the organization of work spaces through the 5s methodology; As well as monitoring the SARS-COV-2 (coronavirus type 2) pandemic by applying

preventive and corrective actions, in addition to timely monitoring.

**Keywords**— *control, improvement, monitoring, optimization, quality*

## I. INTRODUCCIÓN

El concepto de mejora continua, en la actualidad es cada vez más conocido para las personas que se relacionan con el medio empresarial, no obstante son pocas las organizaciones que verdaderamente se preocupan por emplear herramientas para impulsar el desarrollo de su compañía, además quienes desean aplicar nuevos métodos de trabajo encuentran en las empresas cierta resistencia al cambio de cultura por parte de los empleados, es decir, mantener y dar seguimiento a nuevos procedimientos requiere de la implementación de estrategias de manera gradual.

Las personas que participan en la implementación del Ciclo de Deming tienen como finalidad el cumplimiento de metas y objetivos con el propósito de aumentar el nivel de satisfacción de los clientes, así como mejorar el posicionamiento de las organizaciones, sin embargo las empresas se enfrentan en la actualidad a un gran reto con relación a la competitividad en el mercado, ya que estar a la vanguardia se ha convertido en un factor primordial para lograr un incremento en los niveles de productividad, aunado a ellos, los clientes cada vez exigen mayores niveles de calidad en productos y procesos.

A través de la implementación del ciclo PHVA (Planear, Hacer, Verificar, Actuar) se logra corregir las deficiencias, fallos, errores, que aparecen en los procesos para lograr alcanzar los resultados planificados [7].

## II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

La estructura organizacional de la empresa dedicada a brindar servicios de construcción, así como para mantenimiento en interior mina se ha ido desarrollando conforme las necesidades de la empresa, por tal razón no existe un método establecido para desarrollar sus actividades, medirlas y mejorarlas.

<sup>1</sup> Instituto Tecnológico Superior Zacatecas Occidente. Av. Tecnológico No. 2000, Colonia Loma La Perla. C.P. 99102, Sombrerete, Zacatecas, México.

\* aguzman@itszo.edu.mx

Implantar el Ciclo de Deming como herramienta para optimizar las actividades derivadas de los procesos tácticos de la empresa que permitan renovar gradualmente las prácticas obsoletas, para identificar oportunidades de mejora en cada proceso.

- Conocer y analizar problemáticas en función de los puestos de trabajo.
- Elaborar un sistema de gestión de calidad acorde a las necesidades de la empresa.
- Capacitar a los altos, medios y bajos mandos respecto al Ciclo de Deming.

En las empresas algunas prácticas se vuelven obsoletas, es decir, ya no tiene funcionalidad en el entorno actual y esto deriva en diversos problemas que enfrentan frecuentemente las compañías como son: mala organización, uso ineficiente de los recursos, mal empleo del tiempo, entre otros. La necesidad de mejorar el desempeño de la organización, su eficacia y eficiencia de manera constante se vuelve sustancial para promover el éxito de un negocio. [3]

Si como trabajadores se organiza de forma consciente el trabajo que debe realizar en su jornada laboral, si se decide qué tareas son más importantes será útil para cumplir aquellas actividades que requieren una atención más inmediata. [4] El cumplir con los requisitos del cliente, evita pérdidas y coadyuva a reducir costos, lo cual es el reflejo de un trabajo bien hecho.

Actualmente la empresa dedicada a prestar servicio a empresas mineras incumple varios requerimientos del cliente, lo que es un claro indicio de que las cosas no se están realizando bien, o se están realizando como siempre lo han hecho. Los principios y valores que deben existir en la organización demandan una necesidad de actualización en una mística de trabajo orientada al mejoramiento continuo. [1]

La aplicación de metodologías de mejora facilitan la participación de todos los empleados y la adopción de métodos de trabajo, es por ello que a través de la implementación del Ciclo de Deming se puede contribuir a la ejecución de los procesos de forma organizada y a su vez a la comprensión de la necesidad de ofrecer altos estándares de calidad en el producto o servicio, y renovar las prácticas anticuadas. [2]

Pregunta de investigación: ¿Cuál es el problema que más afecta la eficiencia de la empresa dedicada a brindar servicios a empresas mineras y de construcción en Sombrerete, Zacatecas?

## Hipótesis

Implementar el Ciclo de Deming promueve el logro de metas en empresa dedicada a prestar servicios a empresas mineras y de construcción en Sombrerete, Zacatecas.

## Metodología

El estudio es una investigación aplicada, ya que mediante la implementación del Ciclo de Deming y la autoevaluación se conocen los problemas en una empresa dedicada a la construcción de obras públicas y privadas, así como a dar servicio a las minas de Sombrerete Zacatecas, lo cual permite identificar oportunidades de mejora dentro de cada proceso de la organización y promover el desarrollo económico.

### A. Localización

La empresa se encuentra ubicada en el municipio de Sombrerete en el estado de Zacatecas. El acceso a las instalaciones es por vía terrestre.



Fig.1 Localización del municipio de Sombrerete.

Fuente: [https://www.zacatecastavel.com/img/mapa\\_pmagicos.jpg](https://www.zacatecastavel.com/img/mapa_pmagicos.jpg)

### B. Población

El estudio se realiza con un total de 30 trabajadores de planta, la empresa cuenta con las siguientes áreas: Gerencia, auditoría interna, administración, área de limpieza, supervisor de construcción y el área de seguridad industrial.

### C. Metodología

Se comienza con un autodiagnóstico por parte de los trabajadores, para tener un panorama amplio sobre las necesidades de los diferentes departamentos.

#### Etapas de Planificación (Planear)

Consiste en planificar y programar la ejecución, los recursos y controles necesarios, se elabora un plan con las acciones y medidas definidas relacionadas a las oportunidades de mejora de la empresa, se definen los recursos necesarios: personales, materiales y financieros así como la asignación de responsabilidades.

**Etapa de Ejecución (Hacer).** En esta etapa se busca asegurar la implantación de las acciones previamente planificadas, se apoya en la elaboración de un Sistema de Gestión de Calidad para que coincida con los procedimientos documentados. La eficacia de esta etapa depende de la calidad con la que se elabora la planificación, es decir, un buen plan de acción garantiza en gran medida que la inversión costos y beneficios se traduzcan en ganancias para la empresa y el cliente.

**Etapa de Verificación (Verificar).** Se observa en base a la periodicidad establecida si las acciones ejecutadas han aportado los resultados esperados. Los resultados y las desviaciones se deben analizar y comunicar; con frecuencia los resultados de la medición son necesarios para desencadenar la mejora, de no ser así se procedería con el ciclo corto el cual consiste en revisar el rigor de la ejecución y a elaborar un plan de acciones complementario.

**Etapa de Actuación (Actuar).** Esta es la etapa final del ciclo Deming, consiste en revisar, optimizar, industrializar o explotar las acciones de mejora. Se transmite el aprendizaje a otras áreas o productos de la organización. Se debe recordar que la normalización es una forma de difundir el aprendizaje, además se procede a tomar las decisiones de mejora pertinentes, así como las acciones correctivas necesarias para corregir las desviaciones encontradas.

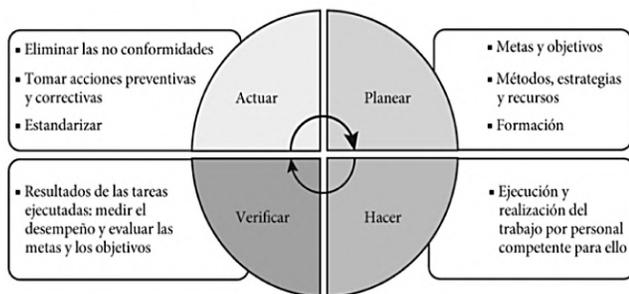


Figura. 2 Despliegue del Ciclo PHVA  
Fuente: Recuperado de <https://elibro.net/es/ereader/itszo/129837?page=14>.

**D. Herramientas**

Se emplean herramientas de control de calidad. Estas herramientas comparten una serie de características comunes: Sencillez, aplicabilidad y utilidad. [5]

- Hoja de control.- Son formatos o modelos especialmente diseñados para recoger información relativa a una actividad, un proceso o proyecto.
- Histogramas.- Los histogramas muestran cómo se

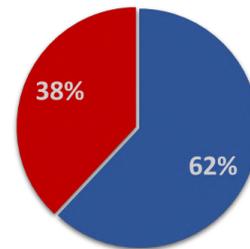
distribuye un conjunto de datos en concreto. Se aplica en todos los sectores empresariales y para todo tipo de actividades, desde presentaciones comerciales hasta grupos de mejora.

- Diagrama de Pareto.- Es una comparación ordenada de los factores relativos, una herramienta valiosa para la asignación de prioridades. [6]
- Sistema de Gestión de Calidad.- Mide la eficacia de las actividades programadas, así como el cumplimiento de los tiempos establecidos para su ejecución.

**III. RESULTADOS**

Se inicia aplicando un autodiagnóstico que arroja los siguientes resultados:

**ÍNDICE DE CUMPLIMIENTO DE RESPONSABILIDADES**



■ Actividades realizadas ■ Oportunidades de mejora

Gráfico 1.- Análisis de cumplimiento de actividades.  
Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 1 se aprecia que un 62% del personal que labora en la empresa cumple con las actividades programadas, sin embargo existe un 38% de acciones que no se están ejecutando según lo planeado.

Nombre del observador	Lorena Mena Zamora						
Fecha	07/11/2020						
Hoja	1						
Problema/Proceso/Situación	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Total de defectos
No existe actualización en las funciones organizacionales	x	x	x	x	x	x	6
No se controla el almacén de materiales de construcción	x	x	x	x	x	x	6
Existe descontrol en los registros generados por mantenimiento de vehículos y equipo	x	x	x	x	x	x	6
El resguardo de bienes materiales no se encuentra actualizado	x	x	x	x	x	X	6

Fig. 3 Hoja de Verificación Gestión Administrativa.  
Fuente: Elaboración propia.

La auditoría interna da a notar que el desarrollo de actividades de los departamentos de gerencia, auditoría interna, administración, área de limpieza, supervisor de construcción y el área de seguridad industrial tienen los siguientes principales hallazgos:

- No existe actualización en las funciones organizacionales.
- Se carece de un control del almacén de materiales de construcción.
- Falta un control en los registros generados por mantenimiento de vehículos y equipo.
- El resguardo de bienes materiales no se encuentra actualizado.
- No se genera un registro de la supervisión de funciones de los puestos.
- No existe un estándar para realizar el trabajo de gestión administrativa.

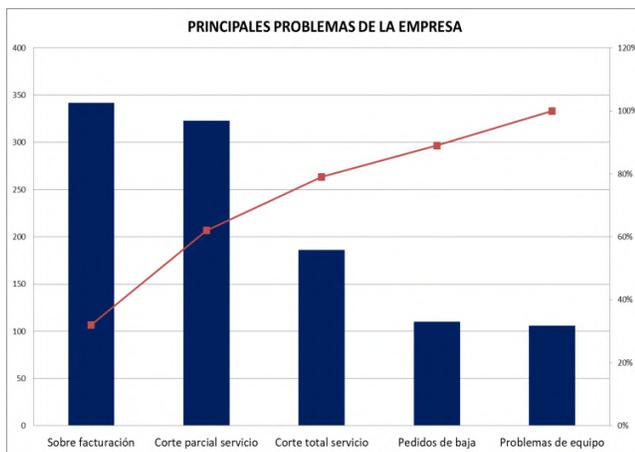


Gráfico 2. Áreas con oportunidad de mejora.  
Fuente Elaboración propia.

Respecto al problema que más aqueja a la empresa en el gráfico 2 se puede observar que es la sobre facturación, de manera consecuente el corte parcial o interrupción de pedidos, lo que es algo crítico de solucionar, ya que eso deriva en situaciones tales como: pedidos dados de baja, cargos erróneos o el no enviar facturas en el tiempo oportuno.



Fig. 4 Diseño del Sistema de Gestión de Calidad.  
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4 se muestra el diseño de un Sistema de Gestión de Calidad de acuerdo a las necesidades de la empresa, que incluye el diseño organizacional, planteamiento de objetivos, directrices, áreas, verificación de resultados, supervisión, así como acciones de control, con el propósito de dar puntual seguimiento a logro de metas propuestas.



Fig. 5 Capacitación de personal  
Fuente: Archivo capacitaciones 2021.

Se realiza una programación de las capacitaciones necesarias para el personal administrativo y operativo y se da verificación al cumplimiento de las mismas, se incluye además una auto evaluación del impacto de la capacitación como se aprecia en la figura 5, la cual refleja que el personal se compromete de manera adecuada con los nuevos procesos.



Fig. 6 Almacén de EPP  
Fuente: Revisión de almacén octubre 2021.

Durante el seguimiento al Sistema de Gestión de Calidad, se ve la necesidad de clasificar los gastos de la organización, por tal razón se ordenan de acuerdo a las prioridades de la

empresa y como se observa en la figura 5, se verifica que las cantidades que muestra el sistema digital, coincidan de forma física con las cantidades del almacén.

NOMENCLATURA	PA	Pruebas de Antígenos	PCR	Pruebas PCR	PR	Prueba rápida	CP	Casos positivos	CN	Casos negativos	IN
RESULTADO MENSUAL	PA	0	PCR	1	PR	1	CP	0	CN	2	IN

Fig. 7 Seguimiento SARS-COV-2  
Fuente: Elaboración propia.

Se diseñó un formato para dar seguimiento a la pandemia SARS-COV-2 con el propósito de llevar un control adecuado de los casos positivos, incapacidades, ausentismo, así como la aplicación de dosis de cada trabajador, en la figura 7 se muestra un cuadro de resumen del control de casos.

**ANÁLISIS DE DESEMPEÑO AL IMPLEMENTAR EL CICLO DE DEMING**

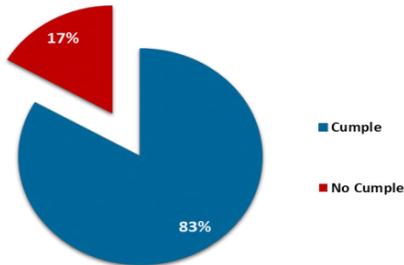


Gráfico 3.- Análisis de desempeño  
Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico 3 se registra como tras implementar el Ciclo de Deming, así como el seguimiento al Sistema de Gestión de Calidad, la empresa logra un nivel de eficiencia de un 83%, si se compara con la primera auditoría realizada, se puede mencionar que existe un incremento de un 21% con relación al desempeño de las funciones de los 30 trabajadores evaluados.

**IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES**

Se acepta la hipótesis de que al implementar el Ciclo de Deming, la organización incrementa el logro de metas, se observa un mayor cumplimiento de los objetivos planteados, uno de los factores críticos para que se pudieran lograr de manera exitosa es el diseño, desarrollo y verificación del Sistema de Gestión de Calidad, ya que permite llevar un control oportuno a los planes de la empresa.

Es importante mencionar que gracias a la aplicación del Ciclo de Deming se puede identificar de manera pertinente, las áreas de oportunidad, dentro de las que destacan la sobre facturación y la interrupción en los servicios, lo cual a su vez permite establecer adecuadamente la programación de capacitaciones, diseño de formatos y manuales para el

trabajador con el propósito de hacer más eficiente el desarrollo de sus funciones diarias.

Las recomendaciones propuestas para la empresa son: la fijación de metas alcanzables, dar seguimiento al Sistema de Gestión de Calidad, analizar los procesos de la organización y rediseñar los que sean necesarios, eliminar prácticas obsoletas y estar a la vanguardia con las tendencias sobre mejora continua.

**V. AGRADECIMIENTOS**

Se reconoce al Instituto Tecnológico Superior Zacatecas Occidente por la colaboración respecto a los medios proporcionados para la realización de este estudio. De la misma manera se agradece a la empresa dedicada a brindar servicios de mantenimiento en construcción y minas por atender a la solicitud de información de esta investigación.

**VI. REFERENCIAS**

[1] Aldana de Vega, L. A. (2011). Administración por calidad. Bogotá, Universidad de La Sabana. Recuperado de <https://elibro.net/es/ereader/itszo/102014?page=72>.

[2] González Gaya, C. y Domingo Navas, R. (2013). Técnicas de mejora de la calidad. Madrid, Spain: UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia. Recuperado de <https://elibro.net/es/ereader/itszo/48633?page=14>.

[3] López Lemos, P. (2016). Herramientas para la mejora de la calidad: métodos para la mejora continua y la solución de problemas. Madrid, FC Editorial. Recuperado de <https://elibro.net/es/ereader/itszo/114213?page=29>.

[4] Reverté, E. (Il.) y Merino Gómez, B. (Trad.) (2018). Mejora tu productividad. Barcelona, Editorial Reverté. Recuperado de <https://elibro.net/es/ereader/itszo/105554?page=16>.

[5] Sánchez Rivero, J. M. y Enríquez Palomino, A. (2017). Herramientas para la mejora continua de los sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo. Madrid, FC Editorial. Recuperado de <https://elibro.net/es/ereader/itszo/128146?page=275>.

[6] Walter Stachú, S. (2009). Identificación de la problemática mediante Pareto e Ishikawa. Santa Fe, Argentina, Argentina: El Cid Editor | apuntes. Recuperado de <https://elibro.net/es/ereader/itszo/31400?page=4>.

[7] Zapata Gómez, A. (2015). Ciclo de la calidad PHVA. Bogotá, Editorial Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de <https://elibro.net/es/ereader/itszo/129837?page=14>.

## VII. BIOGRAFÍA



**Mena Zamora Lorena.** Nació el 15 de Diciembre de 1999 en Sombrerete, Zacatecas. Ingeniera en Gestión Empresarial por el Instituto Tecnológico Superior Zacatecas Occidente, Sombrerete, Zacatecas 2022.

En Julio de 2020 se agrega como Administradora de Unidades de Mantenimiento en la empresa Anclas Mineras de Sombrerete diseñando e implantando procesos de apoyo al mantenimiento y reparación automotriz, así como implementando normativas obligatorias por ley, con el propósito de fortalecer la seguridad de los trabajadores. En Julio de 2021 colabora con la empresa Oppenh Minería controlando y optimizando los gastos de la organización, así como implementando herramientas de mejora continua en los procesos operativos y administrativos. Actualmente trabaja en Montajes y estructuras de Zacatecas como asistente de gerencia en la sucursal, dando oportuno control al activo fijo de la empresa.



**Guzmán Ayala Ana Laura.** Nació en Sombrerete, Zacatecas el 4 de septiembre de 1984. Historial académico: Ingeniería Industrial por el Instituto Tecnológico Superior Zacatecas Occidente, Sombrerete, Zacatecas, 2007. Maestra en Calidad Total Seis Sigma por la Universidad Regional del Norte, Chihuahua, Chihuahua, junio 2020.

Se integra al ámbito laboral en el año 2007 para el organismo público INEGI coordinando y capacitando personal para captar información de la población. En el 2008 colabora en el sector privado para la empresa Agrocapital del Norte fungiendo como encargada de la sucursal de Sombrerete en el otorgamiento de créditos financieros y préstamo de semillas. En el año 2010 se agrega al grupo de docentes del Instituto San Juan Bautista Lasalle impartiendo clases de inglés y computación. En el año 2013 imparte clases de inglés para escuelas de nivel básico de la SEDUZAC. En el 2014 se incorpora a la empresa BBVA realizando transacciones, vendiendo tarjetas y administrando los recursos financieros. Desde 2017 a la fecha se une al Instituto Tecnológico Superior Zacatecas Occidente como docente participando en los procesos de enseñanza-aprendizaje. Actualmente la M.C.S.S. es perfil PRODEP y colabora en el cuerpo académico Desarrollo y Gestión Empresarial “En Formación”, promoviendo la generación de proyectos que desarrollan la competitividad de las empresas de la región.



**Ceceñas Jacquez Marco Iván.** Nació en Vicente Guerrero, Durango. El 10 de febrero de 1988. Historial académico: Licenciado en Administración por Instituto Tecnológico Superior Zacatecas Occidente, Sombrerete, Zacatecas, 2011. Maestro en Administración de Negocios por la Universidad Interamericana para el Desarrollo, Fresnillo, Zacatecas, 2016.

Él se integró a la industria privada en 2010 como administrador de CE&JA contratista de la industria minera. En 2012 se incorpora a Heineken México como analista y auditor de control interno en la gerencia occidente del país, posteriormente se integra a Tiendas Soriana como jefe de mercancías generales. Desde 2012 a la fecha ha fungido como consultor empresarial de negocios en la región de Sombrerete. Actualmente se desempeña como profesor de tiempo completo en el Instituto Tecnológico Superior Zacatecas Occidente, Sombrerete, Zacatecas. La línea de

investigación de interés es Desarrollo y gestión empresarial. El M.A.N. Marco Iván Ceceñas Jacquez tiene el reconocimiento como perfil PRODEP y es líder del Cuerpo académico Desarrollo y Gestión Empresarial “En formación”. Es miembro de la Red internacional de investigadores en competitividad AC, con sede en Guadalajara, Jalisco.



**Ceseñas Cordero María Guadalupe,** Nació en Vicente Guerrero, Dgo. El 2 de junio de 1980. Historial académico: Licenciada en Matemáticas Aplicadas por la Facultad de Ciencias Exactas de la UJED, 2004. Pasante de la Maestría en Matemáticas Aplicadas de la UAZ. Fue analista en la UJED en el proyecto de Seguimiento de Egresados del 2001 hasta junio del 2004.

De agosto de 2004 a la fecha es profesor de asignatura B en el Instituto Tecnológico Superior Zacatecas Occidente, Sombrerete, Zacatecas. La línea de investigación de interés es Desarrollo y gestión empresarial. La L.M.A María Guadalupe Ceseñas Cordero es miembro del Cuerpo académico Desarrollo y Gestión Empresarial “En formación”.



**Pinedo Reza Lucia Ernestina.** Nació en Sombrerete Zacatecas el 26 de marzo de 1965. Experiencia docente 18 años en el Tecnológico Superior Zacatecas Occidente campus Instituto Tecnológico Superior Zacatecas Occidente en las áreas de contabilidad y finanzas. Historial académico: Licenciada por la Universidad Autónoma de Zacatecas, en Zacatecas México, 2000.

Maestra en Administración en el instituto de estudios Universitarios Puebla, México, 2015. Actualmente labora en el Tecnológico Nacional de México campus Instituto Tecnológico Superior Zacatecas Occidente en la ciudad de Sombrerete Zacatecas México. Las áreas de investigación son desarrollo regional, desarrollo empresarial y finanzas. Actualmente es integrante del cuerpo académico Desarrollo y Gestión Empresarial en Formación.

# Diseño del sistema de gestión y control de inventarios en empresa ferretera

*D. I. Esquivel-González<sup>1</sup>, M. I. Ceceñas-Jacquez<sup>1</sup>, A. L. Guzmán-Ayala<sup>1</sup>, M. N. Castrejón-Álvarez<sup>1</sup>, J. I. Cuevas-Zapata<sup>1</sup>.*

**Resumen**—El presente trabajo aborda la problemática del manejo ineficiente de inventarios, particularmente de una empresa ferretera en la zona de Sombrerete, Zacatecas. Mediante una inspección dentro de la empresa se realiza un diagnóstico que puntualiza aspectos negativos de la gestión de inventarios llevada hasta el momento y en seguida propone acciones para mejorar el control interno, supervisar el sistema, controlar los procedimientos, registros implementados y validar los procesos propuestos mediante indicadores de gestión. Se establece una secuencia metodológica de pasos para cumplir con la función que se quiere lograr haciendo encuestas y proponiendo un diseño y distribución de almacén haciendo uso del sistema ABC, un sistema de entradas y salidas del almacén, clasificación de los productos con el modelo ABC, así como el planteamiento de un modelo de inventarios con revisión continua determinado el punto de reorden en el modelo EOQ. Con este sistema de control y gestión de inventarios se evita el acumulamiento de mercancía y se garantiza los mejores resultados para la misma al tener un control adecuado y estricto, incentivando un incremento de ventas y mejor control de los recursos de la organización.

**Palabras claves**— *almacén, control, gestión, inventarios y sistema*

**Abstract**— The present job is about the problem of inefficient inventory management, particularly of the company of tools in the area of Sombrerete, Zacatecas. Through an inspection to the company, a diagnostic is made that shows you negative aspects of inventory management until now and the proposed actions to improve internal control, supervise the system, control procedures, data collection and validate the proposed processes through management indicators. A methodological sequence is established to complete the function, using a poll and proposing a design and warehouse distribution using the ABC system, control of inputs and outputs in the warehouse, product classification with the ABC model, as well an inventory model with revision continues to determine the reorder point in the EOQ model. With this inventory control and management system, the accumulation of merchandise is avoided and the best results are guaranteed for it by having adequate and strict control, encouraging an increase in sales and better control of the organization's resources.

**Keywords**— *control, inventories, management, system and warehouse*

## I. INTRODUCCIÓN

Diseñar un sistema de gestión y control de inventarios tiene el propósito de garantizar un control riguroso y así cada vez que un cliente busque un producto la empresa pueda ponerlo a su disposición respondiendo rápidamente a las necesidades del cliente, controlando las entradas y salidas del mismo.

El inventario representa las existencias de bienes muebles e inmuebles que serán usados para satisfacer una demanda futura [7]. Es importante considerar que los inventarios sirven para responder a necesidades de disponibilidad, pero sin tener productos o artículos ociosos que ocupan espacio y generan costo.

El presente proyecto se aborda desde un enfoque cuantitativo al realizar una valoración basada en análisis numéricos y métodos de recolección de datos estandarizados que ayudan a interpretar el fenómeno de estudio. En este caso el manejo de inventarios, su gestión y control pueden ser analizados desde perspectivas cuantitativas. [6]

Otro de los aspectos aunados al manejo de los inventarios son los almacenes y su diseño, dado que estos contendrán de forma física los inventarios. El almacén debe ser diseñado con base en los flujos de productos y codificados para una distribución y operación más efectiva [2].

En el control de inventarios se hace necesario tener presente el manejo de stocks. El stock es el conjunto de productos almacenados en espera de su ulterior empleo, más o menos próximo, que permite surtir regularmente a quienes los consumen, sin imponerles las discontinuidades que lleva consigo la fabricación o los posibles retrasos en las entregas por parte de los proveedores [4]. Tener un cálculo de los stocks más óptimos hace más eficiente el manejo de los inventarios.

En el diseño del sistema propuesto se contempla un modelo de demanda y anticipación constante. El objetivo de este método es bajar todos los costes en lo posible. En el método

<sup>1</sup> Instituto Tecnológico Superior Zacatecas Occidente. División de IGE y LA. Avenida Tecnológico No.2000, Colonia Loma la Perla, C.P. 99102, Sombrerete, Zacatecas, México. \* micenas@itszo.edu.mx

se tiene en consideración el coste del pedido, entre menos pedidos menos costes; también contempla el costo de almacenamiento a mayor mercancía, mayor costo de gestión [3]. Generar un punto de reorden y una disminución de pedidos hará más rentable el manejo de inventarios.

El manejo de almacenes e inventarios contempla también el tipo de productos y proveedores, seleccionado aquellos que mejor responden a las necesidades, el método de preclasificación y de categorización pueden mejorar los flujos de mercancías en organizaciones no tan grandes [1].

## II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

### A. Diagnóstico del proceso de inventarios

Se parte de generar una radiografía general del estado actual del proceso de inventarios de la empresa, a fin de identificar déficits y otros factores que provocan improductividad.

### B. Diseño de encuestas de análisis y observación directa

Como parte del diagnóstico se define un instrumento particular que mide por separado las áreas de planeación, gestión y control de inventarios. Se establece una escala de 1 a 4, dónde 1 significa que la empresa no tiene o no realiza la función, mientras que el 4 significa que realiza con eficiencia la función. Con lo anterior, se permite conocer el estado actual del manejo de inventarios.

### C. Rediseño y distribución de almacén

En el diseño de distribución de almacén puede ser considerando el modelo de inventarios, el flujo de productos y puede ser en forma de L o U y considerando la codificación de zonas de almacén en estantería lineal [2]. Con base en un análisis de tipos de productos, flujos de venta y distribución de planta se genera un rediseño del almacén que se evalúa con el sistema de inventarios y los flujos de mercancías.

### D. Diseño de sistema de inventarios de entradas y salidas

Se establece un sistema de entradas y salidas que maneje con la máxima precisión el inventario. A través del sistema se monitorea los flujos de mercancías y con ello evaluar la eficiencia del diseño de almacén que responda a las necesidades de la empresa.

### E. Clasificación de productos mediante sistema ABC

Priorizar las mercancías más importantes para la empresa como pueden ser los productos con mayor impacto en los beneficios de la empresa y las que mayor rotación suponen, de temporada etc., en lugar de tratar a todas las referencias por igual o de organizarlas por su tamaño, peso o cantidad.

El sistema de clasificación ABC es un sistema de clasificación de los productos para fijar un determinado nivel

de control de existencia; y con esto, reducir tiempos de control, esfuerzos y costos en el manejo de inventarios. [5].

### F. Clasificación por valor total

Se clasifica toda la mercancía ya que se requiere un control continuo del stock para redefinir las categorías A, B y C dando actualizaciones en las salidas y entradas de mercancía del almacén. La clasificación cambia de forma continua y esto hace necesario que se tenga que recalcular semanal o mensualmente para evitar que el sistema quede desfasado

### G. Desarrollo del modelo de demanda y tiempo de anticipación constante

Se utiliza el método de gestión de stock para reducir los costes de inventarios en el almacén y se calcula tomando en cuenta el tiempo de entrega, el pronóstico de la demanda y el nivel de servicio. Este cálculo es necesario para automatizar la gestión de los inventarios

### H. Validación del sistema mediante indicadores de gestión

Este sistema será evaluado mediante indicadores de gestión que permitan el control y el seguimiento del desempeño del sistema.

## III. RESULTADOS

### A. Diagnóstico del sistema y manejo de inventarios.

En la Tabla I. Se presenta la evaluación del área de planeación con 7 preguntas. Se puede observar que de acuerdo a la escala de 1 a 4 se obtienen cuatro números 1 siendo más del 50% de aspectos negativos o funciones no realizadas, dos números 2 que significa que realizan de forma parcial las funciones medidas y solo un número 3 que implica una función realizada relativamente bien, pero no hay ninguna función realizada al 100%.

TABLA I. EVALUACIÓN DEL ÁREA DE PLANEACIÓN

No.	Pregunta	1	2	3	4
1	¿Los productos están organizados correctamente en almacén para un mejor uso del espacio?	X			
2	¿El diseño del almacén es el adecuado para los productos de la empresa?		X		
3	¿Se maneja un control mediante procedimientos o técnicas para la planeación de inventarios?	X			
4	¿Los productos son fácilmente identificables?			X	
5	¿Se tiene establecido el tiempo para sacar pedido de mercancía agotada?	X			
6	¿Se tiene identificados los productos de mayor rotación de acuerdo con la ubicación?		X		
7	¿La distribución del almacén no pone en peligro a los miembros de la organización?	X			
		4	2	1	0

En lo que refiere al área de gestión se midieron cinco funciones principales. La Tabla II muestra el diagnóstico obtenido, dos de las funciones no se realizan o se realizan de forma incorrecta, mientras que dos más de las funciones son realizadas de forma parcial y sólo una función se desarrolla de forma eficiente. Se observa la ventana de oportunidad a la optimización.

TABLA II. EVALUACIÓN DEL ÁREA DE GESTIÓN

No	Pregunta	1	2	3	4
1	¿Se realiza una revisión periódica de los productos en físico y en el sistema?	x			
2	¿Se valida la cantidad solicitada a los proveedores en las facturas?				x
3	¿Se maneja un control mediante procedimientos o técnicas para la gestión de inventarios?		x		
4	¿Los productos son fácilmente identificables?			x	
5	¿Se tiene un acomodo de inventario basado en seguridad?	x			
		2	1	1	1

Finalmente, en la Tabla III. Se observa el estado actual del área de control, se miden siete funciones. Dos de ellas se realizan de forma deficiente o no se realizan y cuatro de forma parcial, significando un relativo buen funcionamiento del área, pero perfectible y solo una función se desarrolla de forma efectiva existiendo aspectos o funciones a mejorar.

TABLA III. EVALUACIÓN DEL ÁREA DE CONTROL

No.	Pregunta	1	2	3	4
1	¿Según la información en el sistema de gestión de inventarios es igual a la evidencia física?	x			
2	¿Se revisa detalladamente los productos al llegar al almacén?		x		
3	¿Se maneja un control mediante procedimientos o técnicas para el control de inventarios?		x		
4	¿Los productos exhibidos son de fácil identificación?				x
5	¿Las solicitudes de productos agotados son en tiempo y forma?		x		
6	¿La mercancía es recibida por la persona encargada de esa función?			x	
7	¿Han establecido políticas para el manejo de entrega de orden de compra?	x			
		2	3	1	1

Con el diagnóstico anterior se identifican los principales déficits del manejo de los inventarios, aunado a estos resultados se puede agregar la entrevista de profundidad dada con los responsables del área y la observación directa, en el que se toman a consideración como primer paso la mejora o rediseño de los almacenes.

**B. Rediseño y distribución de almacén**

Con base en el diagnóstico se encontraron las deficiencias, además de la observación y análisis de dimensiones, rotación de mercancías, marca o grupo de productos y el método ABC se realiza el rediseño proponiendo tres almacenes.

Como se puede observar en la Figura 1, donde los elementos de tipo A como los son los materiales eléctricos y pijas, permiten tener un mejor acceso y manejo reduciendo tiempos en la salida del material, lo mismo sucede para los elementos tipo B y los de tipo C, los cuales son más productos del mismo proveedor.

La distribución del almacén, permite a los trabajadores tener fácil acceso y buena movilidad dentro de las áreas en el almacén. Se deben mantener libres los espacios de tránsito seguro y debe ser obligación del almacenista de obra estar al tanto de que no se obstruya el paso. Se establece como tipo B a las herramientas, generando un espacio adecuado para que el almacenista tengan fácil acceso y control a ellos.

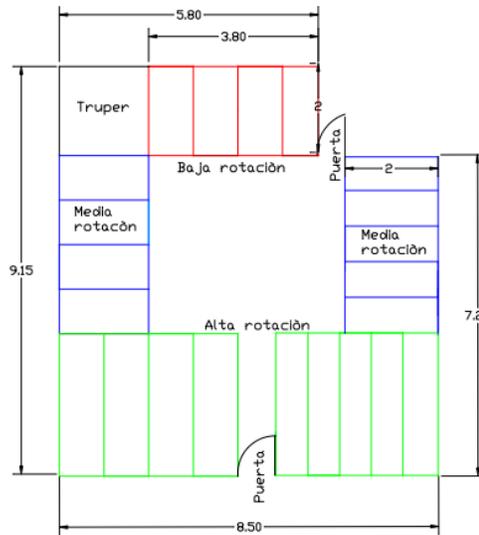


Figura 1. Almacén 1-T.

En la Figura 2 se muestra la distribución del almacén 2-GP, se presenta el diseño de distribución del almacén, donde los elementos de tipo A, como los son: área de juegos de baños y de mangueras permiten tener un mejor acceso y manejo reduciendo tiempos en la salida del material.

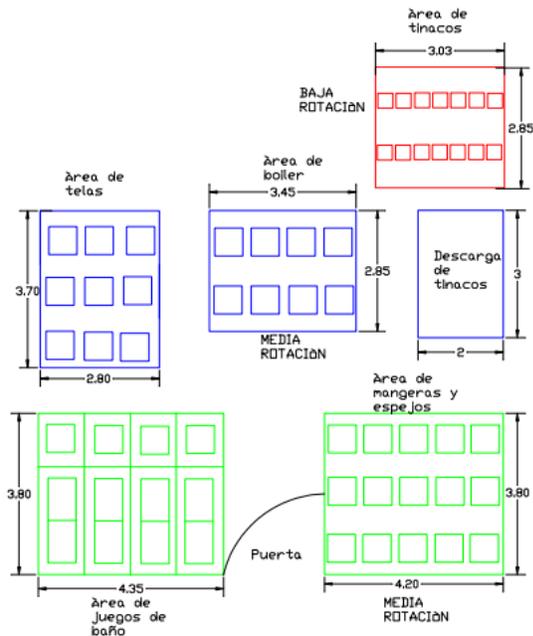


Figura 2. Almacén 2-GP.

Se muestra en la Figura 3 el grupo de productos de pinturas, donde los elementos de tipo A como los son las pinturas vinílicas de años y el área de pintura de aceite que permiten tener un mejor acceso y manejo reduciendo tiempos en la salida del material, lo mismo sucede para los elementos tipo B y los de tipo C, los cuales son las áreas de pintura de 4 años vinílicas, impermeabilizante, selladores y pintura de 6 años vinílica. Esto con el principal objetivo de evitar amontonamiento de material y desorden en el mismo.

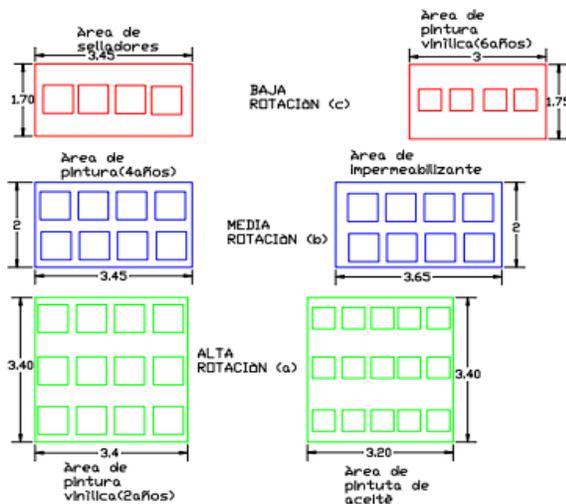


Figura 3. Almacén 3-SL.

C. Diseño del sistema de inventarios

Para el mejor control de mercancías y considerando el rediseño de almacenes con su distribución por tipo de producto, rotación de mercancías y clasificación ABC, se procede al diseño de un sistema de registro en Excel que permite tener un control más preciso de los movimientos.

NBBBR	Taza Blanca Normal	5
NA0002	Tanque Blanco Normal	6
NA0003	Lavabo Blanco Normal	7
NA0005	Pedestal Blanco Normal	6
FGGGG2	Juego de accesorios Blanco Normal	2
FGGG4	Asiento Blanco Cato	4
GFF45	Asiento Blanco Truper	4
FR444	Taza Pastel	3
FRR44	Tanque Pastel	3

Figura 4. Registro de inventario de productos.

La Figura 4 muestra el formulario de Excel, en el que se realiza el registro de productos en inventario, que se vincula automáticamente con las entradas y salidas ver Figura 5.

Nº FACTURA	FECHA	CÓDIGO PRODUCTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
18SM00015	11/01/1900	NBBBR	Taza Blanca Normal	2
18SM00016	11/01/2022	FGGG4	Asiento Blanco Cato	4
18SM00017	11/01/2022	GFF45	Asiento Blanco Truper	3
18SM00018	11/01/2022	FR444	Taza Pastel	3
18SM00019	11/01/2022	FRR44	Tanque Pastel	2
18SM00020	11/01/2022	GGFEFEF343	Taza Beige Alargada	2
18SM00021	11/01/2022	FEFEFE	Tanque Beige alargada	2
18SM00022	11/01/2022	HNRFF3	Lavabo Beige alargada	2

Figura 5. Registro de entradas y salidas.

La figura 5 muestra que de forma semanal y mensual se registran tanto entradas como salidas, se genera un gráfico de barras que permite realizar un análisis comparativo y revisar el comportamiento de los inventarios.

D. Análisis de los productos según clasificación ABC y valor total.

La figura 6 muestra la clasificación del Almacén 1, tiene 57 productos clasificados A con un valor en el inventario del 74.6%, enseguida 45 productos con clasificados B que representan un valor en el inventario del 20.2% y por último clasificados C hay 15 productos que representan un 5.2% en

el valor total del inventario que sumando las equivalencias nos da una frecuencia acumulada del 100%.

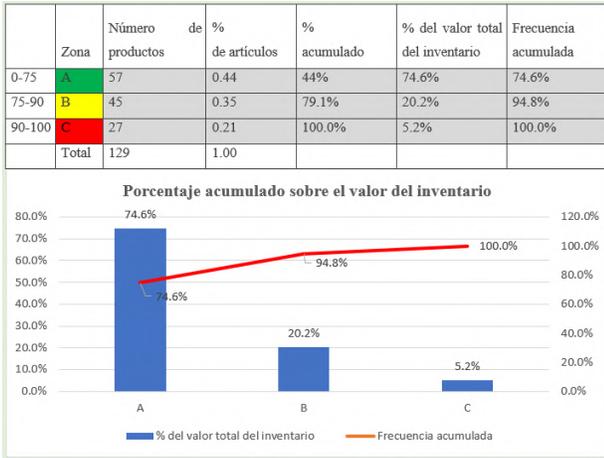


Figura 6. Clasificación ABC de Almacén 1.

En la figura 7 se puede apreciar la clasificación de 17 productos A con un valor en el inventario del 64.4%, enseguida nos muestra que 23 productos B que representan un valor en el inventario del 25.3% y por último los productos C son 18 que representan un 10.2% en el valor total del inventario que sumando las equivalencias nos da una frecuencia acumulada del 100% del almacén 2.

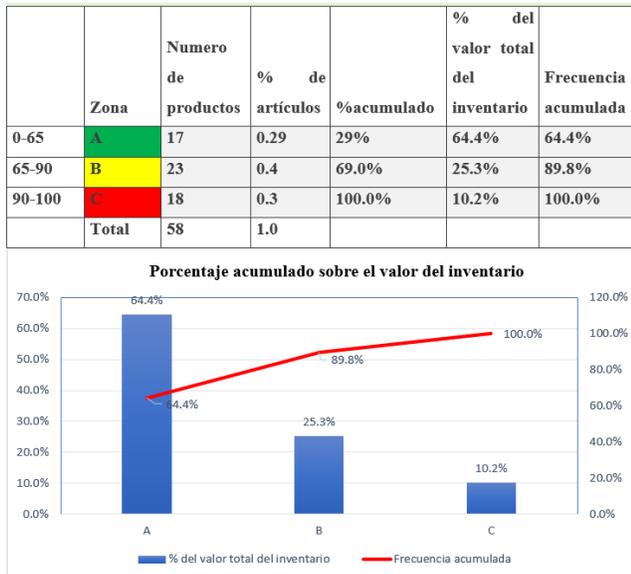


Figura 7. Clasificación ABC Almacén 2.

La figura 8 presenta la clasificación del almacén 3, con 32 productos A con un valor en el inventario del 50%, posteriormente 85 productos con clasificados B que representan un valor en el inventario del 40% y por último clasificados C son 63 productos que representan un 5.2% en

el valor total del inventario que sumando las equivalencias nos da una frecuencia acumulada del 100%.

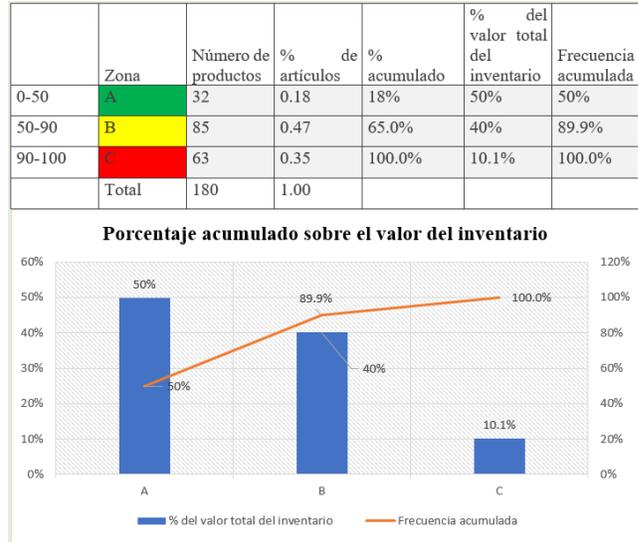


Figura 8. Clasificación ABC Almacén 3.

E. *Determinación de punto de reorden con cálculo de demanda.*

En (1) se muestra el cálculo del punto de reorden considerando el cálculo de la demanda y el tiempo de anticipación, donde Q es la cantidad óptima de pedido, K es el costo estimado del pedido, λ demanda de unidades, I tasa del costo de inventario y c el costo por unidad.

$$Q = \sqrt{\frac{2 * K * \lambda}{I * c}} \quad (1)$$

El cálculo del punto de reorden aplica para cada uno de los productos de los diferentes almacenes. Por ejemplo, para el cálculo de tasas de baño normales se vendieron 72 piezas en el periodo de un año. El precio de cada una es de \$785.00. El tiempo de entrega del proveedor es de 1 semana (7 días). El hacer pedido cuesta a la empresa \$600 pesos. El costo de mantener el inventario se estima en 24% del costo de cada unidad. Determinando la cantidad óptima de compra es 21 unidades por pedido.

En (2) se puede observar la forma de determinar el punto de reorden (ROP), donde d representa la demanda diaria y L el tiempo de entrega en días.

$$ROP = d * L \quad (2)$$

Considerando las 72 unidades anuales divididas entre los 365 días del año se obtiene que multiplicado por los siete días de

entrega arrojan un punto de reorden de 1.38 que corresponde a 2 unidades.

En (3) se determina el número de pedidos  $N$  que considera la demanda anual ( $D$ ) dividida entre la cantidad óptima de pedidos ( $Q$ ).

$$N = D/Q \quad (3)$$

Considerando las 72 unidades anuales entre las 21 unidades de cada pedido, se obtiene un total de 3.4 pedidos que se aproximan a 4 por año.

$$T = 365/N \quad (4)$$

En (4) se observa la forma de obtener el tiempo promedio entre pedidos, considerando los 4 pedidos anuales se obtiene un tiempo entre pedidos de aproximadamente 91 días.

Estos cálculos se aplican de forma electrónica en el sistema de Excel permitiendo tener un control por cada almacén y cada producto de acuerdo a su clasificación.

Con toda la información anterior, se integra un sistema de seguimiento con indicadores que permiten analizar el comportamiento de los inventarios, gestionando y controlando de forma más óptima cada almacén.

#### IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

La implementación de este sistema de gestión y control de inventarios, permite el mejoramiento en el manejo de mercancías, le garantizará a la empresa una disminución de las fallas que se presentan dentro del almacén y así llevar una eficiente y exitosa administración de los recursos existentes

Se logra hacer una simplificación del trabajo al tener procesos más automatizados y definidos. Esto repercute en la disminución de tiempos de gestión de inventarios, reduce las fallas al mínimo y permite una operación más eficiente del personal involucrado.

Se permite manejar auditorías basadas en puntos de control que se irán dando en la medida que el nuevo proceso lo esté requiriendo, estas auditorías darán seguimiento a todos los parámetros o indicadores para mejorar continuamente, tanto en la gestión física del almacén como en el funcionamiento del sistema digital de inventarios propuesto.

La clasificación y cálculo del valor de inventarios contribuye para que la empresa identifique por marca, tipo de producto y valor cuáles son más rentables y se tomen decisiones sobre

qué productos mantener o cambiar y sobre todo garantizar un costo mínimo de almacenaje.

#### V. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Instituto Tecnológico Superior Zacatecas Occidente, por los medios proporcionados para la realización de este estudio. De la misma manera agradecer a la empresa Ferretera “El Puerto” de Sombrerete, Zacatecas por atender a la solicitud de información de esta investigación.

#### VI. REFERENCIAS

- [1] Sarache, C.W. Castrillón, G.O. y Ortiz, L. (2009). “Selección de proveedores: una aproximación al estado del arte”. *Cuadernos de administración*, vol. 22, núm. 38, pp. 151-161
- [2] Campo, A., Hervás, A y Revilla, T. (2013). *Técnicas de almacén*. 1ra ed., Madrid: McGraw Hill, pp. 31-41
- [3] Cruz, F. A. (2017). *Gestión de inventarios*, 1ra ed., Madrid: Ed. Andalucía: IC pp 109-111
- [4] Ferrín, G. A. (2007). *Gestión de stocks en la logística de almacenes*, Ed. FC Editorial.
- [5] Guerrero, S. H. (2009). *Control de inventarios*. 1ra ed., Bogotá: EcoEdiciones pp. 20-34.
- [6] Hernández, S. R, Collado, C. y Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación*. 6ta ed., México DF.: McGraw Hill, pp. 4-12.
- [7] Moya Navarro, M. J. (1999). *Control de inventarios y teoría de colas*, Ed. EUNED.

#### VII. BIOGRAFÍA



**Esquivel González Daniel Ismael.** Nació en Fresnillo Zacatecas el 26 de diciembre de 1999. Es Ingeniero en Gestión Empresarial por el Instituto Tecnológico Superior Zacatecas Occidente. Se integró a la industria en 2020 trabajando en Hotel A R. S.A DE CV realizando funciones de control de stock. Uso de herramientas de especialidad para la gestión de facturación. Se integra a Ferretería el Puerto manejando la gestión de ingresos de los cargos de habitación y del restaurante y control

eficaz de las reservaciones para obtener un alto índice de ocupación. Coordinador de todas las actividades operativas de almacén además de planificar, dirigir, controlar estrategias de ventas de la tienda a fin de satisfacer las necesidades de los clientes y lograr los niveles de venta óptimos.



**Ceceñas Jacquez Marco Ivan.** Nació en Vicente Guerrero, Dgo. El 10 de febrero de 1988. Historial académico: Licenciado en Administración por Instituto Tecnológico Superior Zacatecas Occidente, Sombrerete, Zacatecas, 2011. Maestro en Administración de Negocios por la Universidad Interamericana para el Desarrollo, Fresnillo, Zacatecas, 2016. Él se integró a la industria privada en 2010 como administrador de CE&JA contratista de la industria minera. En 2012 se incorpora a

Heineken México como analista y auditor de control interno en la gerencia occidental del país, posteriormente se integra a Tiendas Soriana como jefe de mercancías generales en Sombrerete. Desde 2012 a la fecha ha fungido como consultor empresarial de negocios en la región de Sombrerete. Actualmente, se desempeña como profesor de tiempo completo en el Instituto Tecnológico Superior Zacatecas Occidente, Sombrerete, Zacatecas. La línea de investigación de interés es Desarrollo y Gestión Empresarial.

El M.A.N. Marco Ivan Ceceñas Jacquez tiene el reconocimiento como perfil PRODEP y es líder del Cuerpo académico Desarrollo y gestión empresarial “En formación”. Es miembro de la Red internacional de investigadores en competitividad AC, con sede en Guadalajara, Jalisco.

administrativa, facturación, sistemas e inventario. Actualmente forma parte de la planta docente del Instituto Tecnológico Superior Zacatecas Occidente, Sombrerete, Zacatecas. La línea de investigación de interés es Desarrollo y gestión empresarial.

La M.A.N. Jessica Ivón Cuevas Zapata tiene el reconocimiento como perfil PRODEP y es parte del Cuerpo académico Desarrollo y Gestión Empresarial “En formación”.



**Guzmán Ayala Ana Laura.** Nació en Sombrerete, Zacatecas el 4 de septiembre de 1984. Historial académico: Ingeniera Industrial por el Instituto Tecnológico Superior Zacatecas Occidente, Sombrerete, Zacatecas, 2007.

Maestra en Calidad Total Seis Sigma por la Universidad Regional del Norte, Chihuahua, Chihuahua, Junio 2020.

Se integra al ámbito laboral en el año 2007 para el organismo público INEGI coordinando, así como capacitando personal para captar y difundir información de la población. En el 2008 colabora en el sector privado para la empresa Agrocapital del Norte fungiendo como encargada de la sucursal de Sombrerete en el otorgamiento de créditos financieros y préstamo de semilla. En el año 2010 se agrega al grupo de docentes del Instituto San Juan Bautista Lasalle impartiendo clases de inglés y computación. En el año 2013 imparte clases de inglés para escuelas de nivel básico de la SEDUZAC. En el 2014 se incorpora a la empresa BBVA realizando transacciones, vendiendo tarjetas y administrando los recursos financieros. Desde 2017 a la fecha, se une al Instituto Tecnológico Superior Zacatecas Occidente como docente participando en los procesos de enseñanza-aprendizaje. Actualmente tiene el reconocimiento como perfil PRODEP y es integrante del cuerpo académico Desarrollo y Gestión Empresarial “En formación”.



**Castrejón Álvarez Ma. Nely.** Nació en Sombrerete Zacatecas el 30 de noviembre de 1982. Experiencia como docente aproximadamente 14 años en el Tecnológico Nacional de México campus Instituto Tecnológico Superior Zacatecas Occidente en las áreas de investigación, administración, finanzas, mercadotecnia y economía. Historial académico: Licenciada en Economía por la Universidad Autónoma de Zacatecas, en Zacatecas México 2007. Maestra en Administración de Negocios por

la Universidad Tec Milenio, Campus Monterrey Nuevo León, México, 2011. Ella se integró en el ámbito laboral en 2001 como encuestador y capacitador para INEGI, en 2004 se integra a la Secretaría. de Desarrollo Económico Fondo plata en la ciudad de Zacatecas desempeñándose como asistente de jefe de cartera, en 2006 laboró en Banamex como asesor financiero, actualmente forma parte de la planta docente en el Tecnológico Nacional de México campus Instituto Tecnológico Superior Zacatecas en la ciudad de Sombrerete Zacatecas México. Las áreas de investigación de ella son desarrollo regional, desarrollo empresarial, economía, mercadotecnia y finanzas. Actualmente, tiene el reconocimiento como perfil PRODEP y es integrante del cuerpo académico Desarrollo y Gestión Empresarial en Formación.



**Cuevas Zapata Jessica Ivón.** Nació en Zacatecas el 03 de abril de 1982.

Historial académico: Licenciada en Administración por el Instituto Tecnológico de Durango. Durango, 2004. Maestra en Administración de Negocios por la Universidad Interamericana para el Desarrollo, Fresnillo, Zacatecas, 2016.

Ella se integró a la industria privada en 2004 como jefa del departamento de calidad en Fumigaciones Industriales. En el 2005 funge como encargada del departamento contable de PC Online, del 2006-2012 se incorpora a Wal-Mart de México desempeñando diversos cargos en al área de operaciones: supervisora del área de cajas, subjefa en los departamentos de oficina

# La importancia que tiene la seguridad e higiene dentro de los comercios locales de San Pedro

Y. O. Muñoz-Vazquez<sup>1</sup>, R. E. Vielma-Castillo<sup>1</sup>, E. C. Aguilar-Favela<sup>1</sup>

**Resumen**— El presente estudio se efectuó para identificar la seguridad e higiene en los diversos comercios locales que se encuentran en San Pedro Coahuila. Realizando una encuesta por medio de Google Forms, tomando una muestra de (n=30) entre ellos encargados y trabajadores que laboran en los locales; su forma de aplicación fue partes iguales por medio de redes sociales y de forma presencial. Dado los resultados se obtuvo que a pesar de que el 100% de los encuestados saben a qué se refiere el término de seguridad e higiene, la mayoría de ellos no lo emplean correctamente. El 36,7% maneja sustancias químicas sin cuidado y en su desconocimiento se pueden llegar a correr peligro al usar incorrectamente este tipo de sustancias entre ellas destaca el uso amoniac y cloro con fines de limpieza y desinfección. Mientras que las áreas inseguras tuvieron un puntaje alto a los riesgos, que podrían presentarse dentro de los comercios, siendo los cables eléctricos sin aislar un problema que se toma a ligera.

Por lo tanto, se analizó y determinó que se es necesario diseñar un plan de intervención, entre los comerciantes, evitando así que se produzcan accidentes en los comercios locales que se encuentran en San Pedro.

**Palabras claves**— comercio, higiene, locales, seguridad

**Abstract**— This project was carried out through an investigation, within the various local businesses found in San Pedro Coahuila. Thus conducting a survey through Google Forms, taking a sample of (n = 30) including managers and workers who work in the premises; Its form of application was 50% through social networks and the other 50% was applied in person. Given the results, it was obtained that despite the fact that 100% of the respondents know what safety and hygiene refers to, most of them do not use it correctly. 36.7% handle chemical substances, being a minimum that use them, they can end up in danger by incorrectly using this type of substance. While unsafe areas scored high for risks, which could occur within businesses, uninsulated power lines were an issue that was taken lightly.

Therefore, it was analyzed and determined that it is necessary to design a plan that establishes how safety and hygiene should be carried out, thus avoiding accidents in local businesses that are in San Pedro.

**Keywords**—hygiene, local, securit, trade

## I. INTRODUCCIÓN

Según datos del Censo Económico 2019, los sectores económicos que concentraron más unidades económicas en San Pedro fueron Comercio al por Menor (1,166 unidades), La seguridad y la salud en el trabajo han sido tema de interés en las diferentes etapas del desarrollo histórico de la sociedad, por lo que la formalización de sus métodos y fines, así como su cuerpo teórico, son el resultado de la producción investigativa de profesionales de diferentes especialidades.

Martínez, E. A. [1] En ocasiones, los sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo implementados en nuestras empresas no cumplen su objetivo fundamental, que es el de disminuir o evitar la ocurrencia de incidentes, accidentes de trabajo y de enfermedades profesionales, lo cual responde básicamente a las inminentes insuficiencias que muestran la implementación de este sistema en las empresas y por consiguiente la inadecuada aplicación de la responsabilidad social empresarial (RSE).

Ofreciendo así un diagnóstico sobre la importancia que tiene la seguridad e higiene dentro de los comercios locales de San Pedro. Llevando a cabo mediante el diseño de una política de Seguridad y Salud Ocupacional dentro de los comercios locales, teniendo como propósito propender a la prevención de accidentes y enfermedades laborales, también incrementando la seguridad y salud ocupacional integral en los establecimientos; permitiendo que se construya un medio ambiente de trabajo adecuado y justo para las personas que laboran. De este modo, los trabajadores pueden desarrollar su actividad en un ambiente seguro, sin riesgos de accidentes y con las condiciones de higiene necesarias para que se desarrolle las actividades correspondientes.

Mónica Míguez Pérez [2] “en el caso de exposición a agentes susceptibles de causar daños graves a la salud de los trabajadores, se considerará que existe un riesgo grave e inminente cuando sea probable racionalmente que se materialice en un futuro inmediato una exposición a dichos agentes de la que pueden derivarse daños graves para la salud, aun cuando estos no se manifiesten de forma inmediata”.

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería en Gestión Empresarial, Instituto Tecnológico Superior de San Pedro de las Colonias, Del Tecnológico 53 Colonia del Tecnológico, C.P. 27800, San Pedro de las Colonias, Coahuila,

México. \* yamileth.munos19@gestion.tecsanpedro.edu.mx.

Cardillo, D. [3] Es importante en la actualidad que las entidades que velan por los mercados municipales conozcan los beneficios que obtendrán de las medidas de seguridad e higiene para los comerciantes y gerentes. Se recomienda diseñar un plan de seguridad e higiene industrial que se adecue a las necesidades para cada uno de los mercados municipales.

## II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

**Objetivo General:** Garantizar condiciones de trabajo seguras y saludables con el fin de llevar a cabo actividades que se realizan en los diferentes comercios locales que se encuentran en San Pedro, a través de las actividades de protección de la salud y de la identificación de los peligros, evaluación y control de los riesgos ocupacionales, que contribuyen al bienestar físico, mental y social de los trabajadores, con el fin de evitar accidentes de trabajo y enfermedades laborales.

**Objetivo Especifico:** Ubicar y mantener informados a los trabajadores que laboran dentro de los comercios locales que residen en de San Pedro; mediante la corrección de problemas, la detección de fallas y la evaluación de riesgos, que pueden llegar a ocurrir dentro de los locales, siendo así que se puede llegar a prevenir un número importante de accidentes y enfermedades dentro del ámbito laboral. En este documento se plantea la prevención como premisa para evitar accidentes y enfermedades de trabajo; se establece como las condiciones inseguras, los actos inseguros y la exposición a agentes del medio ambiente laboral que son causantes de los riesgos de trabajo, que, a nivel mundial, causan la muerte a dos millones de trabajadores cada año.

Muchas organizaciones presentan dificultades para iniciar actividades de Seguridad e Higiene del Trabajo pues no tienen personal preparado, percibiendo como difícil y costoso cumplir la normatividad a que están obligadas, aunque no es así. Aquí se plantea un procedimiento para diagnosticar el lugar de trabajo a través de listados de verificación elaborados y probados como guías para identificar condiciones inseguras y agentes ambientales, obtenidos de la normatividad vigente en la materia en México. Se busca con el diagnóstico, plantear las acciones de prevención y corrección, priorizarlas, programarlas, presupuestarlas y ejecutarlas, y con esto facilitar a personas y organizaciones a iniciar o continuar un trabajo sistemático de mejora continua de la seguridad laboral y, como consecuencia, de su calidad, productividad y competitividad.

Por lo cual se realizó una encuesta por medio de Google forms, la cual fue aplicada a diversos encargados y trabajadores que laboran en los locales; la forma en que se

manejó su aplicación fue el 50% por medio de redes sociales y el otro 50% fue aplicada de forma presencial.

## III. RESULTADOS

Una vez reunidos los datos se graficaron y se obtuvo el análisis correspondiente:

El 100% de los encuestados afirmaron saber a qué se refiere la seguridad e higiene, así como se muestra en la **Figura 1**.

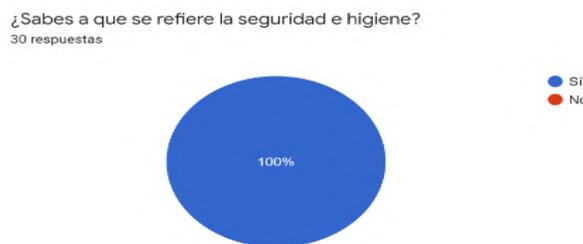


Figura 1. Seguridad e Higiene.

En la Figura 2, el 15% de los encuestados mencionan que el trabajo más inseguro son los cables eléctricos sin aislar. Por lo que el 14% nos dicen que son los pisos inestables; el 11% son los equipos en mal mantenimiento y mala ventilación.

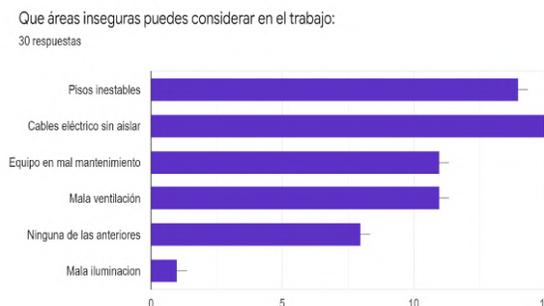


Figura 2. Áreas Inseguras

El 60% asegura que la seguridad en el trabajo es buena, mientras que el 36,7% la considera regular y tan solo el 2,3% dicen que es mala. Así como se muestra en la Figura 3.

Consideras que la seguridad en tu trabajo es:  
30 respuestas

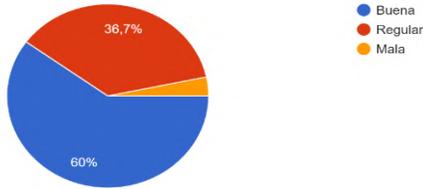


Figura 3. Seguridad En El Trabajo.

El 20% de los encuestados nos señalan que, si cuentan con el señalamiento de prohibido, el 16% cuenta con las condiciones de seguridad, mientras que el 13% cuenta con las señales de obligaciones. Así como se muestra en la Figura 4.

El local cuenta con las señaléticas de seguridad e higiene como:  
29 respuestas

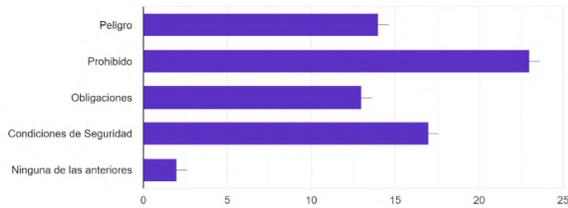


Figura 4. Señaléticas De Seguridad E Higiene

Como se muestra en la Figura 5, nos dice que el 46,7% considera que la higiene se emplea en los locales es regular, mientras que el 43,3% la considera buena. Sin embargo, el 6% dice que es mala y el 4% lo considera pésimo.

Consideras que la higiene implementada en los locales son:  
30 respuestas

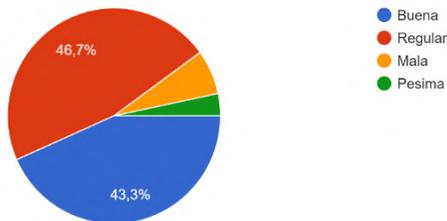


Figura 5. Higiene En Los Locales.

El 56% afirma contar con fácil acceso al kit de primeros auxilios, mientras que el 36,7% dice que no accede tan fácilmente. Así como se muestra en la Figura 6.

¿Cuentan con fácil acceso al kit de primeros auxilios?  
30 respuestas

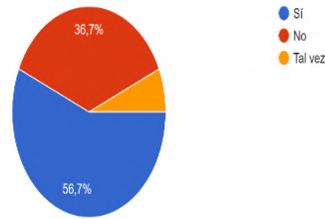


Figura 6. Kit De Primeros Auxilios

En la Figura 7. El 56,7% afirma que le ambiente laboral en los establecimientos es bueno, mientras que el 36,7% dice que lo considera regular y el 6.6% lo considera malo.

Como consideras que es el ambiente laboral:  
30 respuestas

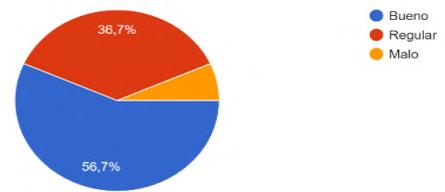


Figura 7. Ambiente Laboral.

El 56,7% asegura que la poca seguridad empleada en los locales causa estrés, el 20% dice no afectarle; mientras que el 13,3% le genera ansiedad y con mínimo porcentaje que afectan son: los accidentes, errores y problemas. Como se muestra en la Figura 8 a continuación.

¿Qué te podría afectar la poca seguridad en el trabajo del local?  
30 respuestas

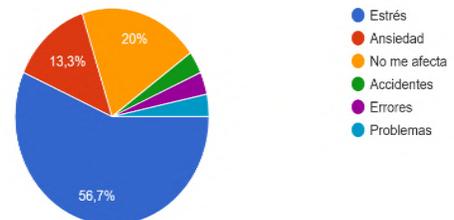


Figura 8. La Poca Seguridad En Locales.

El 63,3% de los encuestados asegura que no usar sustancias químicas dentro del trabajo, sin embargo, el 36,7% si utiliza sustancias químicas. Como se muestra en la Figura 9.

¿Manejas sustancias químicas en el trabajo?  
30 respuestas

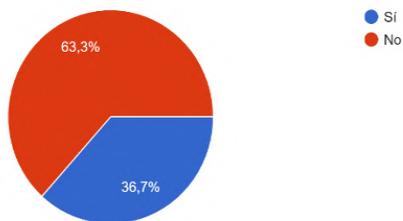


Figura 9. Sustancias Químicas

Como se muestra en la Figura 10 nos dice que el 60% de los resultados asegura no usar ninguna de las respuestas, mientras que el 26,7% usa el hipoclorito, sin embargo, el 13,3% emplea el amoniaco.

¿Qué sustancias suelen emplear?  
30 respuestas

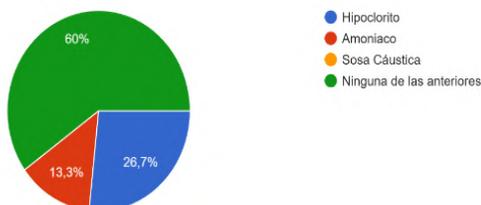


Figura 10. Sustancias A Emplear.

Una vez que se observaron los resultados se determinó que es de importancia elaborar un programa que priorice los hallazgos del diagnóstico y que incluya acciones de anticipación, reconocimiento, evaluación y control acorde con la normatividad vigente en la materia y consultando a expertos y a la misma autoridad cuando nuestro conocimiento no es suficiente. Tanto para el diagnóstico como para el programa, es necesario desarrollar un instrumento (formato) para organizarlos. También es importante contar con personal formado en el área o con experiencia en ella para optimizar los recursos. Recordar que es muy importante conducirse éticamente en esta actividad profesional.

#### IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

La importancia de implementar la seguridad e higiene en los mercados municipales de San Pedro, es contribuir a la disminución de enfermedades ocupacionales y accidentes de trabajo, y por ende mejorar la moral, motivación, desempeño, elementos que están relacionados con la salud y protección del trabajador.

Así permitiendo que se construya un plan para que se labore en un medio ambiente de trabajo adecuado y justo para las personas que laboran. De este modo, los trabajadores pueden desarrollar su actividad en un ambiente seguro, sin riesgos de accidentes y con las condiciones de higiene necesarias para que se desarrolle las actividades correspondientes. Haciendo uso mediante sus normativas específicas, se busca optimizar el trabajo del personal y a su vez reducir los riesgos en el ambiente laboral.

Para ello basándonos en la aplicación de los PNO, el cual constituye uno de los pilares para el buen funcionamiento del establecimiento. Efectuar los PNO para cada una de las actividades contribuye a ordenar y controlar la operación del establecimiento, prevenir y corregir irregularidades, dar seguimiento a los trabajos y confirmar que se cumplan los requisitos.

#### V. REFERENCIAS

- [1] Martínez, E. A. (1996). Seguridad e higiene en la industria y el comercio. Trillas.
- [2] La seguridad e higiene en el trabajo y su importancia dentro de la empresa | FUDE. (2018-09-06). La seguridad e higiene en el trabajo y su importancia dentro de la empresa. Recuperado 10 de marzo de 2022, de <https://www.educativo.net/articulos/la-seguridad-e-higiene-en-el-trabajo-y-su-importancia-dentro-de-la-empresa-372.html>
- [3] <https://www.ilo.org/dyn/natlex/docs/ELECTRONIC/88916/101839/F2042407391/GTM88916.pdf>
- [4] Cardillo, D. (01 de 01 de 2013). biblio. Obtenido de tesario: <http://biblio3.url.edu.gt/Tesario/2013/01/01/Cardillo-Diana.pdf>
- [5] Files. (06 de 06 de 2012). WordPress . Obtenido de WordPress : <https://higieneysseguridadlaboralcv.files.wordpress.com/2012/06/seguridad-e-higiene-comercio.pdf>
- [6] Redaly. (03 de 05 de 2020). Redaly. Obtenido de Redaly: <https://www.redalyc.org/pdf/1942/194252398012.pdf>
- [7] de Salud, S. (s/f). Normas Oficiales Mexicanas . gob.mx. Recuperado el 26 de junio de 2022, de <https://www.gob.mx/salud/es/documentos/normas-oficiales-mexicanas-9705>

#### VI. BIOGRAFÍA



**Muñoz Vázquez Yamileth Omecaly**, nació el día 03 de mayo de 2001, en San Pedro de las Colonias Coahuila, México. Egresada del Bachillerato Tecnológico, industrial y de servicios (CBTIS 127); de la especialidad de Administración de Recurso Humanos. Actualmente estudiante en el Instituto Tecnológico Superior de San Pedro de las Colonias, siendo estudiante de sexto semestre de la carrera de Gestión Empresarial, recientemente obtuvo el segundo lugar del CINGEM Primer coloquio de investigación e innovación en gestión empresarial.



**Vielma Castillo Rosa Elena.** Torreón Coahuila, 30 de agosto 1984. Licenciatura en Comunicación. Maestría en Procesos Educativos 2008. Universidad Iberoamericana. Doctorado en Investigación de Procesos Sociales 2016. Universidad Iberoamericana Torreón, Coahuila. México. Actualmente labora como maestra de tiempo completo en el Instituto Tecnológico Superior de San Pedro de las Colonias, en las

carreras de Ingeniería en Gestión Empresarial e Ingeniería Industrial. Cuenta con experiencia en atención y capacitación de grupos. Colaboradora en la línea de Investigación Educativa con resultados publicados en revistas por distintos congresos de relevancia nacional e internacional. Recientemente acaba de publicar el libro “Proyecto integrador: evaluación basada en competencias. Editorial Académica Española.



**Aguilar Favela Edna Carmen.** San Pedro de las Colonias Coahuila, 23 de septiembre de 1987. Licenciatura en Administración. Maestría en Administración y Alta Dirección Universidad Autónoma de Coahuila. Trabaja actualmente como docente en Ingeniería en Gestión Empresarial en el Instituto Tecnológico Superior de San Pedro de las Colonias. Asesora en concurso de Ciencias Económico Administrativas, así como colaboradora y responsable de acreditación de la

carrera.

# Integración de energía fotovoltaica a la red eléctrica mediante un inversor multinivel PHC monofásico en condiciones de asimetría

L. F. Díaz-Díaz<sup>1</sup>, J. Lara-Cardoso<sup>1</sup>, C. Hernandez-Flores<sup>1</sup>, M. A. Arjona-López<sup>1</sup>

**Resumen**—La contaminación ambiental debida a la utilización de combustibles fósiles para la producción de energía eléctrica ha fomentado el crecimiento exponencial de la energía solar fotovoltaica en los últimos años. Los inversores electrónicos de potencia convierten la señal de corriente continua de los paneles fotovoltaicos en corriente alterna para ser integrada a la red eléctrica. A diferencia de los inversores binivel, los multinivel operan a una menor frecuencia de conmutación, siendo así más eficientes. Una topología interesante de inversor monofásico de 5-niveles se obtiene conectando dos puentes H en cascada con un arreglo fotovoltaico en cada bus. Sin embargo, cuando el número de paneles difiere entre los arreglos y/o están bajo irradiancias solares desiguales, el control del voltaje en cada puente se pierde totalmente. Este artículo propone una técnica de modulación desplazada en fase que junto con el algoritmo de conductancia incremental soluciona este problema, y además permite extraer con precisión la máxima potencia sin requerir el clásico convertidor elevador, reduciendo así el costo y la complejidad global. Los resultados de simulación obtenidos en Matlab-Sim Power Systems demuestran el buen desempeño del método propuesto para integrar a la red una corriente senoidal de alta calidad incluso en condiciones de asimetría.

**Palabras claves**—energía fotovoltaica, inversor multinivel PHC, fuentes asimétricas, modulación desplazada en fase, red eléctrica monofásicas

**Abstract**—Environmental pollution due to the use of fossil fuels for the generation of electrical energy has fostered the exponential growth of photovoltaic solar energy in last years. Power electronic inverters convert the direct current signal from the photovoltaic panels into alternating current to be integrated to the grid. Unlike bi-level inverters, multilevel ones operate at a lower switching frequency, thus being more efficient. An interesting 5-level single-phase inverter topology is obtained by connecting two cascaded H-bridges with a photovoltaic array on each bus. Nevertheless, when the number of panels differs between the arrays and/or they are under unequal solar irradiances, the control of the voltage in each bridge is totally lost. This article proposes a phase-shifted modulation technique that along with the incremental conductance algorithm solves this problem, and further allows accurately extracting the maximum power without requiring the classic boost converter, thus reducing the cost and the overall complexity. The simulation results obtained in Matlab-SimPowerSystems demonstrate the good performance of the proposed method for integrating a high-quality sinusoidal current to the grid even under asymmetry conditions.

**Keywords**— *asymmetric sources, CHB multilevel inverter, phase-shifted modulation, photovoltaic energy, single-phase grid*

## I. INTRODUCCIÓN

Actualmente la energía fotovoltaica se posiciona como una alternativa factible y que siempre está en constante evolución tecnológica. Los dos elementos básicos de un sistema de generación de energía fotovoltaica son: 1) un conjunto de paneles solares interconectados entre sí formando un arreglo serie/paralelo que permite aumentar su capacidad total de voltaje y corriente, y 2) un inversor electrónico de potencia (IEP) que convierte la señal de voltaje de corriente directa (CD) proveniente de los paneles fotovoltaicos en una señal de corriente alterna (CA) para poder ser integrada a la red eléctrica [1]. Este inversor también lleva a cabo la función de regulación de la potencia transferida a la red. La identificación del ángulo o fase de la red requerida para la sincronización en esta transferencia de energía se obtiene utilizando un lazo enganchado en fase (PLL - *phase locked loop*) [2].

Los sistemas fotovoltaicos requieren de un algoritmo de seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT - *maximum power point tracking*) para extraer el máximo de la energía producida por los paneles fotovoltaicos a pesar de las variaciones de irradiancia solar y temperatura [3]. En la literatura se encuentra una amplia variedad de algoritmos MPPT, tales como: perturbación/observación (P&O), capacitancia parásita, conductancia incremental, entre muchos más [4]. Variando el voltaje del bus de CD del inversor es posible implementar simultáneamente el algoritmo MPPT, excluyendo así el convertidor elevador de CD y reduciendo el costo y complejidad del sistema total [5].

En comparación con los IEP binivel tradicionales, los IEP multinivel (MN) son capaces de proveer una señal de voltaje con una menor distorsión armónica y utilizando una frecuencia de switcheo mucho más baja, lo que conlleva a un menor volumen y costo del filtro pasivo de salida requerido, así como a una reducción considerable de las pérdidas de conmutación [6]. Por lo que, en sistemas fotovoltaicos de gran potencia, los IEP MN resultan muy atractivos pues representan menores pérdidas, así como una mayor eficiencia

<sup>1</sup> División de Estudios de Posgrado e Investigación, TNM Instituto Tecnológico de La Laguna, Blvd. Revolución y Av. Instituto Tecnológico de La Laguna, C.P. 27000, Torreón, Coahuila, México.

\* m.lfdiazf@correo.itlalaguna.edu.mx

y ahorro de energía. Además, los IEP MN presentan un menor estrés  $dV/dt$  en sus switches de potencia, una menor interferencia electromagnética, y en general permiten alcanzar un mejor desempeño del sistema donde están conectados [7].

La interconexión del inversor del sistema fotovoltaico con la red eléctrica, tradicionalmente utiliza un transformador de línea que trabaja a la frecuencia de la red, *i.e.*, 60Hz. Debido a esta baja frecuencia de operación, inevitablemente es voluminoso, pesado y costoso [8]. La utilización de IEP MN en combinación con configuraciones en cascada permite conectarlos directamente a los altos voltajes de la red eléctrica, eliminando la necesidad del transformador y logrando así un menor peso, un ahorro económico, una disminución de espacio y un aumento en la eficiencia del sistema [9]. Sin embargo, esta configuración denominada "*transformerless*" o sin transformador también elimina la seguridad provista por su aislamiento galvánico [10].

La topología de puentes H en cascada (PHC) también llamada CHB (*cascaded H-bridges*) tiene las ventajas de modularidad, así como alimentar cada puente H con una fuente independiente de voltaje lo que es conveniente en esta aplicación [11]. Además, se puede implementar un algoritmo MPPT para cada arreglo fotovoltaico, lo que permite alcanzar una mejor eficiencia que utilizando un solo MPPT central [12]. Sin embargo, la topología PHC tiene la desventaja del desbalance de voltaje entre sus buses de CD, el cual se presenta cuando los arreglos fotovoltaicos en cada bus son asimétricos o al recibir irradiancias solares diferentes. En la literatura se encuentran diferentes métodos de control y algoritmos para corregir este fenómeno [13].

En este trabajo se presenta un sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica a través de un inversor PHC de 5 niveles donde los arreglos fotovoltaicos en sus 2 puentes H son asimétricos. Además, se propone una técnica de control de balanceo de los buses de CD del convertidor, la cual se basa en comparar el voltaje del bus con el voltaje de referencia que provee el MPPT, y en base al error obtenido se modifica la estrategia PWM de desplazamiento en fase para lograr mantener el voltaje deseado.

El presente artículo se organiza de la siguiente manera. La sección II incluye el modelo de simulación, el cual incluye el arreglo fotovoltaico, el algoritmo MPPT, el inversor PHC de 5 niveles, el control de voltaje y la conexión a la red eléctrica, así como la modulación PWM y el control de balanceo. En la sección III se presentan los resultados de simulación obtenidos donde se muestra el correcto balanceo de voltaje en los buses de CD del inversor multinivel, además de las corrientes y potencias generadas. Para finalizar, en la sección IV se exponen las conclusiones.

## II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

El modelo de simulación diseñado en MATLAB/SIMULINK es un sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica de 240V mediante un inversor multinivel. La topología utilizada es de 2 puentes H conectados en cascada y en cada puente se conecta un arreglo fotovoltaico asimétrico. Para comprender el modelo, éste se divide en las siguientes 5 partes: el arreglo fotovoltaico, el algoritmo MPPT, el inversor PHC, el control y la conexión a la red, y por último la modulación PWM y el control de balanceo.

### A. Arreglo Fotovoltaico

El panel fotovoltaico (PV) utilizado en la simulación es el modelo Conergy PH 255P proporcionado por el bloque PV Array de Matlab-SimPowerSystems, el cual tiene bajo condiciones estándar las características eléctricas que se muestran en la Tabla I.

TABLA I. CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DEL PANEL FOTOVOLTAICO

MODELO PANEL CONERGY PH 255P			
$P_m$	Potencia máxima	255.56	W
$V_{oc}$	Voltaje de circuito abierto	38.4	V
$V_{mp}$	Voltaje en el punto de máxima potencia	30.68	
$I_{sc}$	Corriente de corto circuito	8.69	A
$I_{mp}$	Corriente en el punto de máxima potencia	8.33	

En el primer arreglo fotovoltaico se tienen dos ramas con siete paneles conectados en serie. Mientras que el segundo arreglo se compone de dos ramas con cinco paneles fotovoltaicos cada una. Las ecuaciones de la potencia (1), el voltaje (2) y la corriente (3) que proporcionan estos arreglos fotovoltaicos está dado por:

$$P_{arreglo} = N_{PV} * P_m \tag{1}$$

$$V_{arreglo} = N_{PVserie} * V_{mp} \tag{2}$$

$$I_{arreglo} = N_{PVparalelo} * I_{mp} \tag{3}$$

donde  $N_{PV}$  es el número total de paneles en el arreglo,  $N_{PVserie}$  es el número de paneles en serie y  $N_{PVparalelo}$  el número de ramas en paralelo.

En la Tabla II se muestran los valores de potencia, voltaje y corriente de cada uno de los arreglos fotovoltaicos utilizado en la simulación.

TABLA II. CARACTERÍSTICAS DE LOS ARREGLOS FOTOVOLTAICOS

	ARREGLO 1	ARREGLO 2	UNIDADES
# de paneles en serie	9	7	-
# de ramas en paralelo	2	2	
$P_m$	2300	1788.95	W
$V_{mp}$	276.12	214.76	V
$I_{mp}$	16.66	16.66	A

B. Algoritmo MPPT

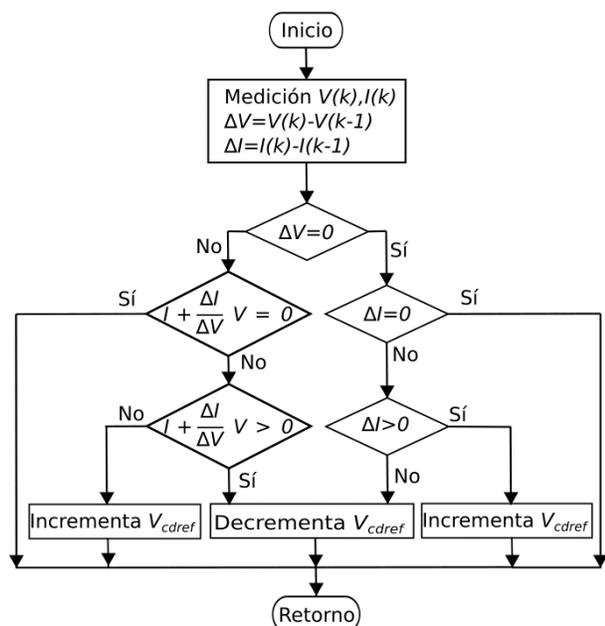


Figura 1. Diagrama de flujo del algoritmo de conductancia incremental.

El algoritmo seleccionado es de conductancia incremental, el cual se muestra en el diagrama de flujo de la Figura 1. Este método se basa en comparar la conductancia incremental con la conductancia instantánea de cada arreglo fotovoltaico a partir del voltaje  $V$  y la corriente  $I$ . Como resultado se obtiene una salida de voltaje de referencia  $V_{chref}$ .

Con base en la evaluación de (4), el método determina si se debe aumentar o disminuir el voltaje cuando se tiene un valor diferente de 0. El punto óptimo se alcanza cuando se cumple esta igualdad.

$$\frac{dI_{pv}}{dV_{pv}} = -\frac{I_{pv}}{V_{pv}} \quad (4)$$

donde  $I_{pv}$  y  $V_{pv}$  son la corriente y el voltaje del arreglo fotovoltaico, respectivamente.

En la Tabla III se resume el funcionamiento del algoritmo MPPT de conductancia incremental. Ahí se indican los 3 casos en los cuales se puede ubicar el punto de referencia sobre la curva de potencia versus voltaje.

TABLA III. POSICIÓN DEL PUNTO DE MÁXIMA POTENCIA EN EL ALGORITMO DE CONDUCTANCIA INCREMENTAL

CASO	POSICIÓN
$\frac{\Delta I}{\Delta V} = -\frac{I}{V}$	Se encuentra en el punto de máxima potencia.
$\frac{\Delta I}{\Delta V} > -\frac{I}{V}$	Se encuentra a la izquierda del punto de máxima potencia.
$\frac{\Delta I}{\Delta V} < -\frac{I}{V}$	Se encuentra a la derecha del punto de máxima potencia.

C. Inversor PHC de 5 Niveles

El modelo diseñado en Simulink se muestra en la Figura 2. Observe que la topología seleccionada es de 2 puentes H en cascada, cada uno con su capacitor el cual se requiere mantener constante en el bus de CD. El inversor multinivel es conectado a la red eléctrica a través de un inductor. Esta topología proporciona una señal sintetizada de 5 niveles de tensión a la salida del convertidor. Cada puente H tiene la capacidad de aportar 3 niveles de tensión:  $+V_{dc}$ , 0 y  $-V_{dc}$ . Al tener una conexión de 2 puentes H en cascada el número de niveles se suma para obtener un total de 5 niveles diferentes pues el nivel de voltaje 0 es repetido. Así, los 5 niveles que se obtienen a la salida del inversor PHC son:  $+2V_{dc}$ ,  $+V_{dc}$ , 0,  $-V_{dc}$  y  $-2V_{dc}$ .

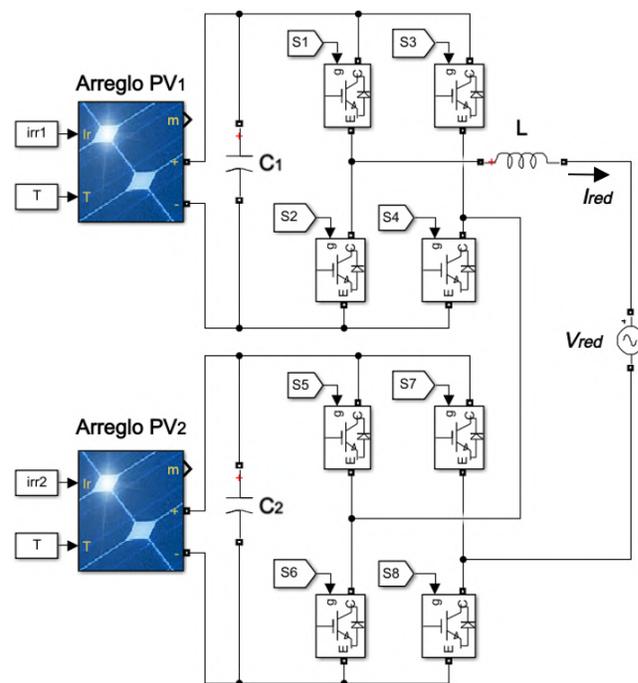


Figura 2. Topología del inversor PHC monofásico de 5 niveles.

Los valores de los componentes y parámetros del modelo simulado se muestran en la Tabla IV.

TABLA IV. PARÁMETROS DEL MODELO

COMPONENTE	VALOR	UNIDADES
Capacitores $C_1$ y $C_2$	4.7	mF
Inductor $L$	4	mH
Frecuencia de conmutación del inversor PHC	4	kHz
Frecuencia de cada portadora	1	
Voltaje de la red eléctrica	240	V
Frecuencia de la red eléctrica	60	Hz

D. Control de voltaje y conexión a la red eléctrica

La Figura 3 muestra el diagrama a bloques de la estrategia utilizada para controlar el voltaje total en el bus de CD, el cual incluye la sincronización con la red eléctrica. Para llevar a cabo este control se generan el par de voltajes de referencia  $V_{cdref1}$  y  $V_{cdref2}$  proporcionados por el MPPT, a los cuales se les suma un voltaje inicial para aproximarse rápidamente al valor total del voltaje  $V_{arreglo}$  de cada arreglo fotovoltaico. Posteriormente, se compara cada uno de ellos con su respectivo voltaje  $V_{cd1}$  y  $V_{cd2}$  medido en el capacitor de cada puente y filtrado a través de un filtro pasa bajas (FPB). Cada una de las señales resultantes de la comparación de voltajes se envía a un controlador proporcional integral (PI), y después se suman sus salidas. El bloque PLL permite obtener una señal de referencia a partir del voltaje de la red con el objetivo de sincronizar la integración de la energía. Observe que la señal proveniente de la suma de los voltajes de  $PI_1$  y  $PI_2$  se multiplica con la señal de corriente de referencia  $I_{ref}$  proveniente del PLL y la señal resultante es comparada con la corriente medida  $I_{red}$  de la red eléctrica. De este modo se obtiene la señal de referencia  $Sgnl\_ref$  que será utilizada como señal moduladora para así generar los pulsos PWM pues ya se ha considerado el algoritmo MPPT para cada arreglo fotovoltaico. Es importante hacer notar que el lazo interno controla la corriente de la red eléctrica, mientras que el lazo externo regula el voltaje.

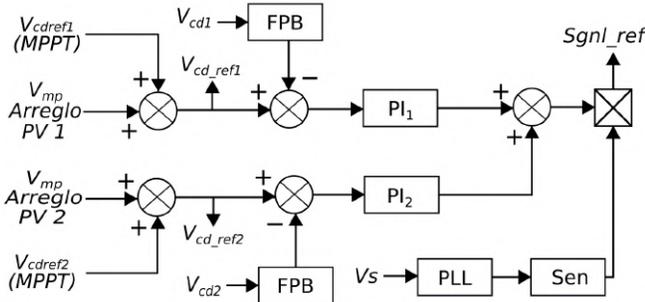


Figura 3. Diagrama de bloques de la estrategia de control de voltaje.

E. Modulación PWM y Control de Balanceo

Existen diferentes técnicas de modulación de ancho de pulso (PWM - pulse width modulation) para los inversores multinivel [14]. Dos de las más utilizadas son la de desplazamiento en fase (PS-PWM) y de desplazamiento en nivel (LS-PWM) [15]. Para corregir el desbalance en los buses de CD de la topología PHC se han propuesto diferentes técnicas basadas en realizar pequeñas modificaciones en la estrategia PWM del convertidor [16]. La PS-PWM consiste en generar un conjunto de señales triangulares como portadoras en base al número de niveles deseados menos uno.

En la Figura 4 se representa la modulación PS-PWM para obtener los pulsos de un inversor PHC de 5 niveles, la cual utiliza 4 portadoras con un defasamiento de  $90^\circ$  entre ellas

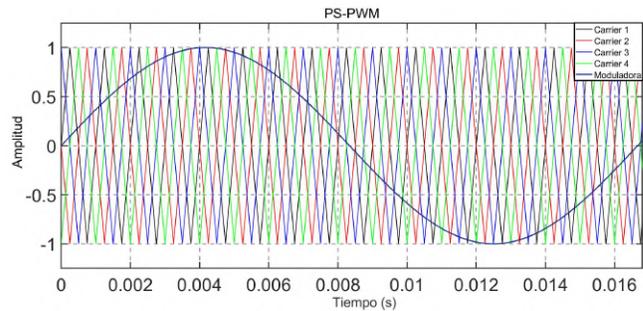


Figura 4. Modulación PS-PWM para un inversor PHC de 5 niveles.

Para corregir el desbalance en los buses de CD de los puentes H conectados en cascada se propone la estrategia mostrada en la Figura 5.

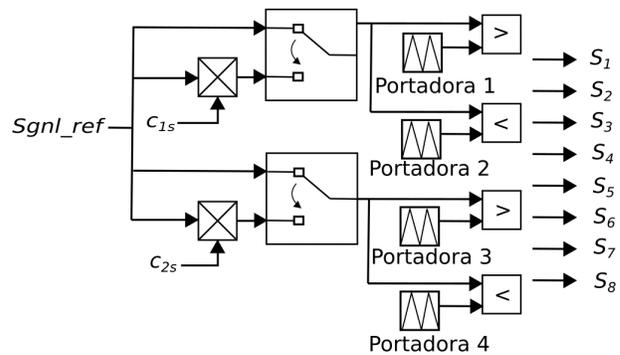


Figura 5. Selección de señal de referencia y modulación PWM.

[15], [16]. La señal de referencia pasa por un método de selección que determina según el desbalance en el convertidor si se debe considerar la señal de referencia original o debe ser modificada para lograr el balanceo de los voltajes. El interruptor de selección de la señal de referencia se acciona considerando como condición una comparación entre el voltaje del capacitor  $V_{cd,n}$  y el voltaje de referencia en cada puente  $V_{cd\_ref,n}$ .

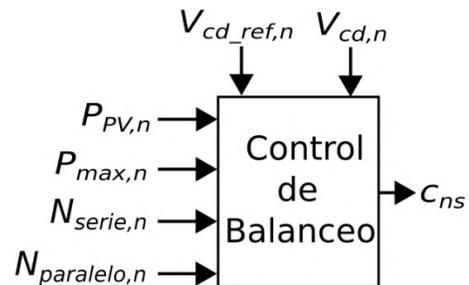


Figura 6. Control de balanceo.

Cuando se presenta el desbalance en el inversor, la señal de referencia original se mantendrá igual o se multiplicará con una variable  $C_{ns}$  generada por el control de balanceo mostrado en la Figura 6. Este control se realiza para cada bus

de CD. Para esto primero se obtiene una variable  $C_n$  a partir de la potencia  $P_{PV,n}$  generada por el arreglo fotovoltaico y de la potencia máxima  $P_{max,n}$  que puede obtenerse del arreglo, para así detectar los cambios de irradiancia a través de voltaje, corriente y potencia. Posteriormente se comparan los voltajes y se ingresan a un condicional "si (if)" que considera 3 casos. Finalmente, se multiplica por una variable  $K_n$  y a la salida se genera una nueva variable  $C_{ns}$ .

La Tabla V se muestran los condicionales y las acciones que rigen el algoritmo de control de balanceo.

TABLA V. CRITERIOS DE CONTROL DE BALANCEO

CONDICIÓN	ACCIÓN
$V_{cd_{ref},n} > V_{cd,n}$	$C_{ns} = C_n - C_n * K_n$
$V_{cd_{ref},n} = V_{cd,n}$	$C_{ns} = C_n$
$V_{cd_{ref},n} < V_{cd,n}$	$C_{ns} = C_n + C_n * K_n$

### III. RESULTADOS

Los resultados de simulación presentados en esta sección se han obtenido con el programa de MATLAB/SIMULINK.

La Figura 7 se muestra los voltajes de los buses de CD obtenidos en función de las diferentes variaciones de irradiancia en los dos arreglos fotovoltaicos.

La Tabla VI resume el comportamiento de estas variaciones de irradiancia para cada instante de tiempo.

TABLA VI. VARIACIONES DE IRRADIANCIA EN LOS ARREGLOS FOTOVOLTAICOS

INSTANTE [s]	TIPO	IRRADIANCIAS [W/m <sup>2</sup> ]	
		ARREGLO 1	ARREGLO 2
0.5 – 1.2	Constante	800	1000
1.2 – 2	Rampa lineal	800-1000	1000-900
2 – 3	Constante	1000	900
3 – 4	Constante/ Rampa lineal	1000	900-1000
4 – 4.5	Constante	1000	1000

En los voltajes de referencia y los voltajes de los buses es posible observar que el voltaje del capacitor 1 ( $V_{cd1}=277.5\pm 5.25$  V) sigue el voltaje de referencia 1 ( $V_{cd_{ref}1}=277.5$  V), mientras que el voltaje del capacitor 2 ( $V_{cd2}=216.5\pm 5$  V) también sigue apropiadamente al voltaje de referencia 2 ( $V_{cd_{ref}2}=216.5$  V). Por lo tanto, ambos voltajes se mantienen correctamente balanceados.

La Figura 8 muestra que el voltaje a la salida del inversor PHC efectivamente es de 5 niveles. Note que también se ha graficado el valor promedio contenido dentro de la señal multinivel.

En la Figura 9 se presentan la potencia de la red eléctrica, la potencia real producida por los arreglos fotovoltaicos y su potencia teórica generada.

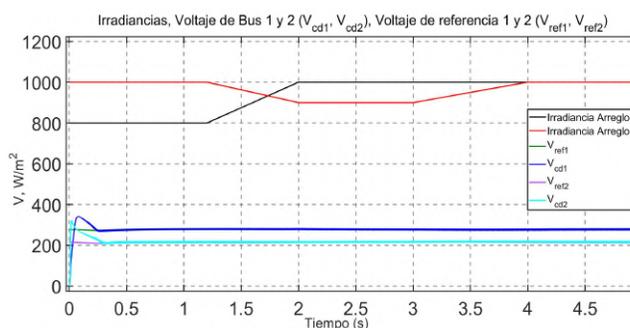


Figura 7. Irradiancias y voltajes en los buses de CD de cada puente H.

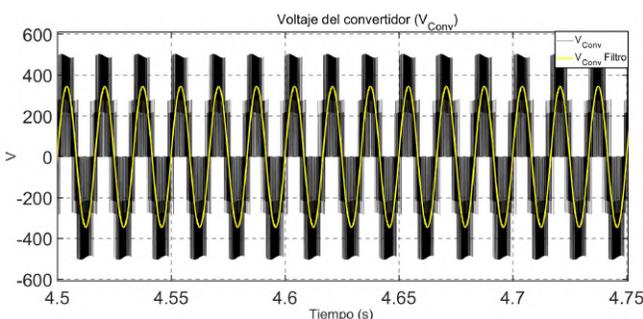


Figura 8. Voltaje del inversor PHC de 5 niveles.

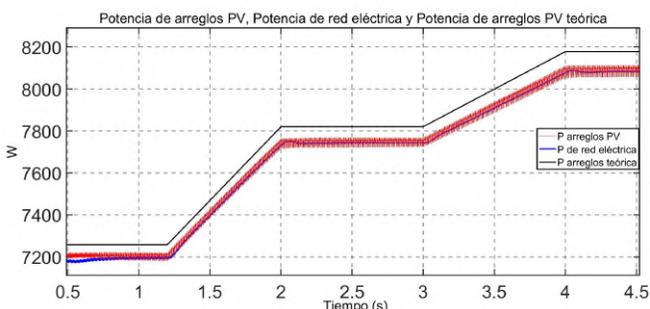


Figura 9. Potencias: a)  $P_{red}$  de la red eléctrica, b)  $P_{PV}$  real producida por los arreglos fotovoltaicos, c)  $P_{PV_{teo}}$  teórica generada.

La Tabla VII resume los resultados de las potencias obtenidas para ambos arreglos fotovoltaicos en instantes cuando la irradiancia es constante.

La Figura 10 muestra la señal de voltaje  $V_{red}=240$  V y las corrientes  $I_{red}=43$  A, 45.85 A y 47.9 A de la red eléctrica en base a los instantes de tiempo e irradiancias de la Tabla VI. Es posible apreciar que a pesar de la asimetría en los arreglos fotovoltaicos y de las irradiancias diferentes, las señales resultantes de voltaje y corriente son senoidales con una muy baja distorsión. Observe que estas señales están fuera de fase, lo que significa que la red eléctrica está recibiendo la energía generada por los arreglos fotovoltaicos.

En la Figura 11 se muestra el espectro armónico y la tasa de distorsión armónica (THD - *total harmonic distortion*) para la corriente integrada a la red. Es notable como aún bajo condiciones de asimetría, el algoritmo de balanceo propuesto permite obtener un THD de tan solo 1.43%.

TABLA VII. POTENCIAS DE AMBOS ARREGLOS FOTOVOLTAICOS EN INSTANTES DE IRRADIANCIA CONSTANTE

INSTANTE [s]	$P_{red}$ [W]	$P_{pv}$ [W]	$P_{pvteo}$ [W]
1 – 1.2	7195	7210	7258
2 – 3	7743	7745	7820.2
4 – 4.5	8084	8100	8178

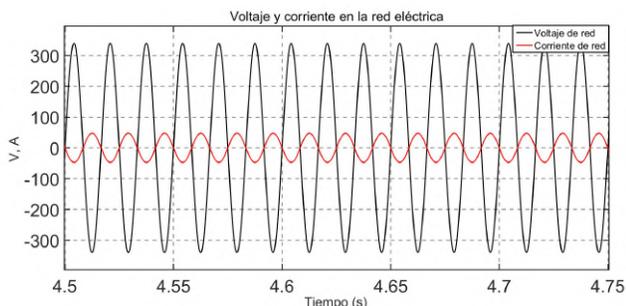


Figura 10. Voltaje y corriente de la red eléctrica.

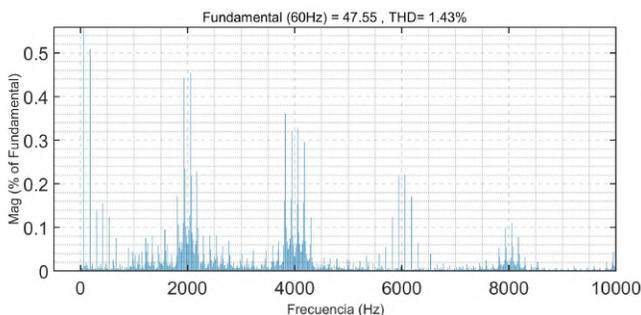


Figura 11. Espectro armónico y THD de la corriente de la red eléctrica.

#### IV. CONCLUSIONES

Este trabajo presentó la integración de energía fotovoltaica a la red eléctrica mediante un inversor PHC monofásico de 5 niveles funcionando en condiciones de asimetría. El fenómeno de desbalance en la distribución de potencia se corrigió satisfactoriamente aplicando la estrategia propuesta de control de balanceo basada en la modificación de la técnica de modulación PS-PWM de 5 niveles para cada puente H. En los resultados de simulación se observó que la potencia en la red, así como potencia real de los arreglos PV se aproximaron con alta precisión a su potencia teórica. El voltaje y la corriente de la red se lograron mantener con una buena calidad senoidal, obteniendo un THD para la corriente de tan solo 1.43%. La estrategia de balanceo propuesta tiene un gran potencial para integrar a la red la energía fotovoltaica de arreglos asimétricos mediante un solo inversor.

#### V. AGRADECIMIENTOS

L. F. Díaz Díaz agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico otorgado en el marco del "Programa de Becas Nacionales para Estudios de Posgrado" con número de solicitud 2020-000026-02NACF-17672.

Los autores también agradecen al TNM y al Instituto

Tecnológico de La Laguna por el apoyo económico recibido para el desarrollo del presente trabajo de investigación.

#### VI. REFERENCIAS

- [1] Xiao, W.; El Moursi, M. S.; Khan, O. y Infield, D. (2016) "Review of grid-tied converter topologies used in photovoltaic systems", *IET Renewable Power Generation*, vol. 10, no. 10, pp. 1543-1551, DOI: 10.1049/iet-rpg.2015.0521.
- [2] Golestan S.; Guerrero, J. M. y Vasquez J. C. (2017) "Three-Phase PLLs: A Review of Recent Advances", *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 32, no. 3, pp. 1894-1907, DOI: 10.1109/TPEL.2016.2565642.
- [3] Sahu, P.; Verma, D. y Nema, S. (2016) "Physical Design and Modelling of Boost Converter for Maximum Power Point Tracking in Solar PV systems", *International Conference on Electrical Power and Energy Systems (ICEPES)*, pp. 10-15, DOI: 10.1109/ICEPES.2016.7915898
- [4] Subudhi, B. y Pradhan, R. (2013) "A Comparative Study on Maximum Power Point Tracking Techniques for Photovoltaic Power Systems", *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. 4, no. 1, pp. 89-98, DOI: 10.1109/TSTE.2012.2202294.
- [5] Villanueva, E.; Correa, P.; Rodríguez, J. y Pacas M. (2009) "Control of a Single-Phase Cascaded H-Bridge Multilevel Inverter for Grid-Connected Photovoltaic Systems", *IEEE Trans. Ind. Elec.*, vol. 56, no. 11, pp. 4399-4406, DOI: 10.1109/TIE.2009.2029579
- [6] Vahedi H.; Sharifzadeh, M. y Al-Haddad, K. (2018) "Modified Seven-Level Pack U-Cell Inverter for Photovoltaic Applications", *IEEE J. Emerg. Sel. Top. Power Electron.*, vol. 6, no. 3, pp. 1508- 1516, DOI: 10.1109/JESTPE.2018.2821663.
- [7] Guo, X.; Yang, Y. y Zhu, T. (2018) "ESI: A Novel Three-Phase Inverter With Leakage Current Attenuation for Transformerless PV Systems", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 65, no. 4, pp. 2967-2974, DOI: 10.1109/TIE.2017.2757916.
- [8] Rahimi, R.; Farhangi, S.; Farhangi, B.; Moradi, G. R.; Afshari E. y Blaabjerg, F. (2018) "H8 Inverter to Reduce Leakage Current in Transformerless Three-Phase Grid-Connected Photovoltaic systems", *IEEE J. Emerg. Sel. Top. Power Electron.*, vol. 6, no. 2, pp. 910-918, DOI: 10.1109/JESTPE.2017.2743527.
- [9] Guo, X.; Cavalcanti, M. C.; Farias, A. M. y Guerrero, J. M. (2013) "Single-Carrier Modulation for Neutral-Point Clamped Inverters in Three-Phase Transformerless Photovoltaic Systems", *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 28, no. 6, pp. 2635-2637, DOI: 10.1109/TPEL.2012.2224138.
- [10] Patrao Herrero, I. (2015) "Concepción e Integración en Microrredes Residenciales de Inversores Multinivel Sin Transformador de Aislamiento con Extracción Simultánea de la Máxima Potencia de Múltiples Generadores Fotovoltaicos", *Tesis Doctoral*, Departamento de Ingeniería Electrónica, UPV, Valencia.
- [11] Marzoughi, A.; Burgos, R.; Boroyevich, D. y Xue, Y. (2015) "Design and Comparison of Cascaded H-bridge, Modular Multilevel Converter and 5-L Active Neutral Point Clamped Topologies for Drive Application", *IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, pp. 4033-4039, DOI: 10.1109/ECCE.2015.7310229.
- [12] Alonso, O.; Sanchis, P.; Gubia, E. y Marroyo, L. (2003) "Cascaded H-Bridge Multilevel Converter for Grid Connected Photovoltaic Generators with Independent Maximum Power Point Tracking of each Solar Array", *IEEE 34th Annual Conference on Power Electronics Specialist*, pp 731-735, DOI: 10.1109/PESC.2003.1218146.
- [13] Algarny, K. S.; Vilathgamuwa, M.; Broadmeadow, M. y Choi, W. (2020) "Independent Voltage Oriented DC-Side Sensorless Control of Three-Phase Cascaded H-bridge Multilevel Inverter With Decentralized MPPTs", *IEEE 29th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)*, pp. 740-743, DOI: 10.1109/ISIE45063.2020.9152267.
- [14] Freddy, T. K. S.; Rahim, N. A.; Hew W. y Che, H. S. (2015) "Modulation Techniques to Reduce Leakage Current in Three-Phase Transformerless H7 Photovoltaic Inverter", *IEEE Transactions on*

*Industrial Electronics*, vol. 62, no. 1, pp. 322-331, DOI: 10.1109/TIE.2014.2327585.

- [15] Shi, X.; Wang, Z.; Tolbert, L. M. y Wang, F. (2013) "A Comparison of Phase Disposition and Phase Shift PWM Strategies for Modular Multilevel Converters", *IEEE Energy Conversion Congress and Exposition, ECCE.*, pp. 4090-4096, DOI: 10.1109/ECCE.2013.6647244.
- [16] Chavarría, J.; Biel, D.; Guinjoan F.; Meza, C. y Negroni, J. J. (2013) "Energy-Balance Control of PV Cascaded Multilevel Grid-Connected Inverters Under Level-Shifted and Phase-Shifted PWMs", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 60, no. 1, pp. 98-111, DOI: 10.1109/TIE.2012.2186108.



**Arjona López, Marco Antonio Marco** recibió el grado de Ingeniería Eléctrica del Instituto Tecnológico de Durango, México en 1988, el grado de Maestría en Ciencias en Ingeniería Eléctrica en 1990 y el grado de Doctor en Filosofía en Ingeniería Eléctrica del Imperial College, Londres, Inglaterra en 1996. Laboró con el Departamento de Simulación del Instituto de Investigaciones Eléctricas desde 1991 hasta 1999. Actualmente es Profesor de Máquinas Eléctricas en el Instituto Tecnológico de la Laguna. Sus intereses son el diseño, análisis y control de máquinas eléctricas y energías renovables.

## VII. BIOGRAFÍA



**Díaz Díaz, Luis Fernando**, Nació el 21 de junio de 1998 en Torreón, Coahuila. Cursó la licenciatura en Ingeniería Electrónica en el Instituto Tecnológico de La Laguna, Torreón, Coahuila, México, en 2020.

El Ing. Luis Díaz actualmente está cursando la Maestría en Ciencias en Ingeniería Eléctrica dentro de la línea de investigación de Potencia y Energías Renovables en el Instituto Tecnológico de La Laguna en Torreón, Coahuila, México. Sus

intereses de investigación son la electrónica de potencia y la energía fotovoltaica.



**Lara Cardoso, Jorge** obtuvo el grado de Doctor en Ingeniería Eléctrica de la Université du Québec-École de Technologie Supérieure (ÉTS), Montreal, Canadá, en 2017. Actualmente es profesor investigador en la División de Estudios de Posgrado e Investigación del Instituto Tecnológico de la Laguna (ITL), Torreón, Coahuila, México.

El Dr. Lara es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) de México teniendo la distinción de Investigador Nacional Nivel I. También es revisor activo de las revistas *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, *IEEE Transactions on Power Electronics*, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, *IEEE Access* e *IET Electric Power Applications*.

Sus intereses de investigación incluyen electrónica de potencia, energías renovables eólica y fotovoltaica, calidad de la energía, filtrado activo, máquinas eléctricas y drives, vehículos eléctricos y control en tiempo real basado en DSP.



**Hernández Flores, Concepción** recibió el grado de Ingeniería Sistemas Computacionales del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Morelos en 1990, el grado de Maestría en Ciencias en Fundamentos de Tecnología de la Información Avanzada en el Imperial College, de Londres, Inglaterra en 1995, y el grado de Doctor en Ciencias en Ingeniería Eléctrica del Instituto Tecnológico de la Laguna en Torreón, México, en 2007. Laboró con el

Departamento de Simulación del Instituto de Investigaciones Eléctricas desde 1991 hasta el 2000. Actualmente labora en el Instituto Tecnológico de la Laguna, en Torreón, México. Sus áreas de interés son inteligencia artificial, optimización, máquinas eléctricas y energías renovables.

# Medición del grado de utilidad de la implementación de redes de datos comunitarias en zonas rurales del municipio de San Pedro, Coahuila

Y. S. Ochoa-Corona<sup>1</sup>, I. Ruiz-Arroyo<sup>1</sup>, U. Martínez-Rodríguez<sup>1</sup>, O. F. Ramos-Ochoa<sup>1</sup>

**Resumen**— El presente artículo muestra la medición del grado de utilidad de la implementación y operación de redes de datos comunitarias en dos zonas rurales del municipio de San Pedro de las Colonias Coahuila: Ignacio Zaragoza y San Marcos; esto, mediante un análisis estadístico, usando la encuesta como fuente primaria de datos. El objetivo principal de este trabajo es obtener información que permita conocer el nivel de satisfacción de los usuarios y la efectividad del sistema de comunicación libre y comunitario implementado en el año 2019, cuyo objetivo principal es proveer de servicios de comunicación a comunidades en las cuales tanto al sector privado como al público se le ha dificultado ofertarlos y con ello lograr el empoderamiento de las mismas desde una perspectiva geográfica, social, educativa y tecnológica. Como resultado se verifica la efectividad del proyecto e impacto del mismo, mediante la validación del instrumento de medición, la realización de pruebas no paramétricas y el estudio cualitativo descriptivo; así como también se localizan áreas de oportunidad que permiten consolidar el proyecto en sus etapas subsiguientes.

**Palabras claves**—efectividad, medición, redes comunitarias, validar.

**Abstract**— This article shows the measurement of the degree of usefulness of the implementation and operation of community data networks in two rural areas of the municipality of San Pedro de las Colonias Coahuila: Ignacio Zaragoza and San Marcos; this, through an analysis statistical, using the survey as the primary source of data. The main objective of this job is to obtain information that allows us to know the level of user satisfaction and the effectiveness of the free and community communication system implemented in the year 2019, whose main objective is to provide communication services to communities in which both the private and public sectors have found it difficult to offer and with it achieve their empowerment from a geographical and social perspective, educational and technological. As a result, it is to validate the effectiveness of the project impact of the same, through the validation of the measuring instrument, the realization of non-parametric tests and descriptive qualitative study; as well as locating areas of opportunity that allow the project to be consolidated in its subsequent stages.

**Keywords**—effectiveness, measurement, community networks, validate.

## I. INTRODUCCIÓN

Las redes comunitarias en la actualidad representan un apoyo en la búsqueda de la disminución de la brecha digital en todo el mundo, países como Brasil, Estados Unidos, México, entre otros se han sumado a estos esfuerzos por coadyuvar entre la sociedad, iniciativa privada y entes gubernamentales a potencializar este tipo de redes; la Internet Society (2018) describe las redes comunitarias como: “La infraestructura de telecomunicaciones implementada y operada por un grupo local con el fin de satisfacer sus propias necesidades de comunicación. Son el producto de personas que trabajan mancomunadamente, combinan sus recursos, organizan sus esfuerzos y se juntan para achicar la brecha de conectividad y cultural” [1].

En San Pedro de las Colonias, Coahuila en el año 2019, el proyecto denominado “Implementación de redes de datos comunitarias en zonas rurales del municipio de San Pedro de las Colonias, Coahuila”, financiado por el Fondo Destinado a Promover el Desarrollo de la Ciencia y Tecnología en el estado de Coahuila (FONCYT) ha buscado en sus diferentes fases, mediante la investigación, desarrollo tecnológico e innovación propiciar condiciones de empoderamiento social en comunidades marginadas geográfica y tecnológicamente en la zona norte de la región laguna del estado de Coahuila, específicamente en dos zonas rurales del Municipio de San Pedro de las Colonias: Ignacio Zaragoza y San Marcos.

La presente investigación realiza la medición del grado de utilidad de la implementación y operación de la red de datos comunitaria descrita anteriormente, con la finalidad de conocer y analizar el grado de satisfacción de los usuarios finales a lo largo de las dos fases llevadas a cabo hasta el momento, así como también localizar áreas de oportunidad que permitan consolidar el proyecto en sus etapas venideras.

<sup>1</sup> 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. \*yisvi.ochoa@tecsanpedro.edu.mx

Para llevarlo a cabo, se realiza un estudio cualitativo descriptivo con fuente primaria de datos.

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

En la figura 1, se muestra la metodología llevada a cabo para la realización de esta investigación, la cual consiste en llevar a cabo un estudio cualitativo descriptivo, en primer lugar, seleccionando la muestra con base en los criterios y ámbitos de estudio; en segundo lugar, recolectando los datos mediante la aplicación de una encuesta previamente diseñada; en tercer lugar se procesan y analizan los datos recabados, para por último presentar los resultados y conclusiones de la presente investigación.

A. Diagrama

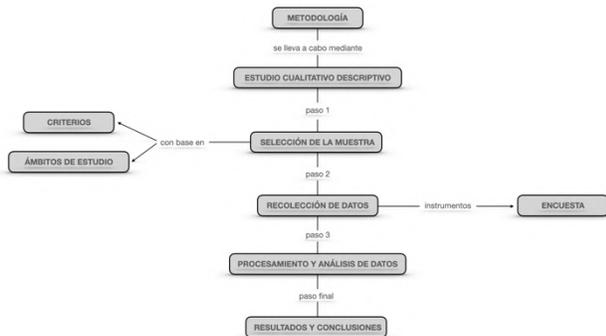


Figura 1. Diagrama metodológico

B. Diseño

Estudio cualitativo descriptivo con fuente primaria de datos, el cual consiste en la aplicación de una encuesta a la muestra seleccionada para el análisis de la información recabada posteriormente. El estudio cualitativo descriptivo permite analizar la información de forma numérica y gráfica para cada una de las preguntas, así como también la aplicación de la estadística inferencial mediante la prueba de hipótesis.

C. Población y muestra

La población de estudio está segmentada en dos grupos de usuarios: docentes y padres/madres de familia, la cual en su totalidad es de 100 usuarios aproximadamente.

El tamaño de la muestra se ha definido de acuerdo al tamaño de la población con la fórmula para población finita (1):

$$n = \frac{NZ^2pq}{e^2(N-1)+Z^2pq} \tag{1}$$

Usando un nivel de confianza del 90%, un error de muestreo del 10% y sustituyendo los datos en (1), el tamaño de la muestra resulta de 57, tal como se muestra en (2):

$$n = \frac{(100)(1.64)^2(0.5)(0.95)}{(0.1)^2(100-1)+(1.64)^2(0.5)(0.95)} = 57 \tag{2}$$

D. Criterios de selección de la muestra

En la tabla I se muestran los criterios que fueron tomados en la selección de la muestra:

TABLA I. CRITERIOS PARA SELECCIONAR LA MUESTRA

Grupo	Características
Docentes	Personal que labora en las instituciones donde se encuentran ubicados los nodos de la red.
Padres/madres de familia	Jefes de familia cuyos hijos utilizan la red comunitaria de datos.

E. Ámbitos de estudio

Para el grupo 1, se abordó a los docentes de las dos zonas rurales en sus áreas de trabajo, previo a una explicación verbal sobre el tema de investigación y una invitación a participar en la misma.

Para el grupo 2, se realizó un muestreo aleatorio simple en las dos zonas rurales, brindando una explicación verbal sobre el tema de investigación y una invitación a participar en la misma a las personas seleccionadas en el muestreo.

F. Instrumento de recolección de datos

Se utilizó la encuesta como instrumento para la recolección de datos de ambos grupos, teniendo la misma 9 preguntas con respuestas categóricas y una pregunta abierta. Con una duración de aproximadamente de cinco minutos para ser contestada.

G. Análisis de datos

Para el análisis de datos se llevaron a cabo diferentes pruebas estadísticas que se enlistan a continuación:

1. Validación del instrumento de medición (encuesta) mediante alfa de Cronbach.
2. Estudio descriptivo.
3. Prueba de hipótesis mediante prueba no paramétrica (bondad de ajuste) utilizando el estadístico de prueba Chi-cuadrada.

El procesamiento y análisis de los datos anteriormente descritos se realizaron con Software Minitab 18.

III. RESULTADOS

A. Validación del instrumento de medición (encuesta) mediante alfa de Cronbach.

Para la validación de la encuesta, se hizo a través del alfa de Cronbach, obteniendo los resultados que se muestran en la figura 2, en la cual se observa que todos los elementos están altamente correlacionados entre sí, por los valores altos y positivos.

El alfa de Cronbach general es de 0.9587, que es mayor que el valor de referencia común de 0.7. Por lo tanto se concluye que las preguntas de la encuesta están midiendo la misma característica, es decir, el grado de satisfacción de los usuarios.

Matriz de correlación

	PREG 7	PREG 8	PREG 9
PREG 8	0.943		
PREG 9	0.875	0.890	
PREG 10	0.775	0.782	0.893

Contenido de la celda  
Correlación de Pearson

Estadísticas totales y de elementos

Variable	Conteo		
	total	Media	Desv.Est.
PREG 7	57	4.053	1.216
PREG 8	57	3.965	1.309
PREG 9	57	3.737	1.188
PREG 10	57	3.456	1.377
Total	57	15.211	4.810

Alfa de Cronbach

Alfa
0.9587

Figura 2. Matriz de correlación entre las preguntas y alfa de Cronbach.

B. Estudio descriptivo.

Se realizó un estudio estadístico descriptivo de las primeras cinco preguntas que contiene la encuesta, realizada por 49 padres de familia y 8 docentes. Las respuestas se muestran a continuación:

Pregunta 1. ¿Utiliza el servicio de internet que le proporciona la red de datos comunitaria?



Figura 3. Respuestas a la pregunta 1.

En la figura 3 se muestran las respuestas a la pregunta 1 de la encuesta, donde se observa que 43 de los 57 encuestados si utilizan el servicio de internet proporcionado por la red de datos comunitaria, es decir el 75% y solamente 14 no la usan (25%).

Pregunta 2. ¿Cuántos días a la semana utiliza el internet de la red de datos comunitaria?



Figura 4. Respuestas a la pregunta 2.

En la figura 4 se observa que 25 personas utilizan el internet de la red de datos comunitaria de 6 a 5 días, es decir, el 58%; 12 personas la utilizan de 4 a 3 días, es decir el 28%; 4 personas de 2 a 1 día, es decir el 9% y 2 persona los 7 días de la semana, es decir el 5%.

Pregunta 3. En promedio, ¿Cuánto tiempo utiliza al día el internet proporcionado por la red de datos comunitaria?

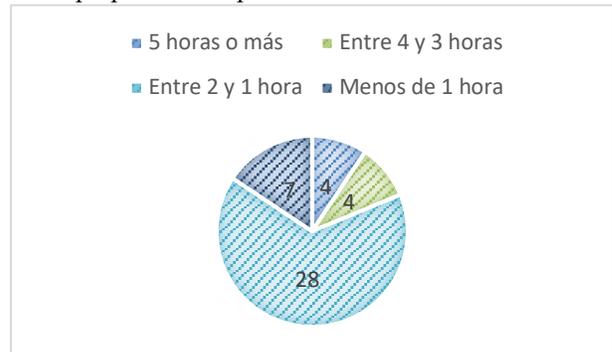


Figura 5. Respuestas a la pregunta 3.

En la figura 5, se observa que 28 encuestados en promedio utilizan al día entre 2 y 1 hora el internet de la red comunitaria, es decir un 66%; 7 personas utilizan en promedio al día menos de 1 hora, es decir el 16%; 4 personas lo utilizan entre 4 y 3 horas, es decir, un 9% y otras 4 personas lo utilizan 5 horas o más, es decir, un 9%.

Pregunta 4. ¿En qué momento del día utiliza más el internet proporcionado por la red comunitaria?



Figura 6. Respuestas a la pregunta 4.

En la figura 6, 25 de los usuarios utilizan el internet de la red de datos comunitaria por la mañana, es decir, un 58%; 18 por la tarde, es decir un 42% y ninguno por la noche, es decir un 0%.

Pregunta 5. ¿Para qué utiliza más el internet proporcionado por la red comunitaria?

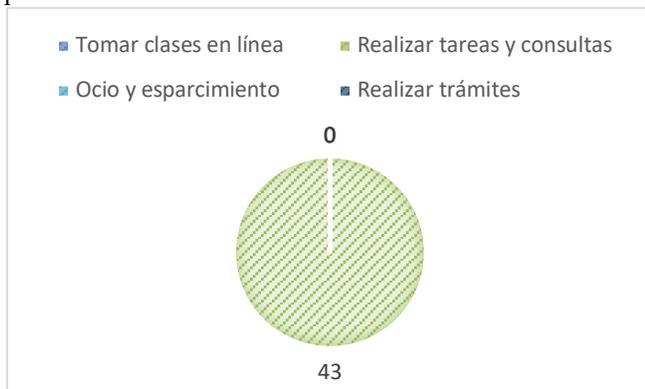


Figura 7. Respuestas a la pregunta 5.

En la figura 7, se observa que el 100% de los usuarios utilizan el internet proporcionado por la red comunitaria para realizar tareas y consultas.

Realizando un resumen de las respuestas a las primeras cinco preguntas de la encuesta, se concluye que más del 75% de los usuarios utilizan el internet de la red comunitaria de datos. El 58% utilizan la red de 6 a 5 días, el 66% lo usan en promedio de 2 a 1 hora diariamente y el 59% lo hacen por la mañana.

C. Prueba de hipótesis mediante prueba no paramétrica (bondad de ajuste) utilizando el estadístico de prueba Chi-cuadrada.

Se realizó una prueba de hipótesis con la sumatoria de las frecuencias observadas en las respuestas de las preguntas 7, 8, 9 y 10, las cuales están enfocadas en conocer el grado de satisfacción de los usuarios de la red comunitaria de datos;

las respuestas se clasificaron en tres categorías, como se muestra en la tabla II:

TABLA II. CLASIFICACIÓN DE LAS RESPUESTAS EN CATEGORÍAS

Respuestas	Categoría
Totalmente de acuerdo	si
De acuerdo	
indeciso	indeciso
En desacuerdo	no
Totalmente en desacuerdo	

Dichas frecuencias observadas se contrastaron con las frecuencias que se espera tener en cada categoría, las cuales se distribuyen de manera equitativa debido a que no existe un estudio previo que permita establecer valores puntuales, tomando en cuenta el alfa de Cronbach de 0.9587 y un nivel de significancia de 0.1. La tabla III, muestra las frecuencias observadas y las frecuencias esperadas.

TABLA III. FRECUENCIAS OBSERVADAS Y ESPERADAS

Frecuencias	Categorías			Total
	si	indeciso	no	
Fe	19	19	19	57
Fo	41.4	6.1	9.5	57

Se utilizó la prueba de bondad de ajuste Chi-cuadrada para contrastar las siguientes hipótesis:

H0: La red de datos comunitaria no es de utilidad para los usuarios finales de las dos zonas rurales de San Pedro de las Colonias donde fue implementada.

H1: La red de datos comunitaria es de utilidad para los usuarios finales de las dos zonas rurales de San Pedro de las Colonias donde fue implementada.

Los resultados al correr la prueba se muestran en la Figura 8.

### Conteos observados y esperados

Categoría	Observado	Proporción de prueba	Esperado	Contribución a chi-cuadrada
1	41.4	0.333333	19	26.4084
2	6.1	0.333333	19	8.7584
3	9.5	0.333333	19	4.7500

### Prueba de chi-cuadrada

N	GL	Chi-cuad.	Valor p
57	2	39.9168	0.000

Figura 8. Prueba Chi-cuadrada.

Se observa que el estadístico de chi-cuadrada general es 39.9168 y un valor p de 0.000. Puesto que el valor p es menor que el nivel de significancia de 0.1, se rechaza la hipótesis nula, es decir, se tienen pruebas estadísticas de que la red de datos comunitaria es de utilidad para los usuarios finales de

loas dos zonas rurales de San Pedro de las Colonias donde fue implementada.

IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

La implementación de una red comunitaria de datos brinda la oportunidad de ofrecer un servicio de internet a la comunidad que presente características específicas, como por ejemplo: lugares en los que el acceso a la información a través de internet se encuentra limitado por los altos costos que ofertan los pocos proveedores de internet en la zona; desde esta perspectiva puede decirse que las redes comunitarias son redes construidas y gestionadas de manera colectiva y es vista siempre como un recurso común [2].

Uno de los muchos objetivos de una red comunitaria de datos es lograr disminuir esta brecha digital que en la actualidad muchos países, entre ellos México, aún poseen. Particularmente, la implementación y operación de la red comunitaria de datos en Ignacio Zaragoza y San Marcos, en San Pedro de las Colonias desde el 2019, ha buscado contribuir a este objetivo.

Es inherente que, al paso del tiempo se haga una recogida de datos con la finalidad de medir y evaluar el grado de utilidad que está teniendo el proyecto para los usuarios del mismo y poder focalizar áreas de mejora que permitan consolidar el proyecto en sus siguientes etapas. Como se pudo observar en los diferentes elementos de la encuesta, en el estudio descriptivo, más del 75% de los beneficiados utilizan la red comunitaria y más del 50% lo utilizan entre 6 y 5 días por la mañana; es importante mencionar que el 100% de los usuarios utilizan la red de datos comunitaria para la realización de tareas y consultas, por lo tanto, el proyecto también vino a coadyuvar en el logro de los objetivos que como instituciones educativas tenían las escuelas primarias para poder enfrentar las adversidades que la pandemia por Covid-19 sucitó, específicamente, las clases a distancia.

En el estudio no paramétrico, la prueba de hipótesis corrobora dicha información, ya que se concluye que la red comunitaria de datos es de utilidad para los usuarios. Aunado a esto, algunas de las impresiones que los usuarios puntualizaron en la pregunta abierta que contiene la encuesta, la cual textualmente puntualiza: “Escriba las áreas de oportunidad que puedan ayudar a mejorar el servicio de internet de la red comunitaria”, es que consideran importante que la red comunitaria sea abierta a más usuarios, no solo niños y docentes de las escuelas primarias que existen en las comunidades, sino al público en general.

El proyecto denominado “Implementación de redes de datos comunitarias en zonas rurales del municipio de San

Pedro de las Colonias, Coahuila” inicialmente está orientado a una pequeña escala, sin embargo la idea primordial es que conforme se vaya logrando el éxito en la operatividad de los nodos iniciales, éstos a su vez se conecten a otros nodos y de esta manera ir beneficiando a más usuarios y por ende a más comunidades.

V. AGRADECIMIENTOS

Se hace extensivo el agradecimiento a los usuarios finales de la red comunitaria de datos en las zonas rurales de San Marcos e Ignacio Zaragoza en San Pedro, Coahuila; quienes respondieron el instrumento de medición, así como también a las autoridades escolares por las facilidades otorgadas para llevar a cabo la presente investigación.

VI. APÉNDICES

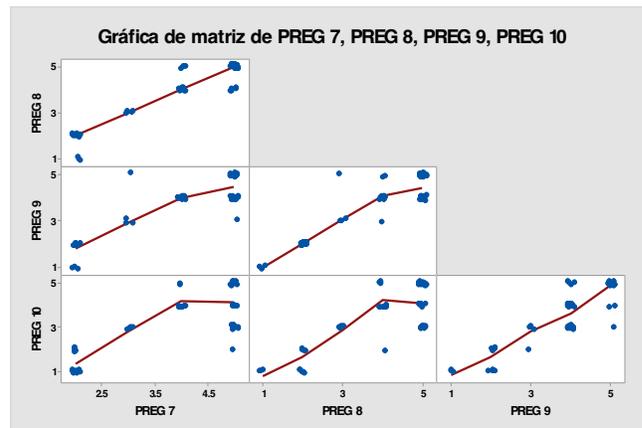


Figura 9. Relación lineal positiva de los elementos de la encuesta.

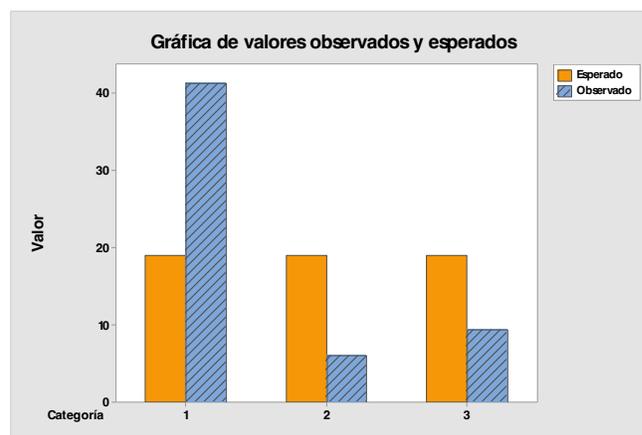


Figura 10. Gráfica de barras de valores observados y esperados.

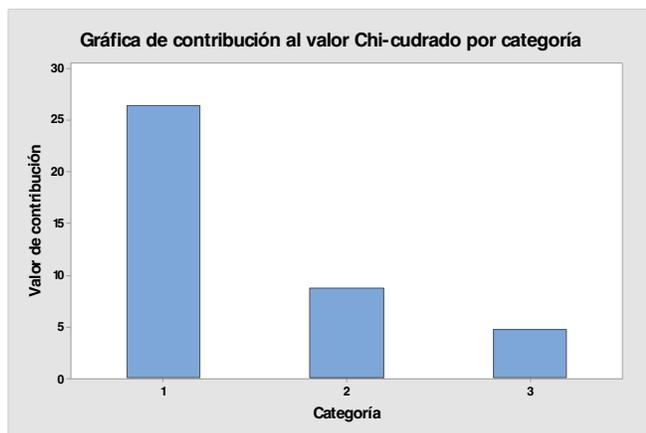


Figura 11. Gráfica de contribución al valor de Chi-cuadrada por categoría.

## VII. REFERENCIAS

- [1] Internet Society, Informe de políticas: Enfoques sobre el espectro para las redes comunitarias (10 de octubre de 2019), [https://cdn.prod.internetsociety.org/wpcontent/uploads/2017/10/Spectrum-Approaches-for-Community-Networks\\_20171010.pdf](https://cdn.prod.internetsociety.org/wpcontent/uploads/2017/10/Spectrum-Approaches-for-Community-Networks_20171010.pdf)
- [2] Daniela Parra Hinojosa, Carlos F. Beca-Feldam. (2019). Propuestas metodológicas para diseñar e implementar proyectos de comunicación comunitaria. 19/08/2020, de Redes por la Diversidad, Equidad y sustentabilidad A.C. Sitio web: [https://ed8169c2-0818-439d-b473-11f6b06914e9.filesusr.com/ugd/68af39\\_b1c684dd49504a\\_a2a8bba2461f1c2657.pdf](https://ed8169c2-0818-439d-b473-11f6b06914e9.filesusr.com/ugd/68af39_b1c684dd49504a_a2a8bba2461f1c2657.pdf)

## VIII. BIOGRAFÍA



**Ochoa Corona Yisvi Saray.** Torreón, Coahuila; 04 de Septiembre de 1983. Profesor Asociado A. Tecnológico Nacional de México Campus ITS San Pedro de las Colonias. Ingeniería Química, Instituto Tecnológico de la Laguna, Torreón Coahuila, México, 2004. Maestría en Administración de Negocios. Área Calidad y Productividad. Universidad TecMilenio, Monterrey, Nuevo León. México, 2016.

Ella actualmente labora como Docente Investigadora en Tecnológico Nacional de México Campus ITS San Pedro de las Colonias; en 2004 se desempeñó como analista de laboratorio en el CINVESTAV del I.P.N. Unidad Querétaro, Qro. Las líneas de investigación de su interés son:

- Gestión de la calidad
- Educación

M.A.N. Ochoa posee la certificación Green Belt otorgada por Sigma Pro México.



**Ruiz Arroyo Idalia.** Torreón, Coahuila; 06 de Marzo de 1980. Profesor Asociado C. Tecnológico Nacional de México Campus ITS San Pedro de las Colonias. Ingeniería en Sistemas Computacionales, Instituto Tecnológico de la Laguna, Torreón Coahuila, México, 2003. Maestría en Educación, UNID, Gomez Palacio, Durango, 2012.

Ella actualmente labora como Docente Investigadora en Tecnológico Nacional de México Campus ITS San Pedro de las Colonias; en 2007 se desempeñó como Analista de Calidad en Sitel de México y en el año 2004

trabajó como Documentadora en INDAP: Ingeniería Digital Aplicada. Las líneas de investigación de su interés son:

- Tecnologías emergentes de la información y comunicación
- Sistemas, bases de datos y plataformas computacionales

M.E. Ruiz actualmente 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.



**Martínez Rodríguez Ulises.** Torreón, Coahuila; 30 de Agosto de 1988. Profesor Asociado A. Tecnológico Nacional de México Campus ITS San Pedro de las Colonias. Licenciatura en Informática, Instituto Tecnológico de Torreón, Coahuila, México, 2011. Maestría en Tecnologías de la Información y Comunicación, UNID, Gómez Palacio, Durango, 2015.

El actualmente labora como Docente Investigador en Tecnológico Nacional de México Campus ITS San Pedro de las Colonias; en 2011 se desempeñó como programador en Bucomsa S.A. de C.V. Las líneas de investigación de su interés son:

- Tecnologías emergentes de la información y comunicación
- Sistemas, bases de datos y plataformas computacionales

M.T.I. Martínez actualmente 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.



**Ramos Ochoa Oscar Fabián.** Torreón, Coahuila; 03 de Septiembre de 1982. Profesor Asignatura A. Tecnológico Nacional de México Campus ITS San Pedro de las Colonias. Ingeniería en Electrónica, Instituto Tecnológico de la Laguna, Torreón Coahuila, México, 2003.

El actualmente labora como Docente en Tecnológico Nacional de México Campus ITS San Pedro de las Colonias; en 2005 se desempeñó como técnico down loading en ADT Security Services y en 2007 se desempeñó como auxiliar de ingeniería en la industria de la radio.

Las líneas de investigación de su interés son:

- Educación
- Tecnologías emergentes de la información y comunicación

Ing. Ochoa actualmente posee la certificación ECO217.01

# Desarrollo y construcción de un robot manipulador Pick and Place de 6 grados de libertad basado en el microcontrolador PSoC con fines educativos

N. Alvarado-Tovar<sup>1</sup>, L. A. González-Vargas<sup>2</sup>, J. G. Proo-Pérez<sup>3</sup>, C. E. Tarango-Hernández<sup>4</sup>, A. Serrano-Hernández<sup>5</sup>

**Resumen**—En este proyecto, se desarrolló un prototipo de robot manipulador de 6 grados de libertad, mediante el cual se llevan a cabo tareas de pick and place con fines educativos. El desarrollo incluye desde la selección de materiales y componentes, diseño e impresión 3D de componentes mecánicos, montaje e instalación de la estructura mecánica y componentes de control y potencia para cada eje, así como la programación del microcontrolador para el sistema de control.

El desarrollo de la etapa de potencia para los actuadores eléctricos y del sistema de procesamiento principal está basado en actuadores eléctricos, empleando el motor a pasos Nema 17 bipolar, con el driver de potencia TB6600. El control se realiza con microcontrolador PSoC PY8CKIT-050. La programación del microcontrolador se hizo con el software PSoC Creator basado en lenguaje C. Se desarrolló una interfaz de usuario en Matlab para calcular la cinemática directa a partir de los grados de las articulaciones dados por sliders y llevar a dicha posición el brazo robótico. Para la comunicación entre Matlab y PSoC se utilizó el módulo UART "CP 2102".

Este trabajo representa el esfuerzo y dedicación de personas que quieren que en nuestro país se desarrolle una cultura en desarrollo tecnológico que nos permita desarrollar nuestras propias invenciones sin depender de tecnología importada que la mayoría de las veces es cara y con un costo de mantenimiento muy alto.

**Palabras claves**— *driver de potencia, Nema, microcontrolador PsoC, robot manipulador.*

**Abstract**— In this project, a manipulator robot prototype with 6 degrees of freedom was developed, through which pick and place tasks are carried out for educational purposes. The development includes from the selection of materials and components, design and 3D printing of mechanical components, assembly and installation of the mechanical structure and control and power components for each axis, as well as the programming of the microcontroller for the control system.

The development of the power stage for the electric actuators and the main processing system is based on electric actuators, using the Nema 17 bipolar stepper motor, with the TB6600 power driver. The control is done with the PSoC PY8CKIT-050 microcontroller. The programming of the microcontroller was done with the PSoC Creator software based on C language. A

user interface was developed in MatLab to calculate the direct kinematics from the degrees of the joints given by sliders and bring the robotic arm to said position. For the communication between MatLab and PSoC, the UART module "CP 2102" was used.

This work represents the effort and dedication of people who want our country to develop a culture of technological development that allows us to develop our own inventions without relying on imported technology, which most of the time is expensive and has a very high maintenance cost.

**Keywords**— *Nema, power controller, PSoC microcontroller, robot manipulator.*

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad los robots manipuladores son ampliamente usados en diferentes ámbitos, como el industrial donde llevan a cabo tareas de precisión repetitivas y/o peligrosas, mejorando la eficiencia de los procesos y la calidad de los productos finales. También son empleados en el área educativa para los contenidos temáticos de materias relacionadas a la robótica. Debido a la complejidad y costos de los mismos, su adquisición es en ocasiones difíciles para las industrias y/o instituciones educativas, ya que la mayoría de estos provienen de otros países.

El prototipo de brazo robótico que se presenta en este trabajo se basa en el robot Thor, el cual es un brazo robótico de 6 grados de libertad de código abierto e imprimible, diseñado por Ángel Larrangaña Muro [THOR (2018)]. Se conforma por 51 Piezas y es capaz de levantar un peso de 750 gramos.

La estructura mecánica está conformada por rodamientos, poleas, ejes y bandas dentadas fabricado todo en impresión 3D. Desarrollar el Hardware electrónico necesario para el correcto funcionamiento del robot incluye; la selección de los componentes para el desarrollo del prototipo, desarrollo de la etapa de potencia para los actuadores eléctricos y desarrollo del sistema de procesamiento principal. Los actuadores eléctricos empleados son motor a pasos Nema 17 bipolar. Para la etapa de potencia que permita mover los actuadores eléctricos se emplearon driver de potencia Tb6600. El

1

1, 2, 3, 4, 5 *Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Av. Tecnológico S/N, Col. Periférico C.P. 35150 Cd. Lerdo Durango México.*

\*luis.gv@itslerdo.edu.mx

sistema de procesamiento se realiza mediante el Microcontrolador PSoc PY8CKIT-050.

El alcance de este proyecto es construir un prototipo de robot manipulador con el que se puedan realizar prácticas didácticas en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo y en apoyo a generar herramientas tecnológicas y didácticas para los estudiantes.

## II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

En la industria la eficiencia de los procesos es cada vez más importante para la mejora de la productividad, es por ello que la implementación de nuevos sistemas tecnológicos es vital para lograr un crecimiento en la industria de nuestro país a través de la formación teórico-práctica en los centros educativos.

Las principales acciones realizadas fueron: seleccionar los materiales para la fabricación, fabricación de los componentes mecánicos para la estructura del robot y el rediseño y fabricación de piezas para la mejora del prototipo. Se emplearon impresoras 3D del ITS Lerdo y de la empresa vinculada.

### A. Diseño mecánico del robot

Se diseñó el prototipo en un software de diseño mecánico que permitió antes de construir el brazo robótico, verificar el comportamiento mecánico de la estructura diseñada. Se utilizó el programa FreeCAD el cual es un software de diseño Open Source.

Las articulaciones 1, 2 y 3 dan la posición al efector final, son rotativa, y prismáticas respectivamente, las articulaciones 4, 5 y 6 son rotativa y prismática y rotativa en ese orden. Para este caso solo se van a mostrar las articulaciones más importantes o representativas ya que el Robot cuenta con una cantidad muy amplia de componentes.

Se inicio con el diseño de la base que es la que se muestra en la Figura 1, ya que esta es el punto de partida para las demás articulaciones, las dimensiones de la base son específicamente en consecuencia a las dimensiones de los motores a utilizar que para este caso son los NEMA 17, así que ante todo se pensó en una estructura con el tamaño suficiente para poder contener por dentro estos motores en conjunto con sus complementos como ventiladores y los engranes que transmiten la potencia del motor y realizan el movimiento de la articulación 1.

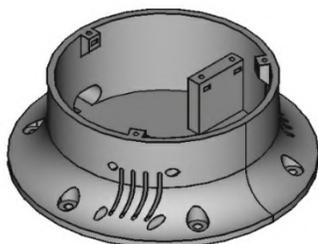


Figura 1. Base del Robot

Para continuar, se diseñó el componente para la articulación 1 el cual tiene un movimiento rotativo, ya que estamos hablando de un robot de una sola pieza, la articulación 1 es la misma desde la cual se transmite la potencia desde los motores hasta las articulaciones 2 y 3, esto se produjo con el sentido de que sobre la articulación 2 cayera el peso que es provocado por los motores y esto en otras articulaciones no causara una sobrecarga en cuanto a peso, en la Figura 2 se muestra la articulación 1.

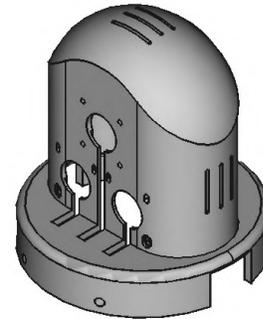


Figura 2. Articulación 1

Para la articulación 2 se fabricó un par de componentes los cuales generan el movimiento de esta zona del robot, estos 2 componentes como se muestran en la Figura 3 van unidos por una pieza en el centro la cual permite la sujeción, la articulación 2 en uno de sus 2 componentes contiene de manera interna un engrane en el perímetro de la parte inferior, dos motores por medio de sus engranes helicoidales, por cierto, transmiten la potencia y generan un movimiento oscilatorio que puede ser de 180° grados.

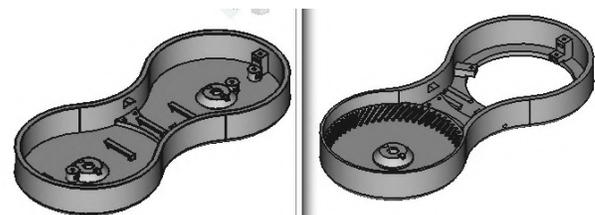


Figura 3. Articulación 2

La articulación 3 la cual se muestra en la Figura 4, es muy similar a la 1, esto con el fin de darle simetría al diseño del modelo y aparte porque el diseño se ajusta principalmente a la necesidad de la articulación anterior y la que prosigue, las cuales son para este caso que para su grado de libertad tenga un movimiento oscilatorio como la articulación 2 y que tenga una transmisión de potencia rotativa para la articulación 4 que es la que prosigue.

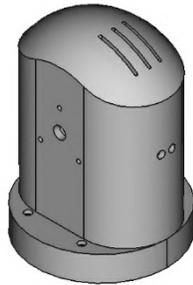


Figura 4. Articulación 3

Dentro de la articulación 3 se tiene el engrane que transmite hacia la articulación 4, se hace énfasis en esto ya que la transmisión o la forma de movimiento de la articulación 4 es rotativa, se pensó en un diseño peculiar que por medio de dos componentes circulares concéntricos y con una pequeña abertura en su centro y un engrane insertado en una de estas se generase el movimiento rotativo, una parte va conectada o armada al perfil de la articulación 3 y la otra tiene un engrane en su centro que conecta con la articulación 4, estas 2 articulaciones están conectadas por medio de balines lo cual crea un efecto como si fuese balero, solamente que para este caso una parte está en la articulación 3 y la otra mitad del balero conectado con la articulación 4. A continuación en la Figura 5 se muestra la estructura para la articulación 4.

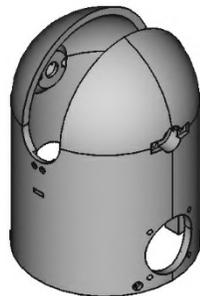


Figura 5. Articulación 4

Casi para concluir con este diseño se tiene como faltantes las articulaciones 5 y 6. Estas 2 articulaciones en específico son las que dan el control del movimiento de la mano robótica, los movimientos de la mano en base a prototipos de robots manipuladores comerciales se basan en rotativo y oscilatorio o prismático, es decir; de 1 grado de libertad cada uno.

Así que basándose en esto se diseñó una articulación con la capacidad de realizar ambos movimientos la cual es la que se muestra para la Figura 6. En este caso se utilizó una transmisión por engranes helicoidales transversales, lo que se tiene es en dos lados del perímetro de un engrane transversal primario, 2 motores a pasos junto con 2 engranes también transversales, los cuales al momento de girar en la misma dirección producen el movimiento giratorio y cuando giran en sentidos opuestos hacen que gire el componente teniendo así en este componente 2 grados de libertad.

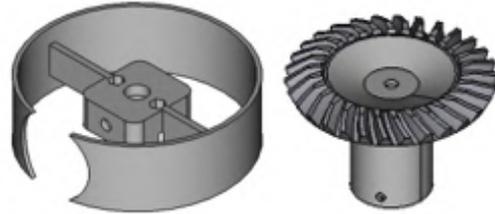


Figura 6. Articulaciones 5 y 6

Y concluyendo tenemos el gripper o pinza robótica, la cual realiza la sujeción de los objetos a manipular, en este se utilizó el modelo convencional y más utilizado de gripper y ya que no se requiere mucho torque al momento de la sujeción se usó un servomotor para realizar la apertura y cierre.

A continuación, en la Figura 7 se aprecia una vista explosionada de todos los componentes necesarios (Excepto los NEMA 17) que se utilizan para el ensamble del brazo robótico.

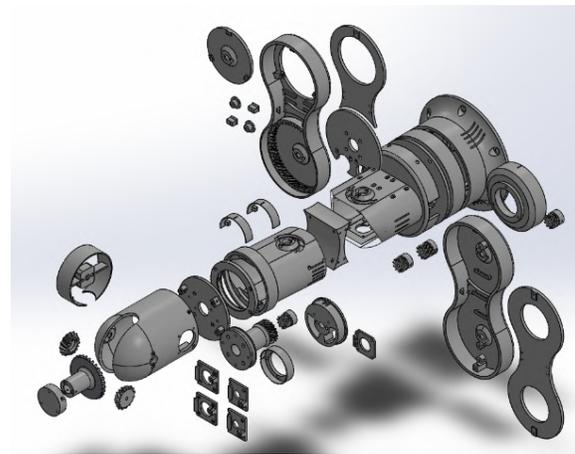


Figura 7. Vista explosionada del ensamble completo del robot

### B. Impresión de los componentes del diseño

Una vez concluido el diseño y realizado los análisis correspondientes a los componentes se pasa a la parte de la impresión de las piezas prediseñadas. En primer lugar, se tiene que elegir que material se va a utilizar y en base a que características y que impresora se va a utilizar también, ya que en base al material e impresora se debe de realizar la adquisición del material correspondiente.

Para este proyecto se utilizó como material de base el PLA para todas las piezas del robot y las piezas fueron impresas en la ULTIMAKER S5 la cual se ubica en el tecnológico.

Una vez teniendo las piezas diseñadas y en formato STL el cual es un tipo de archivo que es admisible por todos los programas e impresoras 3D, pasamos a realizar los pasos siguientes para todas las piezas, ya que para la impresión de piezas se sigue la misma metodología.

En el paso No.1 se abre el archivo STL en el software oficial de la impresora 3D el cual es el ULTIMAKER CURA como se puede visualizar en la Figura 8.

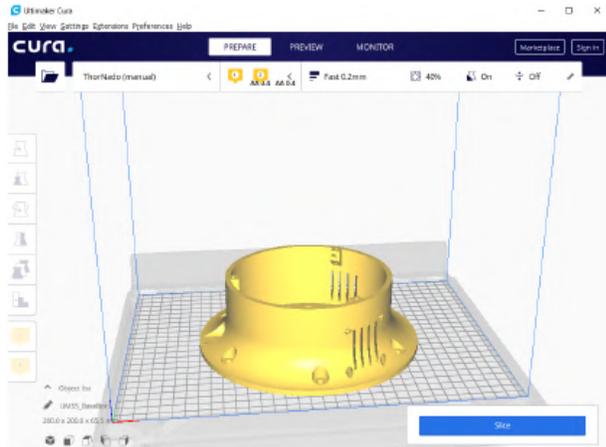


Figura 8. Software ULTIMAKER CURA

Paso No.2 Define las características de impresión en el software para la pieza, los parámetros que se pueden definir son: velocidad de impresión, densidad de impresión, calidad del acabado, porcentaje de relleno, etc. Ver la Figura 9.

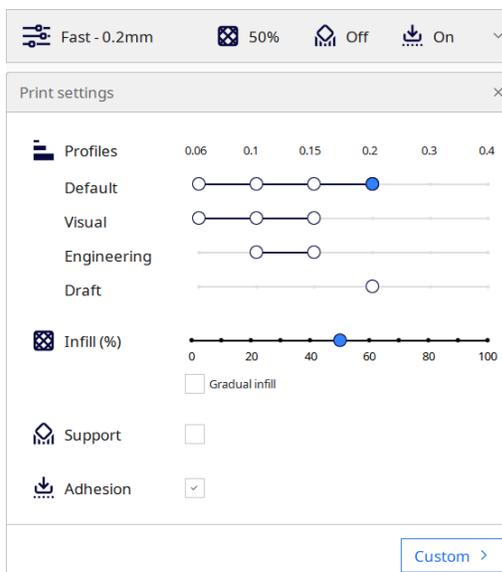


Figura 9. Parámetros definibles para la impresión de piezas en 3D

Paso No.3 Se da en iniciar con la impresión y la impresora comienza a realizar sus funciones, el tiempo que se va a tardar por lo regular es exacto y lo podemos visualizar antes de darle en iniciar. Para este caso se utiliza la base del robot para la muestra de la impresión física como se visualiza en la Figura 10 se puede apreciar la pieza terminada y como queda con la textura definida y aunque no se puede visualizar, pero la pieza queda completamente sólida.

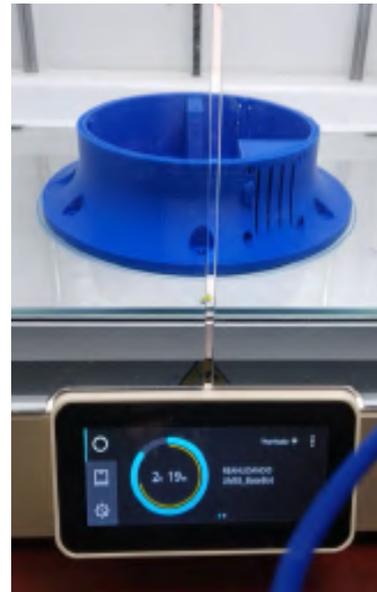


Figura 10. Base del robot impresa

A continuación, en la Figura 11 se aprecia la mayoría si no es que todas las piezas del robot ya listas para el armado del robot completo, esto con la finalidad de tener una vista más real de la cantidad de impresiones que se realizaron y para ver de alguna manera con que componentes cuenta este proyecto.



Figura 11. Todas las piezas del robot terminadas

Una vez terminadas todas las piezas del diseño se pasa a ubicar los componentes principales, y a terminar con la adquisición de los materiales también necesarios para la construcción del prototipo, para este caso externamente se adquirieron poleas de tiempo, bandas para dichas poleas, tornillería M3 diferentes tamaños y unas barras de acero que funcionan como flechas.

### C. Armado del robot manipulador

Al momento de que se tiene completamente los componentes a utilizar junto con los motores NEMA 17 y los

cables de conexiones se inicia con el armado del robot manipulador.

Se emezpó para este prototipo con la parte superior, es decir; con la articulación 4, 5 y 6 y las mencionamos juntas porque estas se encuentran en una misma armadura que sería la articulación 4. Primero se armó la parte de las articulaciones 5 y 6 ya que están vienen en una pieza misma, se introduce todo en la articulación 4, se ensamblan las bandas y los motores a pasos junto con sus poleas. Después de esto la tapa inferior de la articulación 4 y se atornilla la parte que funciona como balero y se introducen los balines, una vez armada esta se ensambla todo esto en conjunto con los cables y los engranes sobre la articulación 3. Cabe resaltar que se arma de arriba hacia abajo porque los cables pasan internamente por el robot.

Una vez armada la parte superior se instalan las dos partes que comprende la articulación 2, primero pasando los cables por dentro de la parte que no tiene engranes ni piezas movibles, esto para que no se fuesen atorar en los movimientos, luego se introducen los motores a la articulación 1, sujetamos por medio de los tornillos y se ajustan sus correspondientes bandas, para terminar por poner la tapa que contiene la parte dentada que es donde se genera el movimiento de la articulación 2, una vez armado todo se ajustan los tensores de la banda para la articulación 3. Se continua a sobreponer la articulación 1 sobre la base, como ya se ha dicho primero se introduce el motor NEMA 17 en la base y se arma la parte que sujeta entre la articulación 1 y la base y ajustamos unos tornillos que sujetan un balero que ayuda al movimiento rotativo de la articulación 1.

Y ya el ensamble completo queda como en la Figura 12, en donde se pueden apreciar todas las piezas del robot manipulador THOR listo para funcionar.

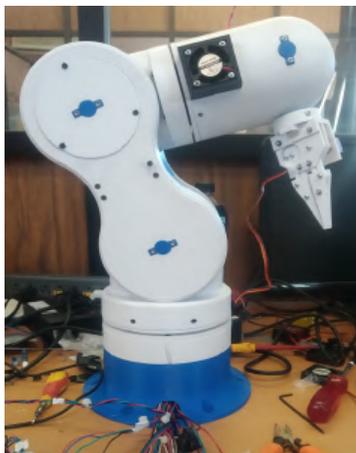


Figura 12. Robot Armado físicamente

**D. Etapas de control del brazo robótico**

Primeramente, se va a comentar el funcionamiento del robot y de las diferentes etapas de control por las cuales pasa. A continuación, en la Figura 13 se puede observar las

diferentes etapas por las cuales pasa el robot para realizar el movimiento de las diferentes articulaciones con las que cuenta el mismo.

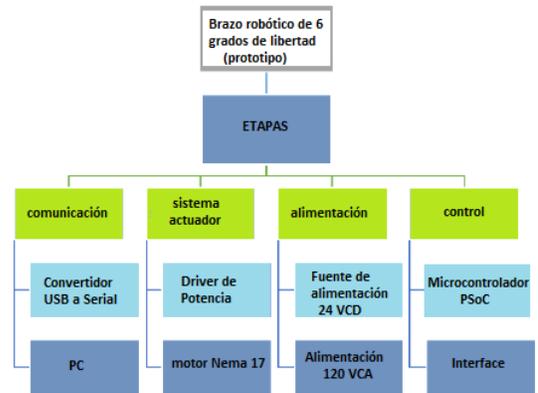


Figura 13. Etapas del brazo robótico de 6 grados de libertad

En la etapa de comunicación se tiene el convertidor de la señal USB a serial que sirve como el convertidor de las señales que son enviadas por el PSoc y la computadora. En la siguiente etapa se tiene el sistema de actuación de las articulaciones, los motores a pasos obtienen su señal por medio de los drivers los cuales le transmiten hacia dónde y que tantos grados debe de girar el motor para mover las articulaciones. En la Figura 14 se muestra una imagen representativa con imágenes reales de estas etapas para el movimiento y control del robot manipulador de 6 grados de libertad.

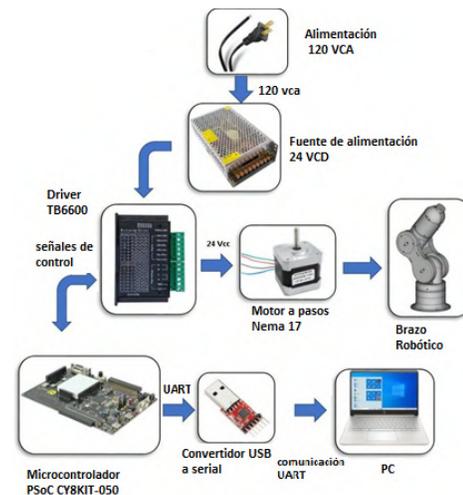


Figura 14. Etapas del brazo robótico de 6 grados de libertad de manera física

**E. Electrónica de potencia del robot manipulador**

Para la parte del movimiento de los sistemas actuadores, se tienen 2 componentes clave los cuales son el motor NEMA 17 y los drivers de potencia TB6600 en palabras sencillas y claras, el driver es el encargado primordial de ordenarle al motor que hacer, ya que mediante este se controla las bobinas

con las que cuentan los motores a pasos, las cuales le permiten tener movimientos precisos al motor y en la dirección deseada ya sea izquierda o derecha. Desde la interfaz en MATLAB mediante unas sliders que se programaron en la misma y el PSoC se controla al driver lo cual es una cadena de pasos y ordenes que se envían en un instante de tiempo; sin embargo, en este artículo no tocaremos el tema de la interfaz.

A continuación en la Figura 15 se muestra el diagrama de conexiones que se utilizan para este tipo de motores y para el driver TB6600, la placa puede ser cualquiera ya sea una placa Arduino, una Raspberry Pi o un PSoC, evidentemente cada una de estas tiene su lenguaje y estructura de código diferentes, pero lo que importa en este caso y lo que se muestra son los diagramas de conexión del driver a los motores NEMA17 que se utilizaron para el movimiento de los motores y a su vez que estos mueven cada uno de los 6 grados de libertad del robot.

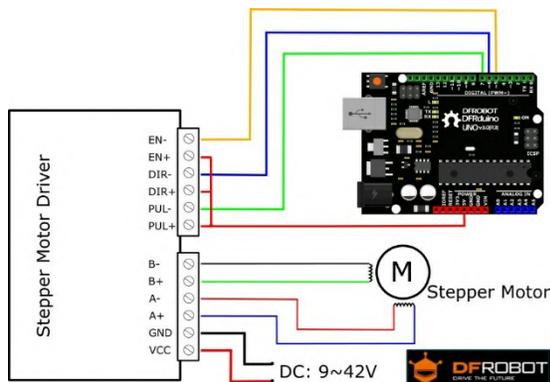


Figura 15. Diagrama de ejemplo de conexión para los drivers TB6600 y los motores a pasos.

Una vez se obtuvieron los diagramas de conexión se pasó a realizar las conexiones físicas de estos componentes, el robot cuenta con 6 articulaciones lo cual es equivalente a 6 grados de libertad para este caso, sin embargo hay algunas articulaciones en las cuales debido al peso del robot en otras zonas se necesitaron 2 motores para mover ciertas articulaciones, por ejemplo: en la articulación 1 tenemos un motor, para la articulación 2 tenemos 2 motores, en la articulación 3 se utiliza 1 motor, en la 4 otro motor y en la 5 & 6 se utilizaron 2 motores. Así que al final nuestro diseño completo cuenta con 7 motores a pasos NEMA 17, esto es equivalente a que tendremos que utilizar 7 drivers de potencia 1 por cada motor que tenemos en el diseño.

A continuación, en la Figura 16, se muestra físicamente como quedaron los drivers conectados para el funcionamiento de las articulaciones del robot.



Figura 16. Drivers de potencia cableados para el control de los NEMA 17.

### III. RESULTADOS

Como resultado de este proyecto se obtuvo un robot completamente armado y funcional de sus seis articulaciones lo cual permite de manera visual, observar el movimiento y funcionamiento que puede tener un robot industrial, aunque no se compara con un robot como modelo dinámico de ejemplo y de aprendizaje funciona bastante bien, ya que industrialmente y en la mayoría de los casos se cuenta con robots en su mayoría de robots de más de 5 articulaciones como este es dicho caso.

El robot se controla mediante la interfaz en MATLAB, al momento de mover las sliders en la interfaz se genera la cinemática directa del mismo, después de esto el robot comienza a tener movilidad dependiendo claramente de que slider en que articulación se mueva.

### IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Al tener como fin la optimización del diseño para llevarlo no solo a un modelo didáctico sino a un modelo que pueda funcionar de manera industrial, se llega a los siguientes puntos que es clave tener en mente:

- Primero es bueno pensar en otros materiales para la construcción el PLA es un material duradero, sin embargo, tiene un punto de quiebre muy alto y con cualquier sobre esfuerzo tiene a romperse o desquebrarse.
- En lugar de utilizar para los componentes que transmiten la potencia el mismo material de impresión sería bueno utilizar componentes maquinados, ya fuesen de aluminio u acero en el mejor de los casos, esto para aumentar la resistencia de dichos componentes.

- Pensar en la utilización de motores de mayor potencia y torque, que, aunque fuesen más robustos el diseño es 100% modificable y adaptable.

Cabe mencionar que actualmente se está trabajando en otro diseño de robot manipulador en el cual se están aplicando los conocimientos adquiridos en el trabajo que se realizó con este proyecto de robot THOR.

## V. AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Tecnológico Superior de Lerdo y al TecNm por el apoyo para el desarrollo de este proyecto, además de la empresa “ECL Automatización S de RL de CV.

## VI. REFERENCIAS

- [1] Thor. (2018). THOR An Open-Source 3D Printable 6DOF Robotic Arm. <http://thor.angel-lm.com/>
- [2] *Impresión 3D de calidad profesional al alcance de todos*. (2011, noviembre). <https://ultimaker.com>. <https://ultimaker.com/es>
- [3] *TB6600 Stepper Motor Driver SKU\_DRI0043-DFRobot*. (2008). DFRobot DRIVE THE FUTURE. [https://wiki.dfrobot.com/TB6600\\_Stepper\\_Motor\\_Driver\\_SKU\\_DR\\_I0043](https://wiki.dfrobot.com/TB6600_Stepper_Motor_Driver_SKU_DR_I0043)
- [4] *Jones et al (1998) Mobile robots: Inspirations to implementation. Second Edition. A K Peters Ltd*
- [5] Rentería, A. and Rivas, M. (2000). *Robótica industrial*. 1st ed. Madrid: McGraw-Hill, p.2-85
- [6] Cortés, F. (2013). *Robótica*. México: Alfaomega Grupo Editor
- [7] THOR (2018), Robot Thor Obtenido de <https://github.com/AngelLM/Thor/>

## VII. BIOGRAFÍA



**Alvarado Tovar Noé.** Nació en la Ciudad de Torreón, Coah. México el 11 de julio de 1978. Egresado del Instituto Tecnológico de la Laguna de la carrera de Ingeniería Electrónica en el año 2000. Obtuvo el grado de Maestría en Ciencias de la Ingeniería Eléctrica en el Centro de Graduados del Instituto Tecnológico de la Laguna, ubicado en la ciudad de Torreón, Coah. México, en el año de 2006, en la especialidad en Control de Robots Manipuladores. Actualmente está en la etapa final

del su estudio de doctorado en la Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.

Actualmente labora en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, desempeñado el puesto de Investigador-Docente, en el Departamento de Investigación y Desarrollo Tecnológico y en la División de Ingeniería Electrónica respectivamente, el instituto se encuentra ubicado en la ciudad de Lerdo, Dgo. México. Cuenta con experiencia profesional en el ramo de la automatización industrial, robótica, control electrónico. Sus actuales líneas de investigación incluyen: Mecatrónica, robótica, automatización industrial, control de movimiento, comunicaciones industriales y electrónica de control y de potencia.



**González Vargas Luis Amado.** Nació en la ciudad de Lerdo, Dgo., el 25 de agosto de 1968. Egresado del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo de la carrera de Ingeniería Electrónica con la especialidad en automatización en el año 2007 Cd. Lerdo. Obtuvo el grado de Maestría en Ciencias de la Ingeniería Eléctrica, en el Centro de Graduados del Instituto Tecnológico de la Laguna, ubicado en la ciudad de Torreón, Coah. México, en el año 2010. Ha participado en proyectos de investigación relacionados con estudios de la calidad de la energía y automatización 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, en el Departamento de Investigación y Desarrollo Tecnológico y en la División de Ingeniería Industrial respectivamente.



**Proo Pérez José Gerardo.** Nació en Torreón Coahuila el día 1 de marzo de 1996. Ingeniero electromecánico, Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Lerdo, Durango, México, obtenido en 2018. Actualmente cursa la maestría en ingeniería mecatrónica cursando su tercer semestre de la maestría en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Lerdo, Durango, México. Él actualmente labora en Pilgrim's como técnico electromecánico del área de mantenimiento en deshuadora CITRA ubicada en Gómez Palacio, Durango, México. Las líneas de interés de él son: Inteligencia artificial, diseño mecánico para la construcción de proyectos, energías renovables, control y eficiencia energética. Ing. Proo, cuenta con una propiedad intelectual ante el IMPI por medio del diseño y construcción de un prototipo de robot.



**Tarango Hernández Carlos Eduardo** nació en Gómez Palacio Durango, el 16 de mayo de 1996. Obtuvo la licenciatura en Ingeniería en Electrónica en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, en cd. Lerdo Durango, México en el año 2019. El C.E. Tarango Hernández actualmente labora en el Instituto de estudios Superiores DCM Durango, México, en el cual tiene el puesto de docente en el área de matemáticas.



**Serrano Hernández Arturo** nacido en Torreón Coah. Méx. El 21 de agosto de 1988. Habiendo obtenido el título de ingeniero mecánico con especialidad en diseño industrial por el Instituto Tecnológico de la Laguna en la ciudad de Torreón Coah. Méx en abril del 2012. Actualmente cursando la maestría en Planeación estratégica y dirección de tecnología en la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla ubicada en la ciudad de Puebla, Pue. Méx. El actualmente labora en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo como Profesor Investigador en la Subdirección de Investigación y desarrollo Tecnológico como responsable del área de diseño, así como en el área de Electromecánica, en la ciudad de Lerdo, Dgo. Méx. Las líneas de investigación de interés son en relación la automatización de procesos industriales y a la mecatrónica. El Ing. Serrano perteneció a la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME) en el 2010, tomó un diplomado en Tecnomatix, software de SIEMENS en la Universidad del Valle de Puebla, en la ciudad del Puebla, Pue. México a finales del 2013. Participo como coautor del artículo Ingeniería de Procesos Administrativos para la Mejora del Desempeño Organizacional: Caso de estudio, ponencia presentada en el congreso Internacional de Investigación Ciencias y Sustentabilidad de Academia Journals en la Universidad Veracruzana en la ciudad de Tuxpan, Veracruz.

# Desarrollo de control de motores a pasos por hardware utilizando microcontroladores PSoC

E. Machado-Díaz<sup>1</sup>, H. Coto-Fuentes<sup>2</sup>

**Resumen**—Los motores a pasos son uno de los actuadores más utilizados en los diversos sistemas automáticos, principalmente aquellos en que la precisión es el objetivo principal, como lo pueden ser los sistemas de control numérico, los brazos manipuladores industriales, entre otros. El control electrónico de estos actuadores generalmente se realiza a través de dispositivos especializados para este propósito, que requieren la generación de un tren de pulsos ocupando recursos como: interrupciones, contadores, registros de desplazamiento, etc.

Con la mejora en la elaboración de sistemas en un solo chip, como lo son la plataforma PSoC de Infineon, es posible realizar la generación de las señales cuadradas utilizando los elementos de hardware digital dentro del circuito integrado, optimizando el diseño de control eléctrico de motores, pues permite dividir la parte del manejo de los actuadores de la lógica general del programa. En el marco antes descrito, se desarrollaron y evaluaron varias lógicas para la generación de las señales necesarias (pulsos y dirección) utilizando elementos de hardware de electrónica digital integrados dentro de un microcontrolador PSoC 5, siendo probados en el control de motores a pasos a través de drivers industriales.

**Palabras claves**—controlador, electrónica, microcontrolador, motor a pasos, PSoC.

**Abstract**— Stepper motors are one of the most used actuators in various automatic systems, mainly those in which precision is the main objective, such as numerical control systems, industrial manipulator arms, among others. The electronic control of these actuators is usually done through specialized devices for this purpose, which requires the generation of a pulse train using resources such as: interrupts, counters, shift registers, etc.

With the improvement in the development of systems on a single chip, such as Infineon's PSoC platform, it is possible to generate square signals using digital hardware elements within the integrated circuit, optimizing the design of electrical motor control, since it allows dividing the part of the handling of the actuators from the general logic of the program. Within the framework described above, several logics for the generation of the necessary signals (pulses and direction) were developed and evaluated using digital electronics hardware elements

integrated within a PSoC 5 microcontroller, being tested in the control of stepper motors through of industrial conductors.

**Keywords**—Control, Electronics, Microcontroller, Step Motor, PSoC.

## I. INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas que se han tenido en ingeniería a lo largo de la historia es la transformación de movimientos angulares en movimientos lineales o realizar acciones de forma precisa a través de sistemas automáticos. Actualmente se utilizan diferentes tipos de actuadores electromecánicos para este fin, entre ellos se encuentran los motores a pasos que permiten realizar movimientos con alta precisión y de una forma relativamente sencilla [1].

Debido a su popularidad y amplia área de aplicación, existen diferentes dispositivos y bibliografía para el uso y control de los motores a pasos. Sin embargo, debido a la naturaleza de su control, la mayoría de los métodos que se utilizan para este fin conllevan también un alto consumo de recursos de los dispositivos de control encareciendo y complicando su implementación en sistemas que pretenden tener a fin un bajo costo. Por ello, se plantea un método alternativo a través de lógica combinatorial en Sistemas de un solo Chip (PSoC) de la marca Infineon que permita controlar la señal de pulsos necesaria para el movimiento de motores a pasos de tipo bipolar pues son éstos los que más complejidad se requiere para su control de movimiento, utilizando también un driver de potencia DRV8825.

### A. Motores a pasos

Los motores a pasos son una subcategoría de los motores de imanes permanentes. En lo que se refiere a la conversión de energía eléctrica a movimientos angulares, los motores a pasos trabajan bajo el mismo principio de los motores de corriente continua y alterna. Sin embargo, la conmutación de este tipo de motores se logra a través de sistemas programables, los cuales deben de generar una secuencia de pulsos para alimentar los devanados internos del motor [2].

Dependiendo de las entradas de control, el eje motriz es capaz de avanzar un número concreto de grados según la secuencia de activación de devanados que se indique en el

<sup>1</sup>Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, División de Ingeniería en Sistemas Automotrices, Av. Tecnológico No. 1555 Sur Periférico Gómez - Lerdo Km. 14.5, Ciudad Lerdo, Dgo. C.P. 35150. \* eduardo.md@itslerdo.edu.mx

<sup>2</sup>Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, División de Ingeniería en Electrónica, Av. Tecnológico No. 1555 Sur Periférico Gómez-Lerdo Km. 14.5, Ciudad Lerdo, Dgo. C.P. 35150.

controlador. La cantidad de rotación es directamente proporcional al número de pulsos y la velocidad de rotación es relativa a la frecuencia de éstos. Entre las ventajas que se tienen al utilizar este tipo de actuadores se encuentran:

- Diseño sencillo y de bajo costo.
- Son altamente confiables
- Relativamente poco mantenimiento.
- Se utilizan en lazo abierto.

Los motores a pasos, en comparación con los de corriente continua de escobillas encontrados de forma típica, no son de una compleja construcción, pero requieren de mejor precisión. Según criterios básicos, los tipos de motores a pasos se pueden dividir de acuerdo a su constitución y número de fases necesarias para alimentar las bobinas internas.

1) Motores a pasos unipolares.

Este tipo de motores se componen de dos bobinas, cada una con una derivación en el centro. Las derivaciones del centro son llevadas fuera del motor mediante cables separados o conectados internamente y exponiéndolos como uno de los cables por lo que pueden variar en el número de cables que tienen (generalmente 5 o 6). Sin embargo, sin importar el número de conductores todos los motores de este tipo tienen el mismo principio de funcionamiento [3].

El cable central está conectado a la fuente de alimentación, mientras que los conductores de las bobinas se conmutan a tierra de forma alternada para genera el movimiento. El ejemplo de conexión de un motor a pasos unipolar se muestra en la Figura 1.

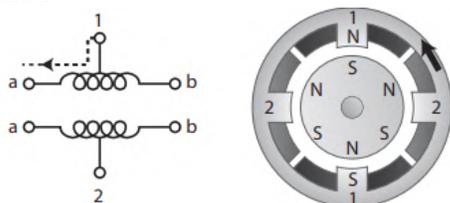


Figura 1. Distribución de bobinas de motor a pasos unipolar.

Al tener varios devanados, para producir el avance deben de ser alimentados en una secuencia adecuada. Al invertir el orden, el giro del motor cambia de dirección [4]. Se pueden realizar diferentes tipos de secuencias de acuerdo a lo que se busque, ya sea velocidad o torque. En la Tabla I se muestra la secuencia simple para el movimiento de un motor a pasos unipolar en donde solamente se alimenta una bobina a la vez.

Tabla I. SECUENCIA SIMPLE PARA MOTOR A PASOS UNIPOLAR

Paso	Bobinas			
	A	C	B	D
1	+	-	-	-
2	-	+	-	-
3	-	-	+	-
4	-	-	-	+

2) Motor a pasos bipolar.

En los motores a pasos bipolares, el cambio de dirección del flujo magnético para hacer girar el motor en una dirección u otra se hace mediante el cambio de polaridad en la corriente aplicada a las bobinas. Generalmente, para cambiar esta polaridad en la corriente se utilizan cuatro interruptores homologando a un puente H. En la Figura 2 se muestra la estructura de conexión interna de un motor a pasos bipolar.

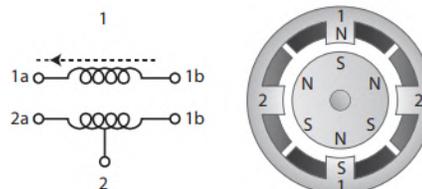


Figura 2. Distribución de bobinas de un motor a pasos bipolar.

Los motores a pasos bipolares tienen aproximadamente un 30% más de toque en comparación con un motor de tipo unipolar del mismo tamaño. En desventaja, los motores bipolares requieren de circuitos de control más complejos que los motores unipolares, lo que equivale a un mayor costo de aplicación.

B. Drivers de potencia para motores a pasos

Un controlador o driver de potencia para motores es un amplificador de corriente que permite tomar las señales de control (de baja corriente) para convertirlas en señales de corrientes más altas que permitan la activación de los devanados de potencia. Este tipo de dispositivos son sistemas por lo que contienen diferentes elementos que permiten realizar las tareas que se han determinado. La estructura básica de un driver de potencia para motores a pasos se puede ver en la Figura 3 [5].

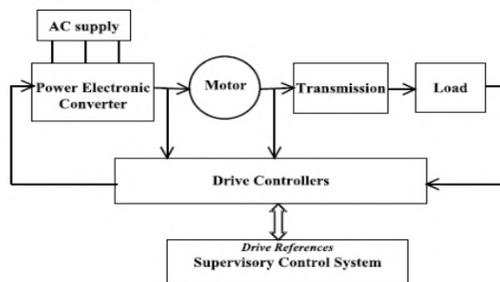


Figura 3. Estructura general de un driver de potencia para motores a pasos

Si bien existen diferentes tipos de controladores, debido al incremento en los sistemas de control numérico e impresoras 3D se han popularizado el modelo DRV8825 que integra dos puentes H de tecnología CMOS, detección de corriente, circuitos de regulación de voltaje y un indexado a micro pasos que permiten realizar movimientos precisos sin requerir que el procesador controle los niveles de corriente. La estructura y distribución de conexiones de este dispositivo de control se muestran en la Figura 4.



Figura 4. Driver DRV8825.

El controlador cuenta con tres entradas de selección para definir la resolución de los pasos. Al configurar de manera apropiada los niveles lógicos en estas entradas se pueden configurar a las resoluciones que se muestran en la Tabla II.

TABLA II. CONFIGURACIÓN DE RESOLUCIÓN PARA DRIVER DRV8825

M0	M1	M2	Resolución
Bajo	Bajo	Bajo	Paso completo
Alto	Bajo	Bajo	Medio paso
Bajo	Alto	Bajo	1/4 paso
Alto	Alto	Bajo	1/8 paso
Bajo	Bajo	Alto	1/16 paso
Alto	Bajo	Alto	1/32 paso
Bajo	Alto	Alto	1/32 paso
Alto	Alto	Alto	1/32 paso

Una vez que se ha configurado la resolución a la que el motor va a trabajar se deben de enviar trenes de pulsos a la entrada STEP que controla los pasos del motor, cuando más rápido sean estos pulsos, más rápido girará el motor. La entrada DIR controla la dirección del giro de acuerdo al estado bajo o alto [6].

### C. Dispositivos PSOC.

La palabra PSOC es el acrónimo de (Programmable System on Chip), estos dispositivos fabricados por la empresa Infineon son microcontroladores cuya principal característica y atractivo es el contar con módulos tanto analógicos como digitales en un solo chip, así mismo poder reconfigurar dinámicamente las entradas y salidas de estos módulos [7]. De esta manera se obtiene un componente electrónico con una gran flexibilidad en su estructura y que permite una gran facilidad para el desarrollo de sistemas electrónicos embebidos.

Este tipo de dispositivos contienen diferentes áreas principales que hacen que tenga versatilidad al momento de implementarlo para diferentes aplicaciones. Cuenta con bloques digitales y analógicos que pueden configurarse y adaptarse de acuerdo a las tareas que se quieran realizar. Las cuatro áreas principales que componen a un microcontrolador PSOC son: Núcleo, Sistema digital, sistema analógico y recursos del sistema.

De acuerdo a la versión del microcontrolador que se tenga, se contarán con diferentes prestaciones. Este documento está enfocado en la familia PSOC 5, especialmente en la tarjeta de

desarrollo CY8CKIT-059 PSOC 5 LP que se muestra en la Figura 5.



Figura 5. Tarjeta CY8CKIT-059.

Las prestaciones generales en forma gráfica de este dispositivo se presentan en la Figura, internamente cuenta con un gran número de entradas y salidas digitales de propósito general, así como sistemas de comunicación UART, relojes internos, procesadores analógicos y bloques digitales [8].

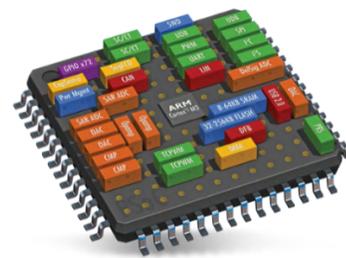


Figura 6. Configuración interna del microcontrolador PSOC 5

## II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

En la realización de este proyecto se evaluaron diferentes configuraciones de bloques digitales con la finalidad de evaluar los recursos del sistema para usarlos de una forma más eficiente.

### A. Pruebas iniciales utilizando programación estructurada

Como se ha mencionado en el apartado de introducción, se utilizará un Driver DRV8825 como dispositivo de control de potencia. De acuerdo al fabricante es necesario utilizar un microcontrolador o generador de pulsos externo que en este caso será el PSOC5.

El primer paso para el control de pulsos es la configuración de los pines de la tarjeta como salidas, debido a la configuración del controlador se requieren dos: un pin para establecer la dirección de giro de motor y otro para la generación de los pulsos. En la Figura 7, se presenta la configuración realizada para el uso de salidas digitales.

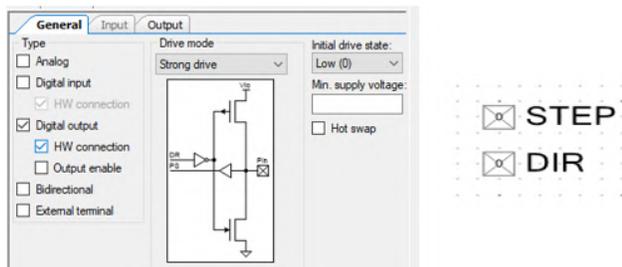


Figura 7. Configuración de salidas digitales

Es importante tomar en cuenta que lo que se busca es realizar el control utilizando únicamente elementos de hardware digital, por lo que es necesario activar la opción de HW conexión al momento de realizar la configuración. Al hacer esto, será posible hacer la conexión del pin físico de la tarjeta con los elementos de hardware interno de ésta.

Una vez seleccionado los pines, se procede a hacer el “mapeo” es decir, elegir el pin físico a utilizar en la tarjeta. Esto se logra mediante el cuadro de diálogo de la Figura 8.

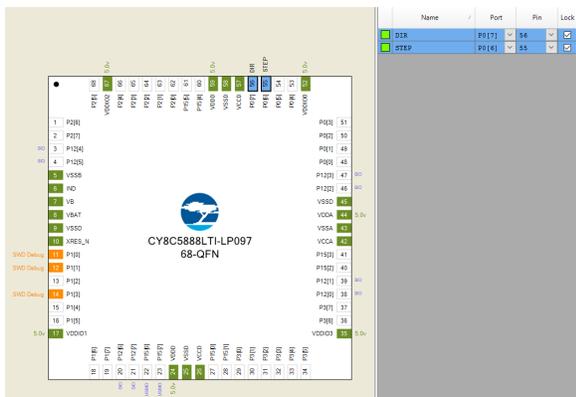


Figura 8. Mapeo de salidas digitales.

Posteriormente se genera el código estructurado para el control de la secuencia del sistema mediante software. Un código de prueba utilizado se muestra en la Figura 9, donde se crea un bucle infinito que permite mover el motor de un sentido a otro en intervalos de 3 segundos.

```
#include "project.h"

int steps = 200;

int i;
int main(void)
{
    CyGlobalIntEnable;
    for(;;)
    {
        DIR_Write(1);
        for(i=0; i<steps;i++)
        {
            STEP_Write(1);
            CyDelay(5);
            STEP_Write(0);
            CyDelay(5);
        }

        CyDelay(3000);

        DIR_Write(1);
        for(i=0; i<steps;i++)
        {
            STEP_Write(1);
            CyDelay(5);
            STEP_Write(0);
            CyDelay(5);
        }

        CyDelay(3000);
    }
}
```

Figura 9. Código de prueba para secuencias de control por software

En este caso, el control se realiza aún por software debido a que solo se requería conocer el comportamiento de los motores a pasos al utilizar esta plataforma.

Las pruebas se realizaron utilizando un motor a pasos NEMA17 y tomando en cuenta que el giro completo de este motor toma 200 pesos.

*B. Pruebas de movimiento por hardware mediante timers.*

Esta prueba fue realizada ya utilizando los elementos de electrónica digital de la tarjeta, tratando de evitar el uso de elementos de programación estructurada. Se utilizaron contadores de 16 bits debido a que se tiene una gran cantidad de cuentas disponibles para los divisores de frecuencia de reloj para los diferentes niveles de velocidad.

Para la generación de los pulsos se tiene un reloj general de 100Hz conectado a la entrada del contador. Este elemento no tiene una salida lógica por lo que no puede conectarse directamente al pin físico de la tarjeta por lo que se recurre a un comparador que detecta cuando se han hecho los pulsos de reloj necesarios y los transforma en niveles lógicos a través de un arreglo de compuertas digitales. En la Figura 10 se muestra el diagrama digital utilizado para esta prueba.

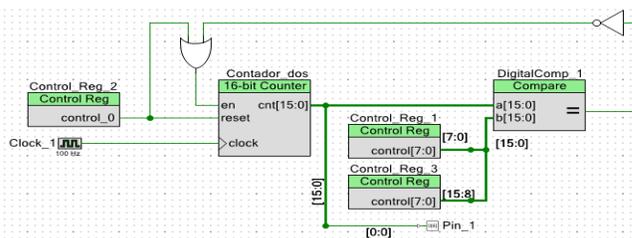


Figura 10. Configuración de control utilizando timers.

El número de pasos que quieren darse se realiza mediante el Registro de control 2 y los registros 1 y 3 se utilizan para identificar si el conteo ha llegado a su fin y desactivar el contador.

Una vez compilado el programa se analizó el uso de recursos teniendo los resultados que se muestran en la Figura 11.

Digital	
DMA Channels	0 / 24
Timer	0 / 4
UDB	29.2 %
Macrocells	48 / 192
Unique P-...	112 / 384
Datapath Cells	3 / 24
Status Cells	3 / 24
Control Cells	4 / 24

Figura 11. Resultados de uso de recursos de prueba con timer.

Se puede observar que se utilizaron cerca del 30% de los recursos de hardware digital para el control de un solo motor a pasos. Es decir, mediante este método, y utilizando la tarjeta PSOC 5, solamente se podrían controlar un máximo de 3 motores a pasos dejando poco espacio en el procesador digital para el uso de otros tipos de bloques en el programa.

Con esto, se optó por la implementación de otro método con la finalidad de reducir el número de recursos digitales requeridos para el control de motores.

*C. Prueba de movimiento por hardware mediante contadores e interrupciones.*

La segunda opción por hardware valorada combina el uso de contadores con interrupciones del mismo, lo que permite tener un control del conteo más preciso al detener el funcionamiento del sistema si es que los contadores se han desbordado. El diagrama de flujo de la prueba se presenta en la Figura 12.

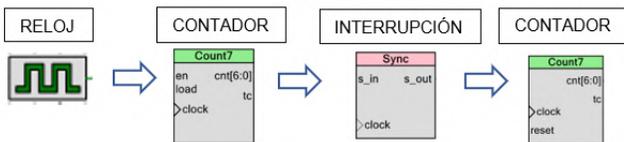


Figura 12. Diagrama de flujo de la prueba con contadores e interrupciones.

Se hizo uso de contadores descendentes de 7 bits en cascada, donde al igual que en la prueba pasada, de inicio se tiene un reloj de 100 Hz el cual marca la velocidad del motor, este llega a la entrada de reloj del contador utilizado; el contador al llegar al final del conteo establecido, genera una señal de tiempo completado el cual va dirigido a un segundo contador en cascada, esto con el fin de tratar de lograr una lógica de reset óptima que en la prueba pasada no se logró; ahora bien, la señal generada de tiempo completada es asíncrona, por lo que, para llevar dicha señal hacia el segundo contador se tenía que sincronizar, para lo cual se hace uso de un bloque sincronizador, el cuál cumple perfectamente con la

función buscada. El diagrama lógico utilizado se muestra en la Figura 13.

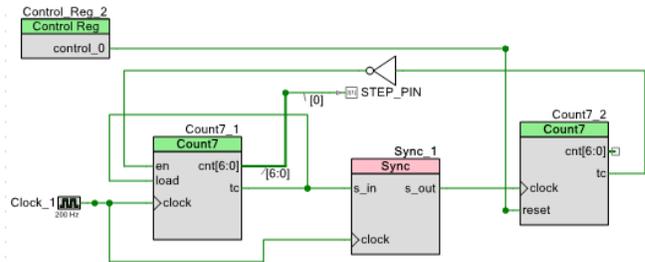


Figura 13. Diagrama lógico para control por contador e interrupción.

Una vez terminado el conteo del segundo contador, este logra realizar el reinicio del primero, mientras que el reset del segundo contador se realiza con un registro de control, sin embargo, al realizar pruebas prolongadas, se encontró que al final de los ciclos establecidos, se mostraba un conteo extra al deseado en el primer contador.

Los resultados en cuanto a consumo de recursos se muestran en la Figura 14. Se debe tomar en cuenta que el bloque anterior se replicó 6 veces, por lo que es posible controlar 6 motores de forma simultánea y aún tener espacio en memoria.

Digital	
DMA Channels	0 / 24
Timer	0 / 4
UDB	58.3 %
Macrocells	30 / 192
Unique P-terms	50 / 384
Datapath Cells	3 / 24
Status Cells	11 / 24
Control Cells	14 / 24

Figura 14. Recursos utilizados con contadores e interrupción.

Si bien se disminuyó considerablemente el número de bloques utilizados en comparación con la opción anterior, se tienen cuentas que pueden ser inestables por lo que no es recomendable en aplicaciones en donde se la precisión es un requisito principal. Sin embargo, es funcional en aplicaciones que solamente requieren movimiento del motor.

*D. Prueba de movimiento por hardware mediante timer y contador*

Derivado de los resultados de las pruebas anteriores se diseñó una opción combinando el uso de temporizadores con los contadores. Es decir, se combinaron los métodos pasados, el diagrama de flujo de esta prueba se muestra en la Figura 15.

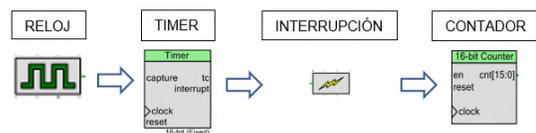


Figura 15. Diagrama de flujo de la prueba combinada.

Para esta prueba se hizo uso de un temporizador al que a su entrada de reloj tiene 100Hz al igual que las pruebas anteriores, en esta prueba no se recurre al uso del tiempo completado del timer, sin embargo, ahora se hace uso de una interrupción que se estará llamando desde programación en el Main.c (programa estructurado), subsecuente a esto se encuentra un contador de 16 bits ascendente, donde la interrupción proveniente del timer, seguido de un inversor, llegan al pin de habilitación del contador.

A la salida del contador se encuentran dos registros de estatus con la finalidad de guardar los valores de las cuentas de los pulsos, sin embargo, una limitante de los registros de estatus, es que estos son de 8 bits, por lo que es necesario utilizar dos, uno para el registro alto y otro para el registro bajo.

El funcionamiento del diagrama de la Figura 16 se resume en que, el timer comienza su funcionamiento, posteriormente al llegar al fin del conteo establecido, activa una interrupción con el fin de hacer el reinicio del sistema.

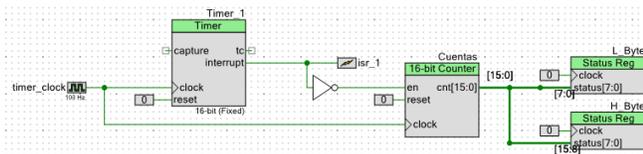


Figura 16. Diagrama lógico para control combinado.

Con este método se tiene un control más preciso de la señal de pulsos del controlador. Sin embargo, se ocupan mayor cantidad de recursos como lo muestran las estadísticas de la Figura 17. En esta configuración, solo es posible un máximo de 4 motores, pero con un movimiento más preciso y controlado.

Digital	
DMA Channels	0 / 24
Timer	2 / 4
UDB	21.9 %
Macrocells	42 / 192
Unique P-terms	61 / 384
Datapath Cells	3 / 24
Status Cells	5 / 24
Control Cells	1 / 24

Figura 17. Consumo de recursos en prueba combinada.

### III. RESULTADOS

Después de las pruebas realizadas con las diferentes configuraciones lógicas se llegó a una versión actualizada donde se retoma la idea de los contadores de 12 bits para realizar un número mayor de cuentas, pero con un arreglo de compuertas diferente.

Se mantiene un contador seguido de un comparador, el cual funge entre el contador y valores proporcionados por medio de registros de control, pero a diferencia de las propuestas anteriores, el pin de STEP en lugar de estar conectado al bit 0 del contador ahora este se conecta al reloj. Sin embargo, se hizo el diseño de una lógica por medio de una compuerta NOR y un inversor, con el fin de desactivar el reloj,

que el contador, ahora es desactivado manualmente desde un registro de control.

Por lo que, con dicho registro de control, se logra el reset del contador, y este al entrar en esa condición, incumple la condición realizada con las compuertas y el reloj vuelve a activarse obteniendo una señal más estable. El diagrama propuesto se muestra en la Figura.

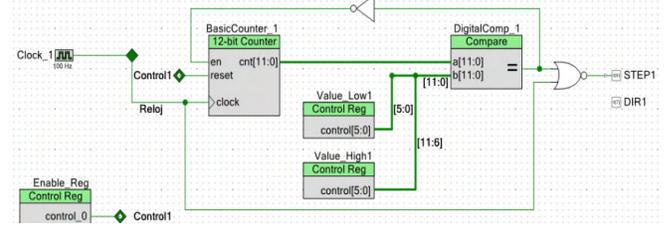


Figura 18. Diagrama de control resultante de las pruebas.

En la parte final de la programación se añade un registro de estatus, el cual permite conocer cuando se termina de contar, al igual se añaden las interrupciones con la finalidad de tener una opción en caso de que se requiera el uso de interruptores de final de carrera para generar un sistema a lazo abierto que pueda ampliar la aplicación del diagrama propuesto en diferentes aplicaciones.

De igual manera, se realizó una prueba con esta configuración para el control de 3 motores a pasos de forma simultánea con la finalidad de obtener una retroalimentación del funcionamiento en más de un motor a la vez, el diagrama para el control de 3 motores se ve en la Figura 19. Sin embargo, se utilizan pocos recursos por lo que es posible ampliarse para el control de hasta 6 motores bipolares, incrementando el campo de aplicación.

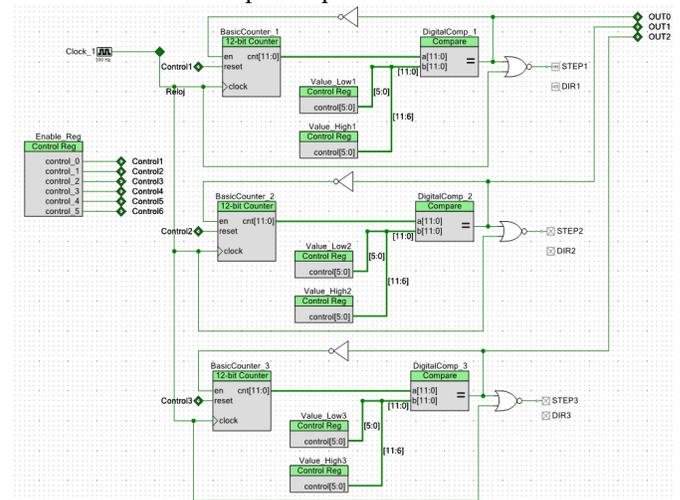


Figura 19. Diagrama de control de tres motores a pasos de forma simultánea.

Terminado el diagrama lógico se hizo el mapeo de entradas y salidas digitales para validar si el microcontrolador es capaz de manejar todos los elementos de hardware, es decir, controlar 6 motores a pasos con los interruptores de final de

carrera correspondiente. El mapeo realizado se muestra en la Figura 20.

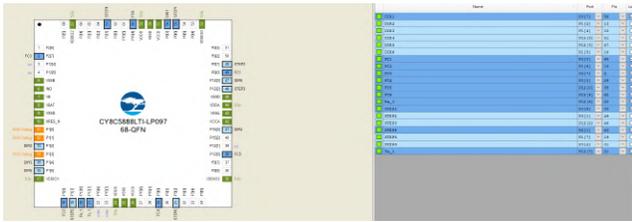


Figura 20. Mapeo de pines físicos.

El uso de recursos del diagrama final propuesto permite el manejo de 6 motores a pasos, los finales de carrera de todos, así como el uso de comunicación UART teniendo los resultados de consumo que se muestra en la Figura 21.

Digital	
DMA Channels	0 / 24
Timer	0 / 4
UDB	94.3 %
Macrocells	142 / 192
Unique P...	362 / 384
Datapath Cells	4 / 24
Status Cells	5 / 24
Control Cells	15 / 24

Figura 21. Recursos consumidos por el diagrama lógico propuesto.

Si bien el diagrama lógico es en donde se realiza la mayoría del control del driver, también es necesario algunos elementos de programación estructurada para la activación, manejo y control de las interrupciones. El código estructurado se encuentra en la Figura 22.

```
#include "project.h"
#include "stdio.h"
#include "ControlMotor.h"

CY_ISR_PROTO(FC1_Interrupt);
CY_ISR_PROTO(FC3_Interrupt);

int flag=0;

int main(void)
{
    CyDelay(1000);
    FC1_ISR_StartEx(FC1_Interrupt);
    FC3_ISR_StartEx(FC3_Interrupt);
    CyGlobalIntEnable;

    UART_1_Start();
    MotorSteps(1, 400, 0);

    for(;;)
    {
        if(flag==1)
        {
            MotorSteps(1, 400, 1);
            flag=0;
        }
    }

    CY_ISR (FC1_Interrupt)
    {
        StopMotor(1);
        STEP4_Write(1);
    }

    CY_ISR (FC3_Interrupt)
    {
        flag=1;
    }
}
```

Figura 22. Código estructurado para el control de motores a pasos por hardware.

#### IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Los motores a pasos son los actuadores más utilizados en sistemas de control de movimiento en donde la precisión es de vital importancia. Es por ello, que existen una gran cantidad de ejemplos para su control. Sin embargo, con la llegada de nuevos dispositivos con mejores prestaciones como lo son los sistemas PSOC es necesario buscar alternativas de programación con el fin de tener una visión diferente del uso de estos microcontroladores.

Las opciones de diseño propuestas, al ser generadas con lógica combinatorial, pueden implementarse incluso con elementos TTL que se utilizan de forma didáctica en la enseñanza de la electrónica digital, lo que puede abrir un abanico de posibilidades para el uso de la plataforma PSOC como instrumento para la generación de material didáctico.

Se recomienda, para futuros proyectos derivados de este, mejorar el consumo de recursos, pues si bien es posible el manejo de múltiples actuadores y elementos de comunicación, se deja poco espacio en memoria para el uso de otros bloques de programación en caso de ser necesarios.

#### V. AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, especialmente a las divisiones de Ingeniería en Sistemas Automotrices e Ingeniería en electrónica, así como el departamento de investigación y desarrollo tecnológico por las facilidades brindadas para la realización de este proyecto.

#### VI. REFERENCIAS

- [1] H. R. Domínguez, «Control de coordenadas en XY de un mecanismo de motores a pasos y un microcontrolador,» Jóvenes en la Ciencia, vol. 3, n° 2, pp. 2273-2277, 2017.
- [2] L. Corona, Sensores y actuadores. Aplicaciones con Arduino, México: Patria, 2014.
- [3] S. Jennings, «Motores a pasos,» Informador Técnico, pp. 47-58, 2002.
- [4] J. M. V. Díaz, Microcontroladores PIC. Principios y aplicaciones, México: ASEUC, 2009.
- [5] M. Rashid, Electrónica de Potencia, México: Pearson Educación, 2004.
- [6] M. V. O. Machay, Diseño y construcción de una máquina cnc router de tres grados de libertad utilizando arduino uno y el driver drv8825., Quito: ISTVN, 2020.
- [7] R. Ashby, Designer's guide to the Cypress PSoC, Newnes, 2005.
- [8] A. Kitagawa, «A Study of Programmable System on Chip (PSoC),» Journal of Physics: Conference Serie, vol. 1899, n° 1, 2021.

## VII. BIOGRAFÍA



**Machado Díaz Eduardo.** Nació en la ciudad de Gómez Palacio, Dgo. México el 29 de enero de 1994. Obtuvo el grado de Ingeniero en Electrónica con especialidad en Mecatrónica y automatización en el año de 2017 en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. Egresado de la maestría en Ingeniería Mecatrónica en el año de 2018 del mismo instituto en donde participó en proyectos de investigación enfocados en el control automático.

Actualmente es docente en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo como docente en la división de Sistemas Automotrices en las áreas de electrónica, automatización industrial y sistemas robóticos. Sus líneas de investigación son los sistemas de control automático, la instrumentación y el diseño de interfaces.



**Coto Fuentes Hesner.** Ingeniero en Automática egresado del Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, La Habana, Cuba. Maestro en Diseño de Sistemas Electrónicos por el Centro de Investigaciones en Microelectrónica, La Habana, Cuba, y Doctor en Ciencias en Ingeniería Eléctrica con especialización en Instrumentación Electrónica por el Instituto Tecnológico de la Laguna, Torreón, Coahuila, México.

En su trayectoria como docente - investigador se ha especializado en las áreas de Instrumentación Virtual y desarrollo de sistemas electrónicos aplicados a la medicina, la industria y el medio ambiente

# Diseño de estructura mecánica de robot antropomorfo didáctico de 5 grados de libertad con servomotor e impresión 3D

*E. Machado-Díaz<sup>1</sup>, N. Alvarado-Tovar<sup>1</sup>, G. G. Leyva-Carrillo<sup>1</sup>, J. A. Valenzuela-Romero<sup>1</sup>*

**Resumen**—Los brazos manipuladores son un pilar dentro de los sistemas mecatrónicos, por sus diferentes usos y aplicaciones en diferentes ámbitos. Su uso se ha ido extendiendo por la gran cantidad de estudios que se generan en torno a ellos, por lo que su enseñanza en la educación tecnológica, relacionadas a los sistemas automáticos, es de vital importancia para la generación de competencias entre los alumnos de estas ramas de la ingeniería. Sin embargo, el elevado costo, así como el tamaño limitan a las instituciones educativas para la adquisición y manejo de sistemas de robots.

Partiendo de las necesidades descritas, se diseñó una estructura mecánica para un brazo manipulador antropomorfo de 5 grados de libertad (GDL), configuración encontrada comúnmente en manipuladores industriales, basados en servomotores y tecnología de impresión 3D para la fabricación de sistemas robóticos de un costo reducido, que permita a las instituciones y personas interesadas, adquirir conocimientos básicos dentro del campo de la robótica y que sea adaptable para diversas aplicaciones.

**Palabras claves**—Estructura, Impresión 3D, Manipulador, Robot, Servomotor

**Abstract**—Manipulator arms are a pillar within mechatronic systems, due to their different uses and applications in different fields. Their use has been spreading due to the high degree of studies that are generated around them, so their teaching in technological education, related to automatic systems, is of vital importance for the generation of skills among the students of these engineering branches. However, the high cost, as well as the size limit educational institutions for the acquisition and management of robot systems.

Based on the needs described, a mechanical structure was designed for a 5GDL anthropomorphic manipulator arm (configuration commonly found in industrial manipulators) based on servo motors and 3D printing technology for the manufacture of robotic systems at a reduced cost, which allows institutions and interested people, acquire basic knowledge within the field of robotics and that it is adaptable for various applications.

**Keywords**—3D Printed, Manipulator, Robot, Servomotor, Structure

## I. INTRODUCCIÓN

### A. Conceptos generales de robótica

La robótica es el pilar fundamental de la mecatrónica, siendo ésta el resultado de los estudios de diversas disciplinas como lo son la mecánica, la electrónica y los sistemas programables y puede considerarse como el pilar de la mecatrónica de acuerdo a algunos autores. Esta rama de los sistemas automáticos se ha convertido en un área clave y estrategia para todo país en desarrollo, puede traducirse en sinónimo de modernización y de bienestar en la sociedad por sus diversos beneficios en tareas de alto impacto [1].

Existen diferentes tipos de robots y éstos pueden clasificarse de acuerdo a las tareas que van a realizar y de sus características, cómo lo son: morfología (estructura mecánica), tipos de actuadores, grados de libertad (articulaciones o movimientos ya sean lineales o rotacionales) entre otros.

Los robots industriales, también conocidos como brazos robots o brazos manipuladores, (por analogía con el brazo humano) son el tipo de robots más populares debido a la importancia que ocupan en los procesos de producción [2]. Entre las características más importantes de los brazos manipuladores se encuentran:

- Trabajar sin descanso.
- Realizar tareas repetitivas con gran precisión.
- Hacer tareas imposibles físicamente por un humano (levantar objetos pesados, ubicarse en condiciones no aptas para un humano, etc.)
- Ser reprogramables para diversas tareas.

Las características mencionadas anteriormente hacen que estos sistemas sean imprescindibles en los sistemas de manufactura automatizados, pues permiten incrementar la producción, reducir costos de fabricación, mejorar la calidad de los productos y reducir el riesgo de accidentes en ambientes peligrosos [3]. Sin embargo, también pueden encontrarse manipuladores en otros entornos como el biomédico en donde se han realizado cirugías o tareas de manejo de instrumental de forma remota [4] lo que ha permitido procedimientos de alta complejidad de una forma más sencilla y segura con personas que se encuentran en diferente ubicación geográfica y que pudiesen no contar con el personal calificado en el momento en que fuesen necesarios.

<sup>1</sup>Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, .Av. Tecnológico No. 1555 Sur Periférico Gómez - Lerdo Km. 14.5, Ciudad Lerdo, Dgo. C.P. 35150.  
\*eduardo.md@itslerdo.edu.mx

### B. Aplicación de la robótica en la formación educativa

Siendo la robótica de gran relevancia en la vida actual, es de suma importancia la formación de personal capacitado en esta disciplina, siendo común que su enseñanza no sea exclusiva de niveles superiores, sino que se extienda a niveles básicos y medio superior.

Se pueden tomar como ejemplos estudios del impacto que puede tener la robótica en el proceso de enseñanza – aprendizaje en diferentes asignaturas basadas en proyectos como los que se presentan en [5] y [6], donde se utilizan escenarios educativos con robots *LEGO* y *VEX* para la adquisición de competencias por parte de los alumnos, teniendo resultados satisfactorios en el incremento de interés de los participantes en las áreas de innovación tecnológica e importancia del estudio de ciencias básicas para la aplicación en diferentes entornos.

Al ser un área con múltiples aplicaciones, es posible adaptar contenidos de diferentes asignaturas en el proceso de enseñanza. Por ejemplo, física básica en el análisis de los tipos de movimiento que se generan, la relevancia que tienen los modelados matemáticos en la generación de trayectorias, el uso de sensores y actuadores en niveles más altos de educación, etc. Es por ello que la adquisición de sistemas de robots didácticos o comerciales puede ser una opción viable para las instituciones educativas a diferentes etapas del proceso de aprendizaje de los alumnos.

### C. Problemáticas del uso de sistemas robóticos en entornos educativos.

Si bien el estudio de la robótica es extenso y presenta un amplio espectro de áreas de oportunidad de investigación, el alto costo de los equipos no permite que las instituciones educativas puedan adquirir equipo robótico de forma sencilla, ya sea por falta de recursos económicos o espacio físico suficiente como lo describen diversos autores [7], pues estos equipos suelen tener dimensiones considerables. Sin embargo, es posible adquirir las competencias básicas de brazos manipuladores a partir de prototipos que asemejen a un robot comercial, pues el principio de funcionamiento puede simularse en dispositivos a escala utilizando componentes de menor costo y fácil manejo teniendo conocimientos de electrónica y programación básica.

Derivado de las necesidades descritas, se plantea un diseño de brazo robótico tipo antropomorfo de 5 grados de libertad utilizando servomotores, así como tecnología de impresión en 3D para la fabricación de la estructura mecánica. La realización de este proyecto puede beneficiar a las instituciones de los diversos niveles educativos, pues brinda una alternativa para la adquisición de equipos de brazo robot a un costo menor y con dimensiones reducidas, permitiendo su uso y almacenaje en diferentes entornos.

Una de las principales características que se plantean en la creación de este sistema es el uso de herramientas de software y hardware libre que eviten el pago de licencias a los

interesados en su fabricación, pues cada vez es más común encontrar sistemas con esta filosofía como lo puede ser la comunidad de Arduino. Las ventajas del uso de estas herramientas, aparte del aspecto económico, es la basta información en literatura escrita, así como páginas de internet o material multimedia sobre su uso que generalmente se encuentra de forma gratuita.

## II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

El desarrollo del proyecto se realizó a partir de las cuatro etapas o fases que se presentan en la Figura 1.

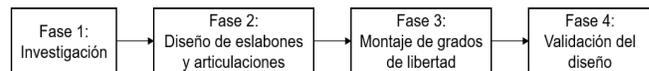


Figura 1. Fases de desarrollo del proyecto (Fuente: Elaboración propia)

### A. Investigación preliminar

El primer paso para el desarrollo del proyecto fue una investigación de los diferentes prototipos que se encuentran en la red documentados y que fueran de filosofía *Open Source*, es decir, de código libre. Esto con la finalidad de que pudieran realizarse modificaciones a los diseños y disminuir los precios de fabricación al evitar el pago de licencias. Es importante mencionar que se buscó referencia en cuanto al diseño estructural, así como que estuviesen fabricados a partir del uso de servomotores.

Entre la bibliografía consultada se tienen los desarrollados en [8], en donde se presenta un robot de 4 grados de libertad, que, si bien no es lo que se está buscando, se utilizó para dar una idea del aspecto estructural del robot pues funciona a base de servomotores. El robot se muestra en la Figura 2.



Figura 2. Robot propuesto por Amin Mohammed (Fuente [8]).

Se puede observar que se utilizaron dos servomotores para la articulación 2, pues es aquella que soporta todo el peso estructural. Esto se debe a que la fabricación está hecha en material metálico, por lo que tiene más peso. Una de las características principales observadas en este robot es que sus piezas son sencillas de fabricar utilizando una impresora, pues son cuadradas en su mayoría lo que permite hacerlo ensamblable y adaptable.

Otra opción es la que se presenta en [9], en este caso si se realiza completamente con impresión 3D, por lo que se asemeja más a lo buscado en este proyecto. El prototipo es el que se ve en la Figura 3.



Figura 3. Robot propuesto por Floris (Fuente [9]).

Se visualiza que la base rotatoria (primer grado de libertad) está en base de engrandes, mientras que el segundo grado, que tiene la carga estructural, tiene como actuadores motores a pasos con una caja de transmisión, permitiendo un movimiento más fluido y con menos esfuerzo mecánico. El *gripper* o herramienta se controla en base a un servomotor modelo *SG90*. Uno de los aspectos a recalcar de este modelo es el uso de una sola pieza en los eslabones cuyo movimiento depende de los soportes unidos a ellos.

Sin embargo, los diseños anteriormente presentados presentan dificultades en su fabricación, pues su montaje es complejo debido los diferentes elementos mecánicos como engranes y soportes rotacionales. Con estos puntos en mente, se procedió a una investigación de prototipos que se encuentra en las páginas de modelos 3D más utilizadas como referencias en personas dedicadas a la impresión en este tipo de tecnologías.

El proyecto que se presenta en [10] y que se muestra en la Figura 4, presenta una propuesta más ligera en cuanto a peso, al tener eslabones huecos y utiliza dos servomotores por eslabón, se puede observar que utiliza dos tipos de servomotores. El primer tipo corresponde a servomotores modelo *MG995* para las articulaciones que cargan más peso, mientras que aquellas que tienen poco esfuerzo mecánico contiene servomotores más básicos como lo son los servomotores modelo *SG90*.



Figura 4. Robot propuesto por Kapllanaj. (Fuente: [10])

Como última referencia, y siendo ésta la más utilizada en el desarrollo, fue la que se propone en [11]. Este utiliza, al igual que el mencionado anteriormente, servomotores de 15kg fuerza para las articulaciones con más peso y de menor torque para los últimos grados de libertad. El robot puede observarse en la Figura 5.



Figura 5. Robot propuesto por Dejan (Fuente: [11]).

A partir de la información recabada, se optó por que el diseño tuviera, en general, las siguientes características.

- Tamaño reducido, es decir, menos de 20cm de diámetro de la base.
- Base rotatoria con orificios de fijación en mesa con la finalidad de que el robot no tuviera problemas al moverse.
- Fabricado a partir de eslabones únicos con la finalidad de reducir el número de piezas a fabricar y con menor complejidad en el montaje.
- Herramientas intercambiables de acuerdo a las necesidades presentadas.

*B. Tipos de actuadores utilizados en el diseño.*

Para el diseño del brazo robótico se utilizó el software Fusion 360 de Autocad® con licencia de estudiante por lo que puede ser fácilmente modificado si se solicitan licencias de este tipo por parte de los interesados en su fabricación.

El primer punto fue establecer los dos tipos de actuadores que realizarán los movimientos del robot. Para las articulaciones con mayor esfuerzo mecánico se utilizaron servomotores modelo *MG996* y que cuentan con las características que se ven en la TABLA I.

TABLA I. CARACTERÍSTICAS SERVOMOTOR MG996

Modelo	Tipo de engranes	Esfuerzo
MG996	Metálico	15kg cm.

El uso de este tipo de actuador, al tener engranaje metálico, permite que se tenga un mejor soporte estructural, así como un mayor tiempo de vida, pues el desgaste en las partes móviles que se encuentran internamente en el motor es menor.

Se definió su uso ya que es de bajo costo y muy común en la realización de prácticas de electrónica básica. Así mismo, existen modelos con los cuales puede ser reemplazados en caso de no contar con ellos o que éstos se dañen.

El segundo modelo de servomotor fue el SG90 que se muestra en la TABLA . Este tipo de servomotor se utilizó solamente en el grado rotacional de la herramienta y como el actuador que permitirá abrir y cerrar las pinzas.

TABLA II. CARACTERÍSTICAS SERVMOTOR SG90.

Modelo	Tipo de engranes	Esfuerzo
SG90	Plástico	1.8kg cm.

### C. Diseño de la estructura de la base

Con los actuadores definidos, se procedió con el diseño de la base fija que corresponde al soporte del primer grado de libertad de tipo rotacional. Para ello, se definió que el diámetro fuese de 120mm. El actuador estará fijado mediante tornillos M3 por una estructura interna diseñada de tal forma que el disco que genera el movimiento esté concéntrico con todos los elementos. La base diseñada se muestra en la Figura 6.

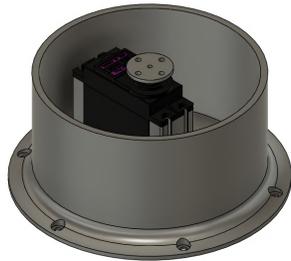


Figura 6. Diseño de base fija.  
Fuente. Elaboración propia.

Entorno de desarrollo: Fusion 360 de Autodesk

### D. Diseño de base giratoria (Primer grado de libertad)

Para generar el movimiento rotacional, se diseñó una plataforma que irá montada sobre el disco metálico del servomotor colocado en la base fija. El actuador, al estar inmóvil, permitirá el giro de la plataforma giratoria y de la estructura general del robot generando el primer grado de libertad. En la Figura 7, se puede observar la adaptación para el disco del servomotor utilizando un orificio del diámetro del mismo (20mm).

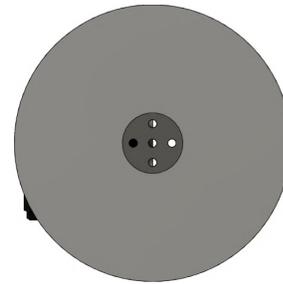


Figura 7. Base giratoria (primer grado de libertad)  
Fuente. Elaboración propia.

Entorno de desarrollo: Fusion 360 de Autodesk

### E. Segundo grado de libertad.

El segundo grado de libertad se encuentra montado sobre la base giratoria, pues es la encargada de mover toda la estructura del robot. Se colocó el servo en una inclinación de 45° con respecto al eje horizontal de la base, con la finalidad de que éste tuviera un mayor rango de movimiento angular con el siguiente eslabón, como se observa en la Figura 8. Para adaptar el servomotor se diseñó un orificio con las dimensiones dadas por el fabricante del mismo, dando una tolerancia de 1mm con la finalidad de evitar fallos.

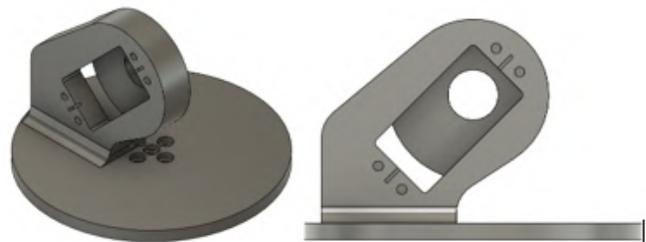


Figura 8. Estructura para el segundo grado de libertad.  
Fuente. Elaboración propia.

Entorno de desarrollo: Fusion 360 de Autodesk

Es importante tener en cuenta que, debido al diseño propio del servomotor, es necesario tener consideraciones al dejar espacios para que todos los elementos plásticos puedan ajustarse correctamente.

### F. Diseño del eslabón principal.

Para el eslabón principal del robot se diseñó una sola pieza (Figura 9) en la cual irán montados los discos de los servomotores correspondientes. Esto con la finalidad de reducir el número de piezas a fabricar y que la estructura fuera estéticamente más atractiva, por lo que no se colocaron los actuadores dentro de la misma. También existen empalmes para limitar el movimiento de los actuadores facilitar la calibración del robot. Se tuvo en consideración todo el rango del movimiento para que estos empalmes no influyan en el funcionamiento final.



Figura 9. Diseño de eslabón principal.  
Fuente. Elaboración propia.  
Entorno de desarrollo: Fusion 360 de Autodesk

### G. Tercer y cuarto grado de libertad.

Con el eslabón principal diseñado, se desarrolló una segunda estructura en la cual se encuentran fijados los motores correspondientes al tercer y cuarto grado de libertad como se ven en la Figura 10.



Figura 10. Eslabón para tercer y cuarto grado de libertad.  
Fuente. Elaboración propia.  
Entorno de desarrollo: Fusion 360 de Autodesk

Al igual que el eslabón anterior, se colocaron empalmes para mejorar el aspecto estético y limitar los movimientos de los grados de libertad, el diseño se presenta en la Figura 11.



Figura 11. Vista posterior del eslabón.  
Fuente. Elaboración propia.  
Entorno de desarrollo: Fusion 360 de Autodesk

### H. Quinto grado de libertad

Por último, se hizo el diseño del quinto grado de libertad mediante una estructura que estará fijada al servomotor del eslabón anterior y que se ve en la Figura 12. Se colocó una ranura en la que se encontrará montado el servomotor SG90 que permitirá el movimiento de la herramienta que se vaya a colocar.



Figura 12. Estructura para quinto grado de libertad Fuente. Elaboración propia.

## III. RESULTADOS

### A. Montaje de los grados de libertad.

Con todas las piezas diseñadas se procedió a realizar el ensamble de los diferentes elementos que componen el brazo robótico para verificar su montaje. En la Figura 13, se muestran los elementos que corresponden a la base giratoria del robot, el movimiento se genera por el servomotor que se encuentra dentro de la base fija, siendo necesario colocar los 6 tornillos de la base inferior para evitar que el robot caiga sobre su propio peso.



Figura 13. Montaje del primer grado de libertad.  
Fuente. Elaboración propia.  
Entorno de desarrollo: Fusion 360 de Autodesk

En la Figura 14, se presenta el ensamble del eslabón principal ensamblado en conjunto con la base giratoria generando el segundo grado de libertad. Es importante calibrar el movimiento de los servomotores para que la estructura no se salga de los rangos de operación fijados por los empalmes colocados.



Figura 14. Montaje del segundo grado de libertad.  
Fuente. Elaboración propia.  
Entorno de desarrollo: Fusion 360 de Autodesk

Enseguida, se ensambla el tercer y cuarto grado de libertad que se encuentran en el segundo eslabón como lo muestra la

Figura 15 , Esta pieza es la que soporta el mayor peso, pues contiene dos actuadores.



Figura 15. Montaje del tercer y cuarto grado de libertad.  
Fuente. Elaboración propia.  
Entorno de desarrollo: Fusion 360 de Autodesk

Una vez que los eslabones sean ensamblados, se coloca la estructura en la cual se encuentra el quinto grado de libertad y que irá conectada con la herramienta que se desee colocar. La pieza se ve en la Figura 16. El servomotor SG90 se monta a través de la ranura, dentro de ella se encuentran los orificios para los tornillos correspondientes.



Figura 16. Montaje del quinto grado de libertad.  
Fuente. Elaboración propia.  
Entorno de desarrollo: Fusion 360 de Autodesk

### B. Montaje final del robot

Por último, se valida el montaje final mediante el montaje con y sin servomotores de la Figura 17, para verificar que se encuentren todas las ranuras necesarias para su armado. Es importante tener en cuenta y revisar que las tolerancias y los orificios tengan las dimensiones correctas pues si no, al momento de la fabricación (ya sea por impresión 3D o maquinado CNC) tener un margen de error.



Figura 17. Montaje final del robot.  
Fuente. Elaboración propia.  
Entorno de desarrollo: Fusion 360 de Autodesk

Uno de los aspectos más importantes en el diseño de esta estructura, y que corresponde a una mejora en comparación con las propuestas utilizadas como referencia y que se mencionan anteriormente, es colocar todos los movimientos sobre las mismas referencias en el plano como se muestra en la Figura 18. Es decir, que todos los movimientos rotacionales se encuentren alineados vertical y horizontalmente, teniendo la misma referencia matemática.

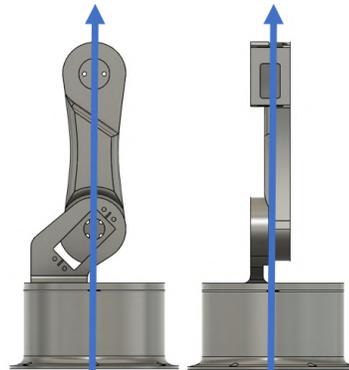


Figura 18. Referencias de giro.  
Fuente. Elaboración propia.

Entorno de desarrollo: Fusion 360 de Autodesk

Esta mejora permite facilitar los cálculos necesarios para el estudio de la cinemática directa e inversa del robot, lo que lo vuelve una herramienta al no tener que considerar compensaciones en la ubicación de los sistemas de coordenadas.

## IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

La estructura mecánica diseñada permite realizar prácticas didácticas relacionadas al estudio de los sistemas robóticos. De igual forma, representa una mejora significativa a los diseños existentes en la red por la facilidad de fabricación por diversos métodos (aunque está enfocada en tecnología de impresión 3D) y por tener la misma referencia lineal en los sistemas de coordenadas facilitando su estudio matemático para futuras aplicaciones.

El diseño se plantea para que cualquier persona pueda crear una herramienta acorde a las necesidades que se tengan, por lo que lo vuelve una estructura bastante versátil para diferentes escenarios en los que pueda implementarse.

Si bien el diseño es funcional y puede fabricarse de forma sencilla, se recomienda colocar amortiguadores en ciertas partes del diseño para mejorar el movimiento, así como el uso de mejores actuadores si se tiene el presupuesto necesario.

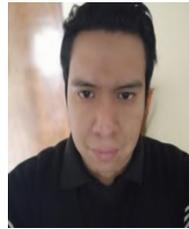
## V. AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, especialmente a las divisiones de Ingeniería en Sistemas Automotrices e Ingeniería en electrónica, así como el departamento de investigación y desarrollo tecnológico por las facilidades brindadas para la realización de este proyecto.

## VI. REFERENCIAS

- [1] A. O. Baturone, *Robótica*, Marcombo, 2005.
- [2] F. R. Cortés, *Arduino, Aplicaciones en robótica, mecatrónica e ingenierías*, Mexico: Alfaomega, 2015.
- [3] F. R. Cortés, *Robótica, Control de robots manipuladores*, Mexico: Alfaomega, 2011.
- [4] M. Declan y B. Challacombe, «Equipamiento y tecnología en robótica,» *Archivos Españoles de Urología*, 2007.
- [5] N. Aliane, «Una experiencia de aprendizaje basado en proyecto en una asignatura de robótica,» *Departamento de Arquitectura de computadoras y Automática*, 2006.
- [6] I. Moreno y L. Muñoz, «La robótica educativa, una herramienta para la enseñanza-aprendizaje de las ciencias y las tecnologías,» *Teoría de la Educación. Educación y Cultura en la Sociedad de la Información*, pp. 74-90, 2012.
- [7] B. Sánchez y F. Ángela, «La robótica como un recurso para facilitar el aprendizaje y desarrollo de competencias generales,» *Teoría de la Educación. Educación y Cultura en la Sociedad de la Información*, pp. 120-136, 2012.
- [8] M. Amin, «Kinematics Modeling of a 4-DOF Robotic Arm,» *International Conference on Control, Automation and Robotics*, p. 87, 2015.
- [9] F. Hemmelder, «3D Printed articulated arm robot,» Politehnica University, 2018.
- [10] E. Kapllanaj, «Grabcad,» 11 2018. [En línea]. Available: <https://grabcad.com/library/3d-printed-robotic-arm-with-gripper-1>. [Último acceso: 15 01 2022].
- [11] Dejan, «How To Mechatronics,» 30 Diciembre 2019. [En línea]. Available: <https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/diy-arduino-robot-arm-with-smartphone-control>. [Último acceso: 15 Febrero 2022].
- [12] R. Siemasz, «3D printed robotic arm with elements of artificial intelligence,» *Procedia Computer Science*, pp. 3741-3750, 2020.

## VII. BIOGRAFÍA



**Machado Díaz Eduardo.** Nació en la ciudad de Gómez Palacio, Dgo. México el 29 de enero de 1994. Obtuvo el grado de Ingeniero en Electrónica con especialidad en Mecatrónica y automatización en el año de 2017 en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. Egresado de la maestría en Ingeniería Mecatrónica en el año de 2018 del mismo instituto en donde participó en proyectos de investigación enfocados en el control automático.

Actualmente es docente en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo como docente en la división de Sistemas Automotrices en las áreas de electrónica, automatización industrial y sistemas robóticos. Sus líneas de investigación son los sistemas de control automático, la instrumentación y el diseño de interfaces.



**Alvarado Tovar Noé.** Nació en la Ciudad de Torreón, Coah. México el 11 de julio de 1978. Egresado del Instituto Tecnológico de la Laguna de la carrera de Ingeniería Electrónica en el año 2000. Obtuvo el grado de Maestría en Ciencias de la Ingeniería Eléctrica en el Centro de Graduados del Instituto Tecnológico de la Laguna, ubicado en la ciudad de Torreón, Coah. México, en el año de 2006, en la especialidad en Control de Robots Manipuladores. Actualmente está en la etapa final

del su estudio de doctorado en la Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.

Actualmente labora en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, desempeñado el puesto de Investigador-Docente, en el Departamento de Investigación y Desarrollo Tecnológico y en la División de Ingeniería Electrónica respectivamente, el instituto se encuentra ubicado en la ciudad de Lerdo, Dgo. México. Cuenta con experiencia profesional en el ramo de la automatización industrial, robótica, control electrónico. Sus actuales líneas de investigación incluyen: Mecatrónica, robótica, automatización industrial, control de movimiento, comunicaciones industriales y electrónica de control y de potencia.



**Leyva Carrillo Guillermo Gerardo.** Nació en Gómez Palacio, Dgo. El día 10 de agosto de 1999. Actualmente cursando la carrera en Ingeniería en Sistemas Automotrices en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. El estudiante ha trabajado en proyectos de diseño mecánico.



**Valenzuela Romero Jesús Adolfo.** Nació en Gómez Palacio, Dgo. El día 13 de septiembre de 1998. Actualmente cursando la carrera ingeniería en sistemas automotrices en instituto tecnológico superior de lerdo. Ha trabajado en proyectos de diseño mecánico, y capacitaciones internas de robot tipo Lego

# Causas que originan la rotación de personal dentro de las empresas de manufactura en San Pedro, Coahuila

A. A Serrano-Rivas<sup>1</sup>, R. E. Vielma-Castillo<sup>1</sup>, E. Aguilar-Favela<sup>1</sup>

**Resumen**— Este estudio se realizó como un diagnóstico para identificar las causas de rotación de personal en una empresa de manufactura ubicada en San Pedro de las Colonias, Coah. permitió revisar el estado actual de los trabajadores en este caso y proponer una estrategia productiva que evite la constante rotación del personal. Se utilizó un estudio de caso con enfoque mixto para el diseño de la muestra representativa de n=30, aplicada a 30 sujetos elegidos al azar. El cuestionario fue validado con una cifra de 0.934 de consistencia para los ítems contestados. Los entrevistados respondieron que abandonan el empleo por circunstancias personales y a manera voluntaria, influido por la percepción de presión laboral y el bajo sueldo recibido. El 84% de los trabajadores renuncia, el 37% permanece laborando solamente de 6 meses a 1 año. Por tanto, es importante continuar con una segunda fase de investigación que revise a mayor profundidad el contexto actual de las demás empresas del sector productivo en el municipio.

**Palabras claves**—empresa, manufactura, personal, rotación

**Abstract**— This study was carried out as a diagnosis to identify the causes of personnel turnover in a manufacturing company located in San Pedro de las Colonias, which allowed reviewing the current status of the workers in this case and proposing a productive strategy that avoids the constant Staff turnover. A case study was carried out with a mixed approach for the design of the representative sample of n=30, applied to 30 randomly chosen subjects. The questionnaire was validated with a consistency figure of 0.934 for the contested items. The interviewees responded that they left the job due to personal circumstances and voluntarily, influenced by the perception of work pressure and the low salary received. 84% of workers resign, 37% remain working only from 6 months to 1 year. Therefore, it is important to continue with a second phase of research that reviews in greater depth the current context of the other companies in the productive sector in the municipality.

**Keywords**—company, manufacturing, staff, turnover

## I. INTRODUCCIÓN

La industria maquiladora ha sido un factor relevante para el desarrollo económico de México, sobre todo de la frontera norte, donde se han creado mayor número de maquiladoras, empleos y exportaciones. Lo anterior ha contribuido al crecimiento de la economía del país y se ha convertido en uno de sus motores.

El trabajador operativo de una empresa es, sin duda alguna, una pieza fundamental en ella, por lo que es importante conocer sus características, pues es a través de la estabilidad y permanencia del recurso humano cualificado como se logran los objetivos de toda empresa.

Existe un problema de interés por estudiar en el municipio de San Pedro de las Colonias Coahuila, para este caso las empresas maquiladoras, representan el 9.54% de la actividad económica con características de manufactura automotriz, textil, fundición que son parte esencial en la actividad de los habitantes que se desempeñan en esta fuente de empleo. 101,041 habitantes registrados hasta el 2020 conforman parte del registro poblacional. El 60.7% de la población se encuentra económicamente activa.

En este trabajo se investigan las causas de la rotación del personal analizando el comportamiento de los principales autores involucrados en el fenómeno de rotación: los trabajadores y las empresas maquiladoras. Como lo plantea Verduzco [1] en su análisis sobre las causas de rotación en las empresas de Tijuana, es importante conocer qué está implicado a profundidad para que un trabajador sampetrino deserte laboralmente en una maquiladora.

Chiavenato [2] menciona que la rotación de personal es la cantidad de personas que salen de la empresa de forma voluntaria e involuntaria, por causas externas o internas en un periodo de tiempo establecido. Exponer el gran impacto que tiene el ambiente laboral en los trabajadores de las empresas de manufactura como lo menciona el autor Flores [9] que refiere que cuando el ambiente laboral donde el trabajador desempeña su trabajo no es el más adecuado hace que éste se sienta insatisfecho y en casos extremos conduce a la rotación laboral. Este diagnóstico permitió indagar con mayor profundidad sobre las causas por las que los empleados de las empresas de manufactura de San Pedro abandonan su trabajo y generan inestabilidad personal aunado también a un desequilibrio de las empresas como lo menciona el autor [3] El fenómeno de la rotación de personal frena el desarrollo y eficiencia de la organización, ya que, además de incurrir en gastos adicionales como gastos de reclutamiento, de selección, de contratación, de inducción, de capacitación y de

<sup>1</sup> Instituto Tecnológico Superior de San Pedro de las Colonias, Ingeniería en Gestión Empresarial, Calzada del Tecnológico #53 Col El Tecnológico,

C. P. 27800, San Pedro, Coahuila, México.  
\*anahi.serrano19@gestion.tecsanpedro.edu.mx.

retiro, la productividad de las empresas se ven afectadas de manera significativa.

De acuerdo con Morales [4] hay dos tipos de rotación de personal: 1) la rotación externa, que es el término con el que se describe al personal que entra y sale de la empresa. Algunas de las situaciones por las que pudiera hacerlo son: enfermedad, oportunidades de empleo, situaciones familiares, cambio de residencia, despido, renuncia, entre otras, y 2) la rotación interna, que se refiere a la cantidad de empleados que cambian de puesto dentro de la misma empresa, porque han recibido algún nombramiento o cargo, ya sea por incentivos o escalafón.

Actualmente son 5 empresas dedicadas al giro de manufactura asentadas en el municipio, mediante un diagnóstico y el análisis en dos de las empresas locales que se encuentran establecidas en la periferia, hay sujetos que son contratados como empleados directos (administrativos) e indirectos (operarios) En dicho análisis se revisó el contexto que presentan ambas instancias económicas para robustecer este objeto de estudio. Para el caso A los empleados operarios registrados son de 2050 tienen una escolaridad mínima de primaria, reciben una percepción de 1480 pesos semanales, incluyendo bono de producción, asistencia y puntualidad. En el caso B la empresa maquiladora cuenta con 910 operarios en piso. Contrata personas con un sueldo base de 1200 pesos que se encuentra sujeto a evaluación bimestral por niveles que se ajustan en una revisión total acumulada a los 10 meses para ser susceptible a incremento significativo salarial. La escolaridad mínima requerida es de primaria y se otorgan mejores posibilidades a sujetos con experiencia y dominio en ensamble y costura en niveles de habilidad cuyo sueldo varía y son distribuidos en categorías A-B-C y certificación en el uso de maquinaria y equipos de producción.

La rotación de personal es una situación palpable en las empresas de San Pedro Coah. es por eso que el presente estudio permite proponer una estrategia productiva que ayude a eficientar la mejora en la permanencia de los trabajadores y evitar la constante rotación del personal dentro de las empresas manufactureras.

## II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

Canales [5] establece que los trabajadores jóvenes, sin hijos y de baja escolaridad son quienes tienen mayor propensión a rotar. Es decir, aquellos trabajadores que están en el inicio de su ciclo de vida activa, consecuencia significativa de revisar en la circunstancia contextual de la comunidad sampequina.

Generalmente detrás de una excesiva rotación laboral se

oculta la desmotivación, el descontento, la insatisfacción laboral y esto a su vez está influenciado por un conjunto de aspectos vinculados en muchos casos a una insuficiente gestión de los Recursos Humanos.

Mediante el presente estudio se identifican las principales causas por las cuales las personas de San Pedro de las Colonias Coah. abandonan sus empleos en las empresas de manufactura que se ubican en dicha ciudad. Mediante un estudio de caso se aplicó un instrumento a través del uso de un cuestionario de 10 preguntas de opción múltiple a un número de encuestados  $n=30$  elegidos al azar. El instrumento fue validado con una cifra de 0.934 de consistencia en el alfa de Cronbach para los ítems contestados. La encuesta se enfocó principalmente en tratar de indagar acerca de los motivos por los cuales las personas encuestadas dejaron de laborar en una empresa de manufactura y a su vez conocer el lapso de tiempo que permanecieron laborando dentro de la misma. Esta investigación abre una segunda fase para el seguimiento a los demás estratos económicos que se ofrecen en las diversas empresas que generan actividad laboral en el municipio.

Se plantea una segunda fase en el seguimiento de la investigación donde se espera tener un reporte técnico de las variables que inciden en el fenómeno de rotación en la localidad y un instrumento que permita identificar estas variables en el personal operativo de esta industria mediante el uso de entrevistas semiestructuradas y grupos focales con personal operativo y con gerentes de recursos humanos de este sector manufacturero para el contexto de San Pedro de las Colonias Coah.

## III. RESULTADOS

Los datos que a continuación se presentan son los resultados que se obtuvieron gracias a la encuesta aplicada y que permitirán el seguimiento a una segunda fase en el desarrollo de la investigación, para esto se integraron los resultados en porcentajes.

1. El 66.7% las personas encuestadas han trabajado en una empresa de manufactura, esto dio la pauta para seguir con la investigación ya que se cayó en cuenta que más de la mitad de los encuestados su principal fuente de empleo es una empresa de manufactura. Como lo muestra la figura 1.

2. ¿Has trabajado en una empresa de manufactura?

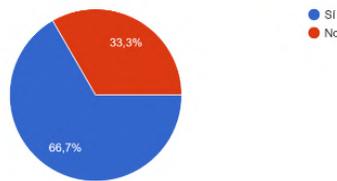


Figura 1. Trabajo en empresa de manufactura.

- Los entrevistados respondieron que abandonaron el empleo por circunstancias personales y el 88.9% deserta del empleo a manera voluntaria, como se observa en la gráfica de la figura 2. Los encuestados son empleados jóvenes es decir que no rebasan los 40 años de edad.

3. Si tu respuesta es "Sí," ¿Tu renuncia fue voluntaria o involuntaria?

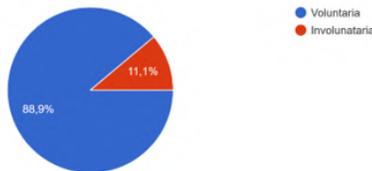


Figura 2. Voluntaria e involuntaria.

- En la figura 3 se muestran principales causas de rotación laboral. Por lo que se observó que la percepción de presión laboral es una de las causas más fuerte por la que los trabajadores abandonan su empleo. Ya que el 51.7% respondieron que el ambiente de las empresas de manufactura es bajo mucha presión. Además del bajo sueldo recibido.

9. ¿Por qué causa voluntaria renunciarías a una empresa?

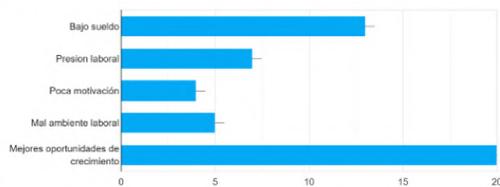


Figura 3. Renuncia voluntaria.

- El 41% afirmaron que dejaron su trabajo para ir en busca de mejores oportunidades de crecimiento. Como se muestra en la grafica de la figura 4.

4. Si tu respuesta fue "Voluntaria", ¿Cuál fue la causa de tu renuncia?

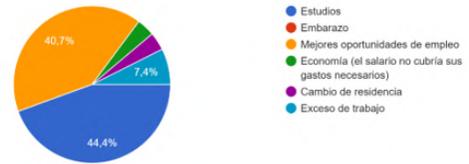


Figura 4. Causas voluntarias.

- A su vez el 45% de los encuestados aceptaron que abandonaron su trabajo para poder continuar con sus estudios y mejorar sus condiciones de sueldo.
- Solamente el 37% de las personas permanecen laborando de 6 meses a 1 año. Como lo muestra la figura 5.

5. ¿Cuánto tiempo permaneciste dentro de la empresa?

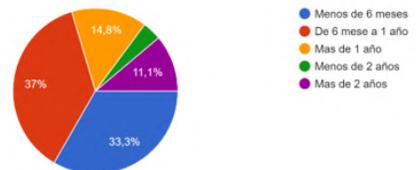


Figura 5. Permanencia dentro de la empresa.

#### IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Es pertinente elaborar estrategias que permitan comprender el ausentismo y las implicaciones de este sobre la rotación de personal manufacturero, tanto en factores externos como internos a la empresa. En este último caso será necesario evaluar la motivación del trabajador en su posición laboral, en donde el empleado considere el salario percibido en función del nivel de responsabilidad y esfuerzo aplicado McGrath y Bates [6]

Los resultados de la presente investigación muestran 4 principales causas de rotación de personal: 1. Los bajos salarios, 2. Un ambiente laboral bajo mucha presión, 3. La necesidad de crecimiento personal para poder continuar con los estudios, 4. Ir en busca de mejores oportunidades de crecimiento. Una población laboralmente activa en edad joven que se dedica a proporcionar derrama económica en su hogar.

Las investigaciones que se han realizado en México en cuanto a los factores que inciden en la rotación de personal en las maquiladoras y temas relacionados son numerosas en cuanto

al contenido que ofrecen, sin embargo, los resultados obtenidos en las mismas no son utilizados para contrarrestar las problemáticas en las organizaciones.

Empresarialmente, Millán [7] señala cuatro principales aspectos a tratar para disminuir la rotación de personal: I) definir la valuación de puestos para determinar el sueldo adecuado; II) aplicar la calificación de méritos para poder evaluar el desempeño del trabajador y la influencia en su entorno; III) transparentar la dinámica de promociones y descensos; y IV) fomentar un ambiente de cordialidad y armonía en la organización con la intención de incrementar la satisfacción laboral del personal.

Este estudio manifiesta que existen muchas áreas de oportunidad dentro de las empresas de manufactura, que hay áreas de oportunidad por esclarecer y mejorar en condiciones de permanencia, para poder brindar a los trabajadores un mejor empleo con mejores condiciones laborales, mayor motivación y mejores salarios todo esto para que no haya la necesidad de abandonar la fuente principal de empleo y establezcan una continuidad que permita un mejor estado de bienestar entre los implicados.

#### V. AGRADECIMIENTOS

Se agradece las facilidades generadas al Instituto, los docentes del Tecnológico de San Pedro quienes fueron los guías para la elaboración de esta investigación, además de las personas que colaboraron de forma significativa al realizarles el cuestionario el cual fue la herramienta principal para la investigación.

#### VII. REFERENCIAS

- [1] Aguilar, I. (2007). Frontera norte de México: agenda de desarrollo e integración económica. Reflexiones sobre el noreste de México-Texas, Revista Mexicana de Política Exterior, No. 81, pp. 125-155. [http://www.sre.gob.mx/revista\\_digital/index.php/numero-81](http://www.sre.gob.mx/revista_digital/index.php/numero-81)
- [2] Cabrera, A., Ledezma, M. y Rivera, N. (2011). El impacto de la Rotación de Personal en las empresas constructoras del estado de Nuevo León, Contexto, vol. 4, no. 1, pp. 83-91. <http://contexto.uanl.mx/index.php/contexto/issue/archive>
- [3] Carabarin, M. A. (2007). Exportaciones, diversificación y crecimiento económico en México: Un análisis de corrección de errores para el periodo post-liberalización (tesis de licenciatura), Universidad de las Américas Puebla.
- [4] Camberos, M. y Bracamontes, J. (2015). Las crisis económicas y sus efectos en el mercado de trabajo, en la desigualdad y en la pobreza de México, Contaduría y Administración, vol. 60, no. S2, pp. 219-249. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cya.2015.05.003>
- [5] Canales, A. "Estabilidad laboral y rotación de personal en la industria maquiladora", El Colef, Tijuana, México, 1993 (mimeo). "Empleo femenino y rotación de personal en la industria maquiladora de exportación", El Colef, Tijuana, México, 1992 (mimeo).

- [6] Chiavenato, I. (2009). Administración de Recursos Humanos/El capital humano de las organizaciones. México: Mc Graw Hill
- [7] Contreras, I. M. (2005). Costo de rotación de recursos humanos como instrumento de control gerencial. IX Congreso Internacional de Costos, 1-14.
- [8] Encina, G. B. (2003). Rotación de personal. Administración laboral Agrícola: Cultivando la productividad del personal, 223-230.
- [9] Flores, R. J. (marzo de 2008). <http://spentamexico.org>. Obtenido de [http://spentamexico.org/v3-n1/3\(1\)%2065-99.pdf](http://spentamexico.org/v3-n1/3(1)%2065-99.pdf)
- [10] Flores, R. (2008), "Factores que originan la rotación de personal en las empresas mexicanas," International Journal of Good Conscience, vol. 3(1), p. 65-99.
- [11] García, G. (01 de marzo de 2021). [www.revistaneo.com](http://www.revistaneo.com). Obtenido de [www.revistaneo.com](http://www.revistaneo.com)
- [12] Guadalupe, L. Z. (abril de 2010). [www.acacia.org.mx](http://www.acacia.org.mx). Obtenido de <https://www.acacia.org.mx/busqueda/pdf/C12P29C.pdf>
- [13] McGrath, J. y Bates, B. (2014). El pequeño libro de las grandes teorías del management, México: Trillas.
- [14] Millán-Rosas, G. J. (2006). Rotación de personal (tesis de licenciatura), Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Iztapalapa. <http://tesiuami.izt.uam.mx/uam/aspuam/presentatesis.php?recno=13478&ocs=UAMI13478.pdf>
- [15] Morales, J. (2011), "Evaluación de los factores que determinan la rotación voluntaria de personal directo en empresas maquiladoras de Tijuana, B.C. México, 1999-2009", Tesis Doctoral, México, UABC.
- [16] Moreno, L. R., López, V. G., & Marín, M. E. (2015), "Comportamiento de la tasa de rotación laboral en la industria maquiladora en Mexicali, Baja California, 2009-2013", Revista Global de Negocios, vol. 3(4), p. 11-26.
- [17] Verduzco, G. F. (1998). La rotación de trabajadores en las maquiladoras, con especial atención en la experiencia en Tijuana. *Frontera Norte*.

#### VIII. BIOGRAFÍA



**Serrano Rivas Anahí Alejandra** nació el 19 de marzo del 2001 en San Pedro de las Colonias Coahuila, México. Egresada de CONALEP 255 de la especialidad de Técnico en Informática. Actualmente estudia en el Instituto Tecnológico Superior de San Pedro en la carrera de Ingeniería en Gestión Empresarial cursando el 6to semestre. Su área de interés es la gestión del capital humano.



**Vielma Castillo Rosa Elena.** Torreón Coahuila, 30 de agosto 1984. Licenciatura en Comunicación. Maestría en Procesos Educativos 2008. Universidad Iberoamericana. Doctorado en Investigación de Procesos Sociales 2016. Universidad Iberoamericana Torreón, Coahuila. México. Actualmente labora como maestra de tiempo completo en el Instituto Tecnológico Superior de San Pedro de las Colonias, en las carreras de Ingeniería en Gestión Empresarial e

Ingeniería Industrial. Cuenta con experiencia en atención y capacitación de grupos. Colaboradora en la línea de Investigación Educativa con resultados publicados en revistas por distintos congresos de relevancia nacional e internacional. ha sido beneficiada dos veces por el programa FONCYT-COECYT 2020-2021.



**Aguilar Favela Edna Carmen.** San Pedro de las Colonias Coahuila, 23 de septiembre de 1987. Licenciatura en Administración. Maestría en Administración y Alta Dirección Universidad Autónoma de Coahuila. Trabaja actualmente como docente en Ingeniería en Gestión Empresarial en el Instituto Tecnológico Superior de San Pedro de las Colonias. Asesora en concurso de Ciencias Económico Administrativas, así como colaboradora y responsable de acreditación de la

carrera. Colaboradora en el programa FONCYT- COECYT 2020-2021.

# Integración de estaciones KNARIO con un sistema de información geográfico para el monitoreo de la calidad del aire en la zona metropolitana de La Laguna

H. Coto-Fuentes<sup>1</sup>, F. Valdés-Perezgasga<sup>2</sup>, K.V Guevara-Amatón<sup>2</sup>, K. Limones-Ríos<sup>2</sup>, C.I Calderón-Ibarra<sup>1</sup>

**Resumen**—La mala calidad del aire es un riesgo invisible para las ciudades y el medio ambiente. Para disminuir los niveles de contaminación en el aire es preciso primero tener mediciones, de preferencia en tiempo real. Una vez medida la contaminación se pueden diseñar acciones de políticas públicas que ayuden a reducir dichos valores, actualmente en ascenso a nivel mundial.

Principalmente en zonas urbanas, el aire contiene partículas, gases y agentes biológicos nocivos. La utilización de las estaciones KNARIO, integradas a un Sistema de Información Geográfico y un diseño de rutas ciudadanas, permite un mapeo dinámico de los contaminantes criterio, facilitando la recolección, gestión y análisis de los datos recopilados en la zona metropolitana de la Laguna. La información obtenida es publicada haciendo uso de las APIs de Google, permitiendo su consulta desde cualquier navegador WEB.

**Palabras claves**— calidad del aire sistema de información geográfica,

**Abstract**—Bad air quality is often an invisible risk for the health of the population and for the environment. To improve air quality in urban areas precise and abundant measurements are needed, in real time if possible. Measurements are a prerequisite for the design of adequate public policy actions regarding air quality.

In urban areas, the air we breathe contains particles, gases and harmful biological agents. The use of KNARIO air-quality stations, integrated to a geographic information system (GIS), in a specially designed set of routes and points allows for the dynamic mapping of pollutants. Information thus collected will be published using Google's APIs allowing for its display using any web navigator.

**Keywords**— air quality, geographic information system

## I. INTRODUCCIÓN

La mala calidad del aire es un riesgo grande para la salud [1][2]. Para disminuir los niveles de contaminación del aire es preciso primero tener mediciones, de preferencia en tiempo real. Una vez medida la contaminación, se pueden diseñar acciones de política pública que ayuden a reducir el número de crisis cardiorrespiratorias, accidentes

cerebrovasculares, cánceres de pulmón y patologías respiratorias crónicas y agudas, como el asma [3].

En la actualidad pocas zonas urbanas de México cuentan con sistemas de monitoreo efectivos que comuniquen a la población la manera de conducir sus vidas ante eventos de contaminación. La mayoría de los sistemas de medición de la calidad del aire (SMCAs) que existen, se encuentran dispersas en 30 de las entidades federativas (Quintana Roo y Baja California Sur no tienen), y son de tipo estacionaria, por lo que a pesar de encontrarse integradas al Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (SINAICA), la información que se obtiene de ellas es insuficiente, o no muestra una perspectiva más dinámica y abarcadora de la situación de los contaminantes en el aire [1][4].

Principalmente en zonas urbanas, el aire contiene contaminantes en forma de partículas, gases o agentes biológicos, muchos de ellos con potenciales efectos nocivos para la salud. Como resultado de una mayor conciencia de la importancia de la calidad del aire, los gobiernos y la presión social han obligado a la industria y a los fabricantes de automóviles a tomar medidas para disminuir la carga de contaminantes emitidos a la atmósfera. Sin embargo, en países subdesarrollados o en vías de desarrollo, estas medidas son más flexibles, por lo que la sobrepoblación, junto a otros factores, han incidido para que la disminución de la calidad del aire en sus ciudades vaya en ascenso.

### A. Antecedentes

Desde inicios de 1950 se observó en América Latina y el Caribe un incremento de la preocupación por la calidad del aire. En 1965 la Organización Panamericana de la Salud (OPS) recomendó el establecimiento de programas de investigación orientados a determinar la contaminación en las aguas y el aire, con el objetivo de colaborar con los gobiernos en el desarrollo de políticas adecuadas de control. En junio de 1967, la Red Panamericana de Muestreo Normalizado de la Contaminación de Aire (REDPANAIRES) inició sus operaciones con la recolección mensual de polvo sedimentable (PS), muestras diarias de partículas totales en suspensión (PTS) y de SO<sub>2</sub> en ocho estaciones. Para finales

<sup>1</sup> Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Av. Tecnológico 1555 Sur, Periférico Gómez-Lerdo, Ciudad Lerdo, Durango C.P. 35150.

\* hesnercf@itslerdo.edu.mx

<sup>2</sup> Instituto Tecnológico de la Laguna, Blvd. Revolución y Av. Instituto Tecnológico de La Laguna, Torreón, Coahuila, C.P. 27000.

de 1978 ya contaba con 88, distribuidas en 26 ciudades de 14 países.

En 1980 REDPANAIRE desapareció, integrada al Programa Global de Monitoreo de la Calidad del aire, proyecto iniciado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). En la década del 1980 varias ciudades importantes operaron redes de monitoreo de la calidad del aire, midiendo principalmente SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, ozono, PTS y plomo, siempre consientes de la cantidad insuficiente de estaciones debido a la escasez de recursos [5].

El monitoreo de la calidad del aire es el resultado del diseño e instalación de redes de estaciones, los procedimientos de muestreo y el análisis de los contaminantes atmosféricos. Entre los contaminantes atmosféricos más importantes que se monitorean están: SO<sub>2</sub>, CO, PST, PM10, ozono y óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>). A este grupo de elementos se les conoce como contaminantes criterio, para los cuales existen normas de calidad del aire. La finalidad de las normas es proteger la salud humana, así como el bienestar de los ecosistemas.

La única forma de saber con certeza si existe, si se están generando, o si se están empeorando los problemas de la contaminación del aire es mediante la medición de los mismos. México cuenta con ciudades con buena capacidad de monitoreo, pero existe una diferencia notable entre las capacidades de monitoreo de cada ciudad y/o estado. Siendo la mayoría de las estaciones disponibles estacionarias y de gran volumen, encontrándose algunas de tamaño medio, pero aún grandes para poderlas considerar móviles.

La existencia de un sistema que integre varias estaciones portátiles (fáciles de transportar), sienta las bases para realizar interpolaciones mediante un sistema de información geográfica (SIG), obteniendo como resultado la distribución probable de los contaminantes en toda un área a partir de las mediciones puntuales de cada estación. Las estaciones KNARIO son un prototipo de estación portátil con las capacidades de medición de contaminantes criterio, además de conectividad con la nube vía Wifi y GSM, permitiendo la actualización de los datos mientras son adquiridos y geolocalizados.

## II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

Para la integración de las estaciones KNARIO y el Sistema de información geográfica la metodología propuesta fue:

- Valoración y selección de los contaminantes criterio a medir de acuerdo a las normas oficiales mexicanas: NOM-020-SSA1-2014, NOM-021-SSA1-1993, NOM-022-SSA1-2010, NOM-023-SSA1-1993, NOM-025-SSA1-2014, NOM-026-SSA1-1993.

- Valoración y selección de los sensores para la medición de los contaminantes criterio seleccionados.
- Valoración y selección de los componentes necesarios para el posicionamiento geográfico.
- Valoración y selección de servicios para operación en la nube del Sistema de Información Geográfica.
- Integración de la estación portátil de calidad del aire.

### A. Estaciones KNARIO

Teniendo en cuenta las premisas fundamentales: pequeño tamaño, sencillas de utilizar, con conectividad y geolocalización, a continuación, se relacionan las distintas partes que conforman las estaciones KNARIO.

Para la medición de los contaminantes criterio se seleccionó el módulo ZPHS01B, el cual integra elementos de medición para la mayoría de los gases y partículas, además de otros que podrían considerarse de importancia, como compuestos orgánicos volátiles en el aire, temperatura y la humedad. La Tabla I muestra un resumen del módulo en cuestión.

TABLA I. CARACTERÍSTICAS DEL MÓDULO ZPHS01B

Modelo	ZPHS01B	
Señal de salida	UART (TTL)	
PM2.5	Rango	0~1000 µg/m3
	Rango de tamaño de partículas	0.3-10µm(PM1.0, PM2.5, PM10)
CO <sub>2</sub>	Rango	0~5000 ppm
	Precisión	±(50ppm+5% of reading value)
O <sub>3</sub>	Rango	0~10 ppm
	Resolución	0.01 ppm
	Precisión	± 0.1ppm, para concentraciones ≤1ppm; ±20% rango completo, para concentraciones sobre 1ppm;
NO <sub>2</sub>	Rango	0.1~10 ppm
	Resolución	0.05ppm

Para el control de los distintos elementos, así como para el procesamiento de todos los datos y su subsecuente transmisión a la nube, se evaluaron dos plataformas diferentes de procesadores: PSoC y ESP32. Ambas

plataformas cuentan con entradas y salidas programables, además de módulos internos de conversión análogo - digital y vice versa. Cuentan con puertos UART para interacción con periféricos y pueden equiparse con electrónica para garantizar la comunicación WiFi y Bluetooth.

En la Figura 1 se muestra una comparativa entre ambos microcontroladores. El PSoC destaca por sus capacidades analógicas y de comunicación cableada, mientras que el ESP32 por sus ventajas en cuanto a comunicación inalámbrica, tamaño y pantalla.

Criterio	PSoC (CY8CKIT-059)	ESP32 (Core2)
Convertidores DAC	8	2
Comparadores	4	0
OPAMP's	4	0
GPIO's	62	20
Puertos serie físicos	Hasta 15	2
Bluetooth (LE)	No	Si
WiFi	No	Si
Tamaño	24 x 55 mm	55 x 55 mm
Pantalla	No	Si

Figura 1. Características de tablas de desarrollo

La comunicación inalámbrica, particularmente el Wifi, fue el determinante para la selección del ESP32 sobre los PSoC. Más era necesario también, dentro de los fabricantes que lo utilizan, seleccionar una plataforma que permitiera un desarrollo rápido, robusto y flexible.

Dentro de la variedad de opciones que existen en el mercado utilizando como núcleo el ESP32, se propuso la plataforma M5Stack "Core2 for AWS", por su versatilidad, concepto modular y comunidad de desarrollo. El mismo cuenta con 2 puertos UART para comunicación con dispositivos externos, es capaz de alimentar el módulo de medición de gases previamente seleccionado y además cuenta con una pantalla LCD con capacidad táctil integrada, útil para la interacción con el usuario. En la Figura 2 se muestra un resumen de los elementos que incluye el módulo seleccionado, a los que se agregan su tamaño reducido y el integrar el chip ATECC608A, el cual maneja el encriptado de datos para la comunicación con los servidores de *Amazon Web Services*, para la conexión con la nube y la publicación de datos en línea.



Figura 2. Especificaciones del módulo Core2 for AWS

Para la comunicación con internet se optó por la utilización del módulo COM.X NB-IoT (SIM7020G), integrante de la plataforma M5Stack con todas las características necesarias para el desarrollo de aplicaciones de Internet de las Cosas. La Figura 3 muestra el aspecto apilable del módulo NB-IoT con el CORE2.



Figura 3. Módulo NB-IoT SIM7020G.

Las etiquetas de geolocalización se obtienen a partir del módulo GPS u-blox NEO-M8N, también apilable, cuenta con antenas interna y externa, facilitando la obtención de la hora, fecha, longitud y latitud de las mediciones.

La Figura 4 muestra una representación 3D de toda la estación KNARIO, encargada de la adquisición, geolocalización y transmisión de las variables de calidad del aire a la nube. Se puede apreciar también la disposición del módulo de medición en un canal de aire forzado (uso de

ventilación), junto a las baterías de litio 18650 y el centro de carga correspondiente.

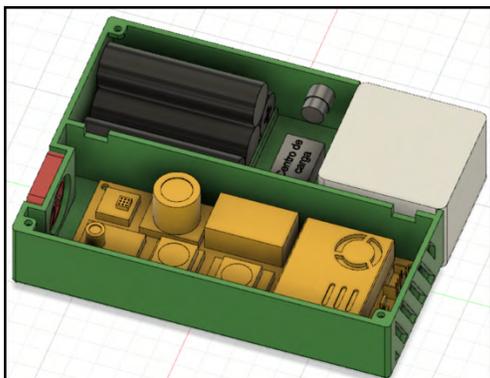


Figura 4. Representación 3D del ensamble de las partes de KNARIO.

**B. Comunicación entre módulos y con la nube**

La comunicación entre el CORE2 y el módulo multisensor se realiza a través de UART, utilizando un protocolo maestro-esclavo basado en comandos. La Figura 5 muestra la estructura de la trama de datos enviada por el módulo ZPHS01B por cada medición solicitada, mientras que la Tabla 2 relaciona cada byte recibido con el cálculo del valor de su variable correspondiente.

BYTE 0	BYTE 1	BYTE 2	BYTE 3	BYTE 4	BYTE 5	BYTE 6	BYTE 7	BYTE 8	BYTE 9
Start bit	Command	PM1.0		PM2.5		PM10		CO2	
0xFF	0x86	0x00	0x85	0x00	0x36	0x00	0x96	0x01	0x9A
BYTE 10	BYTE 11	BYTE 12	BYTE 13	BYTE 14	BYTE 15	BYTE 16	BYTE 17	BYTE 18	BYTE 19
VOC	Temperatura		Humedad		CH2O		CO		O3
0x00	0x02	0xFD	0x00	0x28	0x00	0x28	0x00	0x05	0x00
BYTE 20	BYTE 21	BYTE 22	BYTE 23	BYTE 24	BYTE 25				
O3	NO2		Reservado	Reservado	Check Sum				
0x20	0x00	0x50	0x00	0x00	0xEA				

Figura 5. Estructura de la trama enviada por el ZPHS01B.

Tabla II.  
Distribución de la trama en Bytes para las variables del módulo ZPHS01B.

PM1.0	Ug/m3	$(\text{Byte}2 * 256 + \text{Byte}3) \text{ug}/\text{m}3 = 101 \text{ug}/\text{m}3$
PM2.5	Ug/m3	$(\text{Byte}4 * 256 + \text{Byte}5) \text{ug}/\text{m}3 = 54 \text{ug}/\text{m}3$
PM10	Ug/m3	$(\text{Byte}6 * 256 + \text{Byte}7) \text{ug}/\text{m}3 = 150 \text{ug}/\text{m}3$
CO2	ppm	$(\text{Byte}8 * 256 + \text{Byte}9) \text{ppm} = 410 \text{ppm}$
VOC	0~3 grade	
Temperature	0.1°C	$((\text{Byte}11 * 256 + \text{Byte}12) - 500) * 0.1^\circ\text{C} = 26.5^\circ\text{C}$ For example: byte11=0x01, byte12=0x59 $((\text{Byte}11 * 256 + \text{Byte}12) - 500) * 0.1^\circ\text{C} = -15.5^\circ\text{C}$
Humidity	%RH	$(\text{Byte}13 * 256 + \text{Byte}14) \% \text{RH} = 40 \% \text{RH}$
CH2O	0.001mg/m3	$(\text{Byte}15 * 256 + \text{Byte}16) * 0.001 \text{mg}/\text{m}3 = 0.040 \text{mg}/\text{m}3$
CO	0.1ppm	$(\text{Byte}17 * 256 + \text{Byte}18) * 0.1 \text{ppm} = 0.5 \text{ppm}$
O3	0.01ppm	$(\text{Byte}19 * 256 + \text{Byte}20) * 0.01 \text{ppm} = 0.32 \text{ppm}$
NO2	0.01ppm	$(\text{Byte}21 * 256 + \text{Byte}22) * 0.01 \text{ppm} = 0.80 \text{ppm}$

Para la comunicación de la estación con la nube se seleccionó el protocolo MQTT. El mismo define dos tipos de entidades en su red, un mediador de mensajes (*broker* en inglés) y un número de clientes. El mediador es un servidor que se encarga de recibir todos los mensajes que los clientes envían, y después re enviarlos a su destino apropiado. Los mensajes se estructuran utilizando una jerarquía de temas. Cuando un cliente envía un mensaje al mediador, lo hace bajo un tema y/o uno o más subtemas. Un cliente puede, además de enviar mensajes, suscribirse a uno o más temas. El mediador utiliza estas suscripciones para saber a dónde enviar los mensajes recibidos. La conexión entre el mediador con cada cliente, puede ser unidireccional, solo publicar o solo suscribirse, o puede ser bidireccional, en caso de que publique y lea mensajes.

**C. Sistema de información geográfica**

Para la representación de los datos recopilados por las estaciones KNARIO fueron evaluadas varias plataformas. Entre ellas AWS, Adafruit, Ubidots, Pubnub, Thingspeak, Arduino y Google Cloud, todas con capacidades de manejo de mensajería MQTT y bases de datos. También se desarrolló una variante de servicio propio utilizando las APIs de Google orientadas a geolocalización.

**III. RESULTADOS**

En la Figura 6 se muestra el aspecto físico del módulo multisensor junto a las mediciones mostradas en la pantalla del CORE2. Para poner a prueba el módulo multisensor, sin llegar a un procedimiento de calibración, se utilizó una campana de vacío, con la que se aisló la estación del medio para garantizar la menor variación de los contaminantes criterio medidos. Bajo estas condiciones los valores obtenidos fueron los esperados, mostrando variaciones por debajo del 1% en todas las variables.



Figura 6. Mediciones realizadas en la etapa de pruebas.

En la Figura 7 se muestra el aspecto final de las estaciones KNARIO. Con un peso considerablemente inferior a los 500g, el tamaño de las estaciones permite su fácil transportación en cualquier medio motorizado o no. La frecuencia mínima de muestreo quedó fijada cada 5 segundos, siendo seleccionable según las condiciones de medición (estacionaria, en bicicleta, medio de transporte motorizado). Es importante destacar que aún falta

experimentación para determinar la mejor frecuencia de muestreo según sea el caso.



Figura 7. Aspecto final de las estaciones KNARIO.

En la Figura 8 se muestra el aspecto básico de la plataforma Ubidots para mostrar datos geolocalizados. Dicha plataforma permite la modificación de la interfaz al público de una manera rápida e intuitiva, sin la necesidad de conocimientos profundos de programación. Característica que se consideró importante teniendo en cuenta que en el futuro la plataforma podría ser utilizada por personal de la dirección de medio ambiente de Coahuila o Durango (operación y mantenimiento).

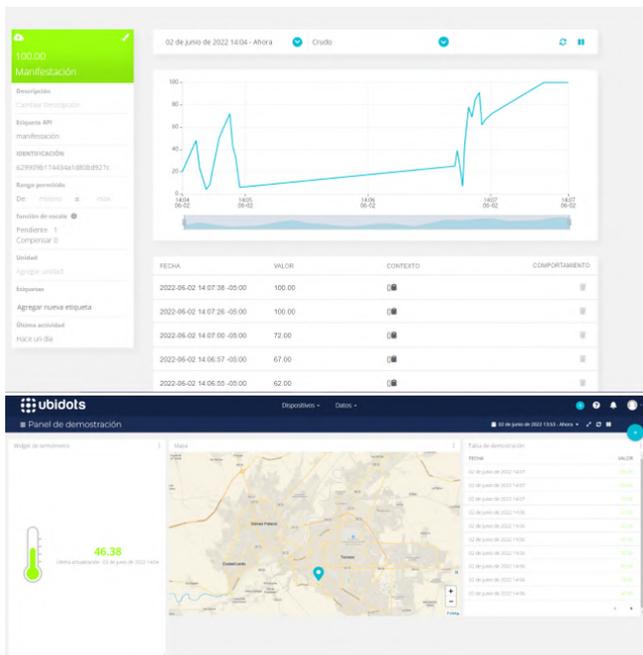


Figura 8. Tablero de la plataforma Ubidots.

#### IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Las estaciones KNARIO en funcionamiento demostraron la viabilidad de los distintos módulos seleccionados, logrando la medición de cinco contaminantes criterio de los 6 normados en México, además de la correspondiente conexión con la nube para el almacenamiento y posterior publicación de las mediciones. El bajo costo de las estaciones, en comparación con las utilizadas hasta el momento por las entidades gubernamentales, junto a su portabilidad y movilidad, permitirán un aumento considerable de la densidad de estaciones, y con ello, del volumen de datos recopilados.

Las dos familias de microcontroladores evaluadas demostraron ser excelentes candidatos para el control de las estaciones, permitiendo grados de acondicionamiento, procesamiento y conectividad acordes a las nuevas tecnologías. El manejo de la energía fue otro punto a favor, garantizando un uso eficiente de las baterías y con ello la portabilidad que se propone.

De las plataformas analizadas para la integración de KNARIO con un SIG destacaron Ubidots y Google Cloud. La primera como la opción más viable para cambiar la interfaz y mantener las funcionalidades del sitio (mantenimiento) con un conocimiento mínimo de programación web, mientras que la segunda destacó al momento de desarrollar desde cero la plataforma, utilizando los principales lenguajes de programación en ambientes web junto a las APIs de google. Desde el punto de vista de costos, falta utilizar más extensivamente el sitio, lo que permitiría evaluar los montos de tráfico, almacenamiento en bases de datos, entre otras.

Actualmente los trabajos continúan en la creación de procedimientos que permitan una calibración rápida y sencilla de las estaciones, así como en la planificación de las principales rutas a mapear en la zona metropolitana de la Laguna, de manera que la información recabada pueda ser utilizada como herramienta para la toma de decisiones por parte de los distintos niveles de gobierno.

#### V. AGRADECIMIENTOS

Este proyecto fue financiado parcialmente por el Tecnológico Nacional de México y la Secretaría de Medio Ambiente de Coahuila de Zaragoza. Uno de los autores (K. Limones-Ríos) recibió una beca del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México.

## VI. REFERENCIAS

- [1]Zuk, M. (2007). “Tercer almanaque de datos y tendencias de la calidad del aire en nueve ciudades mexicanas”, Instituto Nacional de Ecología.
- [2]Martínez, C. A. R., & Izaguirre, J. A. H. (2012). “Sustentabilidad y medio ambiente: Reglamentación de la contaminación atmosférica en México.”, DELOS: Desarrollo Local Sostenible, 5(15), 22.
- [3]Corona-Zambrano, E. A., & Rojas-Caldelas, R. I. (2009) “Calidad del aire y su incorporación en la planeación urbana: Mexicali, Baja California, México”, Estudios fronterizos, 10(20), 79-102.
- [4]Villaseñor, S. Z. H. (2016) “ESTUDIO DE EMISIONES VEHICULARES CON SENSOR REMOTO EN LA CIUDAD DE VICTORIA DE DURANGO, DGO”, 63.
- [5]Korc, M., & Sáenz, R. (1999). “Monitoreo de la calidad del aire en América Latina”, Korc Marcelo E, 1-22.



**Calderón Ibarra Cecilia Inés.** Egresada del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey Campus Laguna con Licenciatura en Contaduría Pública y Finanzas con Distinción en Impuestos. Maestría en Administración y Doctorado en Educación, ambos por la Universidad Autónoma de la Laguna. Cuenta con 2 Certificaciones Internacionales, la primera como Docente avalado por “Time to teach” por Brandon University y la segunda en Psicoanálisis por la Cámara Internacional de Conferencistas a través del Instituto Inteligente de Profesionalización A.C. Actualmente se desempeña como Docente del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo.

## VII. BIOGRAFÍA



**Coto Fuentes Hesner.** Ingeniero en Automática egresado del Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, La Habana, Cuba. Maestro en Diseño de Sistemas Electrónicos por el Centro de Investigaciones en Microelectrónica, La Habana, Cuba, y Doctor en Ciencias en Ingeniería Eléctrica con especialización en Instrumentación Electrónica por el Instituto Tecnológico de la Laguna, Torreón, Coahuila, México. En su trayectoria como docente

- investigador se ha especializado en las áreas de Instrumentación Virtual y desarrollo de sistemas electrónicos aplicados a la medicina, la industria y el medio ambiente.



**Valdés Perezgasga Francisco.** Investigador Titular del Instituto Tecnológico de La Laguna. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores desde 1986, actualmente Nivel II. Doctor en Química por la Universidad de Newcastle upon Tyne, Reino Unido, 1990. Co-autor de más de 50 artículos en revistas internacionales, indizadas y arbitradas, en temas de instrumentación electrónica y electroquímica de aplicación médica, industrial y medioambiental. Ciudadano Distinguido de

Torreón por Méritos Académicos en 2001.



**Guevara Amatoñ Karla Victoria.** Profesora del departamento de Química-bioquímica en el Instituto Tecnológico de la Laguna desde febrero 2010, cuenta con estudios de Ingeniería Química, Maestría en Ciencias en Procesos Sustentables por la Universidad Autónoma de Nuevo León y Doctorado en Ciencias en Ingeniería eléctrica por el Instituto Tecnológico de la Laguna. Los trabajos de investigación en los que ha colaborado están relacionados directamente con la industria

minera-metalúrgica y el medio ambiente.



**Limones Ríos Kristian Azel.** Curso la licenciatura en Ingeniería Electrónica en el instituto tecnológico superior de lerdo, Lerdo, Durango, en 2020. Cursa actualmente la Maestría en ciencias en Ingeniería Eléctrica dentro de la línea de investigación de Instrumentación Electrónica en el Instituto Tecnológico de la Laguna, Torreón, Coahuila. Sus intereses en la investigación están dirigidos hacia la instrumentación electrónica e integración de sistemas geográficos para el monitoreo de

variables.

# Sistema automático para la detección y diagnóstico de fallos en circuitos electrónicos

H. Coto-Fuentes<sup>1</sup>, E. E. Valdés-Zaldivar<sup>2</sup>

**Resumen**— El presente artículo describe las características más importantes de un sistema desarrollado para la automatización del proceso de detección y diagnóstico de componentes con fallo en circuitos electrónicos. El sistema está compuesto por dos bloques estructurales: Sistema Experto e Interfaz de Adquisición, los cuales conjuntamente estimulan y obtienen las respuestas de los circuitos electrónicos diagnosticados. Como resultado, se genera un reporte con las causas estimadas de los fallos, a partir del análisis de las mediciones realizadas.

**Palabras claves**— circuitos electrónicos, detección y diagnóstico de fallo, interfaz de adquisición, sistema experto

**Abstract**— *The present article describes the most important characteristics of a system developed for the automation of the process of fault diagnostic and detection in electronic circuit components. The system is composed by two structural blocks: Expert System and Acquisition Interface, which actions stimulate and measure the response of the diagnosed electronic circuit. As a result, a report is generated with the estimated failure causes, using the analysis of the measurement results.*

**Keywords**— acquisition interface, electronic circuits, expert system, fault detection and diagnostic

## I. INTRODUCCIÓN

Con más de 30 años de experiencia en la producción de equipamiento electrónico, el Instituto Central de Investigaciones Digitales (ICID) cuenta con el personal calificado y el respaldo tecnológico para materializar todas las etapas del proceso productivo en la industria electrónica. Especializados en equipos médicos, sus principales logros están orientados a los servicios de cardiología y de atención a pacientes de terapia intensiva.

Insertándose en las etapas de Producción y Asistencia Técnica, el sistema que ocupa el presente artículo tiene como objetivo fundamental automatizar el proceso de detección y diagnóstico de componentes con fallos en los circuitos electrónicos producidos en el ICID. De este modo se contribuye a la disminución del tiempo empleado en la puesta en marcha y reparación de los equipos médicos.

## II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

La arquitectura del sistema de diagnóstico de fallos se puede dividir funcionalmente en dos grandes bloques: Sistema Experto e Interfaz de Adquisición.

- El Sistema Experto (SE) es una entidad software [1,2] programada para detectar componentes con fallo en circuitos electrónicos, de manera similar a como lo hace un especialista humano. Para interactuar con los circuitos bajo prueba controla la Interfaz de Adquisición, a través de la cual estimula y adquiere las mediciones necesarias para llevar a cabo un diagnóstico activo.
- La Interfaz de Adquisición está constituida por un instrumento virtual, que controlado por el Sistema Experto, se encarga de manipular los recursos hardware de una tarjeta de adquisición de datos, indispensables para la interacción con los circuitos que se diagnostican. Es además, la encargada de mostrar los resultados del diagnóstico.

En la figura 1 se puede apreciar más detalladamente la arquitectura del sistema de diagnóstico, donde la computadora juega un papel fundamental como plataforma de ambos bloques. Los elementos *hardware* y *software* que integran la Interfaz de Adquisición se encuentran encerrados en líneas discontinuas, mientras las flechas indican en qué sentido se realiza el intercambio de datos entre los distintos bloques del sistema.

### A. La Interfaz de Adquisición

La mayoría de los Sistemas Expertos utilizados en entornos académicos, médicos e industriales funcionan bajo el principio de preguntas y respuestas [2,3]. Una vez cargada la base de conocimiento el motor de inferencia envía preguntas al operador. De las respuestas dependerá el análisis y los resultados obtenidos por el SE.

<sup>1</sup> Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Av. Tecnológico 1555 Sur, Periférico Gómez-Lerdo, Ciudad Lerdo, Durango C.P. 35150 \*  
\*hesnercf@itslerdo.edu.mx

<sup>2</sup> Universidad Tecnológica de la Habana, Calle 114, Marianao, La Habana, Cuba.

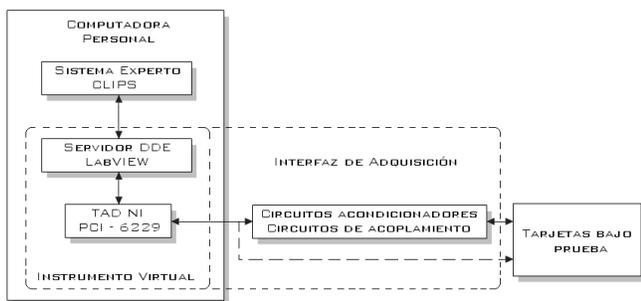


Figura 1. Arquitectura general del sistema de diagnóstico de fallos.

En el sistema de diagnóstico que se describe no ocurre así. La operación del Sistema Experto no dependerá del operario, ya que su conexión directa a la Interfaz de Adquisición le permite estimular y medir los puntos necesarios para realizar el diagnóstico de los circuitos.

Siguiendo estos principios la Interfaz de Adquisición debe ser capaz de realizar las siguientes funciones:

1. Comunicarse con el Sistema Experto.
2. Generar y medir señales (digitales y analógicas) utilizando la tarjeta de adquisición de datos PCI – 6229.

El Sistema Experto y el Instrumento Virtual en la Interfaz de Adquisición son programas ejecutándose en la misma computadora. La aplicación que contiene el Sistema Experto fue programada en Visual Studio, mientras el instrumento virtual corre sobre LabVIEW. Para comunicarlos se utilizó el método de intercambio de datos entre aplicaciones DDE (*Dynamic Data Exchange*), ya que ambos ambientes de programación cuentan con las funciones necesarias para implementarlo [4,5].

El instrumento virtual en la Interfaz de Adquisición constituye un servidor DDE, aceptando la conexión del Sistema Experto para en acción conjunta realizar el diagnóstico. Para la comunicación entre ambos se definieron dos variables: “ClipsToLabVIEW” y “LabViewToCLIPS”. La primera es utilizada por el Sistema Experto para enviar al instrumento virtual los comandos necesarios para su control, por ejemplo, estimular un terminal o medir determinado punto. La segunda es utilizada por el instrumento virtual para mandar datos al Sistema Experto, por ejemplo, el valor obtenido de una medición.

La adquisición y generación básica de señales se realiza utilizando el componente DAQ Assistant, VI express adicionado a las paletas de LabVIEW con la instalación del paquete NI-DAQmx. Orientado al uso de las tarjetas de adquisición de datos de *National Instruments*, sus funciones

facilitan la manipulación de los recursos digitales y analógicos presentes en las mismas.

La figura 2 muestra un fragmento de la programación (código gráfico) asociada a la Interfaz de Adquisición. Compuesta por una estructura *while*, la que constantemente encuesta la variable “ClipsToLabVIEW”.

La decodificación del comando enviado por el Sistema Experto activará el frame correspondiente de la estructura *case* en el centro de la figura 2.

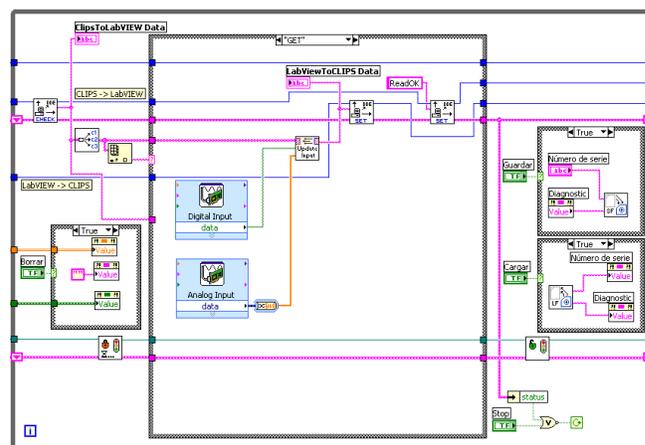


Figura 2. Fragmento del programa en código gráfico asociado al instrumento virtual de mayor nivel jerárquico en la Interfaz de Adquisición.

El panel frontal de la Interfaz de Adquisición cuenta con los recursos básicos para brindar las funcionalidades más importantes. Entre las que se encuentran la configuración de la comunicación DDE y la presentación en modo texto de los resultados obtenidos por el Sistema Experto. También se permite guardar en ficheros los diagnósticos realizados, así como las lecturas para un posterior análisis.

### B. El Sistema Experto

Para el desarrollo del sistema experto se utilizó CLIPS (*C Language Integrated Production System*), herramienta desarrollada por la sección de Inteligencia Artificial de la NASA’s Johnson Space Center para la creación de sistemas expertos de propósito general [2,6]. Actualmente de dominio público, la utilización de CLIPS es libre de costo y permite su integración con otros lenguajes de programación como el C++ [6], lo que permitió un cambio de interfaz y el acceso del sistema experto a los recursos que necesita para realizar el diagnóstico.

La programación del Sistema Experto se realizó en Visual Studio, representando una ventaja su integración con CLIPS y la posibilidad de desarrollar versiones posteriores donde la manipulación de la tarjeta de adquisición de datos no dependa

de LabVIEW, realizándose todo el proceso de diagnóstico en la misma aplicación.

La nueva interfaz de CLIPS, adaptada a las necesidades del sistema de diagnóstico, se basa en la medición y generación de tensiones a partir de la comunicación del núcleo del sistema experto con la Interfaz de Adquisición. Estas operaciones ocurren de forma automática, o con intervención del usuario (modo manual).

El modo manual cumple dos objetivos muy importantes. Primero, brinda la posibilidad de depurar las bases de conocimiento, ya que la ejecución del motor de inferencia se detendrá mientras no sean introducidos los datos que demanda, controlando e incidiendo en el proceso según los datos ingresados. La segunda, y no menos importante, es que permite la realización del diagnóstico sin la utilización de elementos externos, con el inconveniente de que el usuario debe efectuar todas las operaciones que indique el sistema experto.

La figura 3 muestra la nueva interfaz gráfica, denominada LabCLIPS.

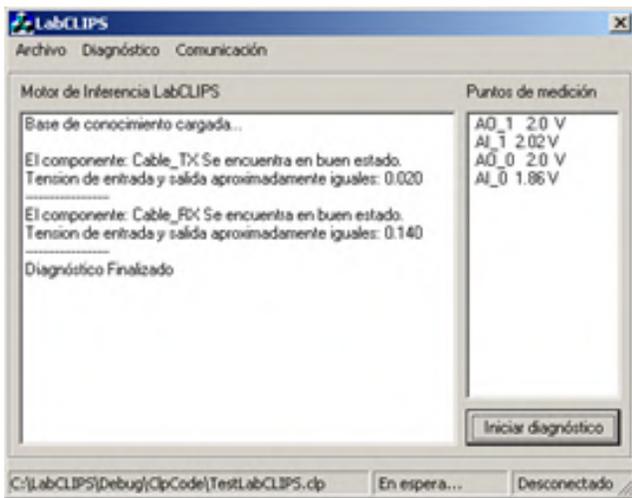


Figura 3. Interfaz gráfica de LabCLIPS. Sistema Experto para la detección y diagnóstico de componentes con fallo en circuitos electrónicos.

LabCLIPS mantiene el entorno orientado a texto del ambiente original de CLIPS. Añadiendo la posibilidad de comunicarse con la Interfaz de Adquisición para obtener los datos que necesita durante el proceso de diagnóstico de fallos en los circuitos electrónicos.

Para la programación de las bases de conocimiento del Sistema Experto fueron utilizadas reglas de producción, facilitando la modificación y modularidad del conocimiento descrito. Es importante destacar que toda la operación llevada

a cabo por el sistema de diagnóstico la controlará el SE, según la base de conocimiento ejecutada.

### III. RESULTADOS

Para poner a punto el sistema de diagnóstico de fallos se utilizó la tarjeta de medición de parámetros fisiológicos (MPP), componente fundamental del equipo médico DOCTUS, producido en el ICID. Entre las principales características de los circuitos que integran la tarjeta mencionada se encuentra la presencia de un convertidor CD-CD, lo que implica en el circuito analizado la existencia de dos referencias de tierra. Aspecto importante a tomar en cuenta al realizar las mediciones.

La tarjeta MPP está formada por cuatro bloques fundamentales: “Fuente CD – CD”, “Comunicación Serie”, canales analógicos “MUX – ADC” y “Accionamiento Neumático”. Para el diagnóstico de la tarjeta MPP fue necesario utilizar recursos digitales y analógicos de la tarjeta de adquisición de datos. Además de algunos circuitos acondicionadores debido a las dos referencias de tierra.

La figura 4 muestra el panel frontal de la Interfaz de Adquisición para el diagnóstico de la tarjeta MPP. En ella se pueden apreciar las gráficas obtenidas de la estimulación y medición del comportamiento de los distintos bloques antes mencionados, así como el diagnóstico entregado por el Sistema Experto en modo texto (columna derecha).

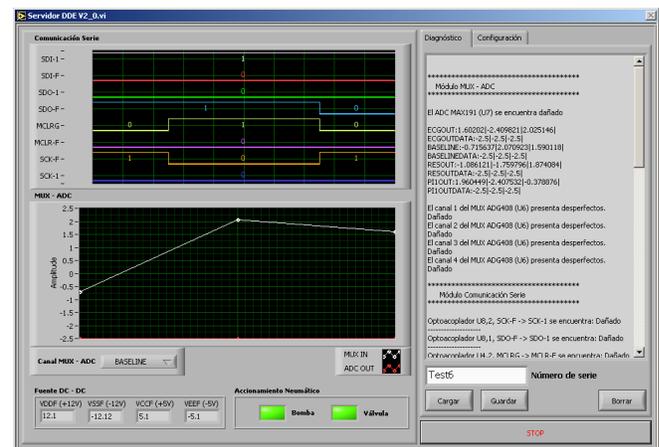


Figura 4. Panel Frontal de la Interfaz de Adquisición para el diagnóstico de la tarjeta MPP.

Luego de analizado el diagnóstico realizado a un conjunto de tarjetas se llegaron a las siguientes conclusiones:

- El Sistema Experto puede utilizarse con excelentes resultados en el diagnóstico de la tarjeta MPP.
- Todo el proceso de detección y localización automática de los fallos se realiza en un tiempo nunca superior a los dos

minutos, disminuyendo apreciablemente el tiempo requerido por un operario.

- Al concluir las mediciones el sistema entrega al operador un diagnóstico estimado de los distintos bloques que componen la tarjeta MPP, reduciendo el tiempo que el personal calificado emplea en la reparación de las tarjetas defectuosas.

El sistema descrito fue inicialmente concebido para realizar labores de detección y diagnóstico de fallos en circuitos electrónicos. No obstante, la flexibilidad *hardware* de la Instrumentación Virtual junto al procesamiento de un Sistema Experto, permite utilizarlo en casi cualquier aplicación que requiera de la generación y medición de variables eléctricas.

#### IV. CONCLUSIONES

Como resultado del trabajo presentado se desarrolló un Sistema automático para el diagnóstico de componentes con fallos en circuitos electrónicos. Los resultados obtenidos permiten concluir:

- El uso de la Instrumentación Virtual en el desarrollo de la Interfaz de Adquisición brinda al sistema elementos de *hardware* configurables por *software*, permitiendo la modificación de las funcionalidades de la aplicación según las exigencias de la misma.

- La utilización de un Sistema Experto acelera y mejora el proceso de puesta en marcha de las tarjetas que componen los equipos médicos producidos en el ICID. Además, se disminuye el tiempo de verificación de los circuitos y permite que personal no especializado en las tarjetas diagnosticadas pueda realizar las labores de reparación.

- Para el desarrollo del Sistema Experto se seleccionó el Shell CLIPS, encapsulándolo en una aplicación que se programó en lenguaje C++ utilizando la plataforma de desarrollo Visual Studio.

- Se utilizó el Sistema de Diagnóstico para la detección y localización de fallos en las tarjetas MPP, para lo que fue necesario implementar los circuitos de acondicionamiento y la base de conocimiento.

- Todo el proceso de detección y localización automática de los fallos en la tarjeta MPP se realiza en un tiempo nunca superior a los dos minutos, disminuyendo apreciablemente el tiempo requerido por el anterior sistema utilizado en el ICID.

#### V. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer la colaboración de la Dirección y los trabajadores del Instituto Central de Investigaciones

Digitales, La Habana, Cuba

#### VI. REFERENCIAS

- [1] Palade, V., Bocaniala, C.D., Jain, L.: Computational Intelligence in Fault Diagnosis. 2006, Springer.
- [2] Giarratano, J., Riley, G.: Expert Systems Principles and Programming. Third ed. 2002: China Machine Press.
- [3] Castillo, E., Gutiérrez, J.M., Hadi, A.S.: Sistemas Expertos y Modelos de Redes Probabilísticas. 2004.
- [4] Bitter, R.: LabVIEW Advanced Programming Techniques. 2001, CRC Press.
- [5] Corporation, M.: MSDN. 2005, Microsoft Corporation.
- [6] Riley, G.: CLIPS Interfaces Guide. 2007.

#### VII. BIOGRAFÍA



**Coto Fuentes Hesner.** Ingeniero en Automática egresado del Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, La Habana, Cuba. Maestro en Diseño de Sistemas Electrónicos por el Centro de Investigaciones en Microelectrónica, La Habana, Cuba, y Doctor en Ciencias en Ingeniería Eléctrica con especialización en Instrumentación Electrónica por el Instituto Tecnológico de la Laguna, Torreón, Coahuila, México. En su trayectoria como docente - investigador se ha especializado en las áreas de Instrumentación Virtual y desarrollo de sistemas electrónicos aplicados a la medicina, la industria y el medio ambiente.



**Valdés Zaldivar Enrique Ernesto.** Ingeniero en Equipos y Componentes Electrónicos, Profesor Titular, Doctor en Ciencias Técnicas, Docente e Investigador del Centro de Investigaciones en Microelectrónica, Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría".

# Análisis de la correlación entre el desarrollo de las habilidades blandas del personal y su desempeño laboral después del impacto causado por la pandemia COVID 19

M. J. Carrera-Barraza<sup>1</sup>, J. M. Valdez-Díaz<sup>1</sup>, E. G. Pinales-Valdez<sup>1</sup>, P. Velazquez-Contreras<sup>2</sup>, B. Carrera-Barraza<sup>3</sup>

**Resumen**—El propósito de este estudio fue identificar la relación entre las habilidades blandas del personal y su impacto en la cantidad de reportes incompletos o no hechos, de tal forma se identifiquen razonamientos de los trabajadores detrás de esta situación, y así ser capaz de diseñar estrategias que pudieran incrementar la entrega de informes y por ende mejorar su desempeño laboral. La pregunta guía del estudio fue: ¿Qué tan fuerte es la correlación entre las habilidades blandas de los trabajadores y la tasa de entrega de informes? Se utilizó estadística descriptiva e inferencial, considerando un nivel de confianza de 95% para el cálculo de tamaño de muestra dando como resultado 104 elementos y aplicando la primera de ellas en la organización de datos y la comparación entre las fuentes de los mismos, mientras que la segunda para identificar tendencias que describen si existe o no una correlación real entre las variables y grado de correlación entre ellas. Se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson obteniendo un valor de 0.9 que representa una correlación fuerte. La evidencia fue clara: los trabajadores necesitan que se les enseñen habilidades blandas y que se las refuerce constantemente a través de cursos de capacitación.

**Palabras claves**— correlación, desempeño laboral, habilidades blandas, pandemia COVID-19

**Abstract**— The purpose of this study was to identify the relationship between the soft skills that the staff had or lacked and their impact on the amount of incomplete or undone reports and to gather valuable information that allowed administration to identify the workers' reasoning behind this situation thus be able to design strategies that could increase the report submission and therefore improve their job performance. The question that guided this study was: How strong is the relationship between workers' soft skills and the rate of reports' submission? Descriptive and Inferential statistics were used during the study, considering an acceptance ratio of 95% to calculate sample size, resulting in 104 elements. Used descriptive statistical to sort the data to display results in a visual way and to emphasize the comparison between the data sources; second one was used to identify possible trends that describe whether there is an actual correlation or not between the variables and their correlation ratio. We used the Pearson correlation coefficient obtaining a value of .9 which represents a strong correlation The evidence was clear:

Workers need to be taught soft skills and be reinforced constantly through training courses.

**Keywords**— correlation, COVID 19 pandemics, job performance, soft skills

## I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día para que las organizaciones logren tener una ventaja competitiva en relación con sus competidores, es necesario que cuenten con nuevas formas de trabajo que correspondan a las necesidades actuales del entorno tanto local, nacional o internacional.

Dichas formas de trabajo corresponden a filosofías, métodos o técnicas, que les permitan ser más productivos y lograr lo que toda organización sueña, "Ser líderes en su área", proporcionando a clientes tanto internos como externos, servicios y productos que cumplan las necesidades y superen las expectativas de los clientes, según sea el caso.

El análisis del desempeño laboral, como camino para aumentar la productividad, se ha estudiado desde hace un par de décadas. Ree y Earles (1992), opinan que existen algunos componentes que constituyen el rendimiento laboral, esos componentes son habilidades, conocimientos, técnicas de trabajo y capacitación que pueden utilizarse para lograr el objetivo de una organización [1].

Por otra parte, (Kevin R & E. Saal, 1990) definió el desempeño de la tarea como el cumplimiento de los deberes y responsabilidades en el contexto de un trabajo determinado [2].

El campo laboral constantemente se encuentra en búsqueda de nuevos estándares, sin embargo, de unos años a la fecha ya se venía transformando a un ritmo acelerado a nivel mundial, situación que se incrementó notablemente ante la

<sup>1</sup> Tecnológico Nacional de México campus Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Avenida Tecnológico N° 1555. Periférico Lerdo Km 14.5 Plácido Domingo, cp. 35150, Lerdo Durango México.

<sup>2</sup> Colegio Americano de Torreón, Paseo del Algodón No. 500 Viñedos, C.P. 27019 Cd. Torreón, Coah., México.

<sup>3</sup> Tecnológico Nacional de México campus Instituto Tecnológico de Torreón, carretera antigua Torreón San Pedro km 7.5 cp. 27170Torreon Coahuila, México \* brenda\_cb@hotmail.com

crisis sanitaria por COVID-19.

Ante la pandemia quedo de manifiesto de forma más clara la relevancia de las habilidades blandas, tal que el 75% del éxito laboral depende de ellas, según un estudio de la Universidad de Stanford y la Fundación Carnegie Mello y en 2020 y 2021, años con pandemia, la adaptación al cambio estuvo entre lo más demandado por las empresas para poder lidiar con la crisis, reportaron UBITS y EdTech Acámica, dos compañías capacitadoras corporativas on line más importantes de Latinoamérica [3].

Difícilmente una persona puede lograr un gran desarrollo profesional sin contar con habilidades blandas, además, estas capacidades son muy valiosas porque ayudan a moverse en la incertidumbre y crear, ante cada nuevo acontecimiento un repertorio de acciones que acortan la brecha entre los deseos y los resultados que obtenidos [4].

De acuerdo con investigaciones y encuestas preliminares, un porcentaje muy elevado de trabajadores querrían teletrabajar con mayor frecuencia, incluso después de que se hayan levantado las restricciones de distancia física [5], por lo que es de gran relevancia que, en las empresas, se tome en cuenta el desarrollo de las blandas en sus trabajadores, puesto que son esenciales para el entorno laboral y sobre todo el trabajo en equipo en la resolución de conflictos, gestión efectiva de tiempo, manejo de estrés, etc. Estos valores cooperan al desarrollo profesional del colaborador, y contribuyen a mejorar el nivel de la empresa con el fin de lograr una mayor eficiencia organizacional [6].

## II. PARTE TÉCNICA DEL ESTUDIO

La alta dirección de un centro educativo privado de la comarca lagunera, con niveles desde preescolar hasta nivel media superior, durante el transcurso de la pandemia identifico en las reuniones de trabajo en línea, cierta relación entre el personal con un alto número de actividades no entregadas en tiempo y forma y los hábitos organizacionales de los mismo, estos últimos también llamados habilidades blandas.

De acuerdo a lo anterior, se generó la siguiente pregunta de investigación ¿Qué tan fuerte es la correlación entre las habilidades blandas de los trabajadores y la tasa de entrega de actividades?

La investigación es un trabajo realizado mediante un sentido cuantitativo de nivel explicativo. Se refiere a cuantitativo dado que se llevó a cabo la recopilación y análisis de datos obtenidos bajo un cuestionario de Likert aplicada a los trabajadores, mientras que el nivel explicativo se debe a que se busca conocer la correlación entre el desarrollo de las

habilidades blandas del personal y su desempeño laboral después del impacto causado por la pandemia COVID 19.

El instrumento de evaluación de las variables, fue diseñado y validado, en base a las características del estudio, dado que es un estudio con diseño no experimental, tal como lo menciona (Hernandez Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2006), este se basa en categorías, conceptos, variables, sucesos, comunidades o contextos que se dan, sin la intervención directa del investigador, es decir; sin que el investigador altere el objeto de investigación. Por su diseño fue de tipo transversal porque la medición se realizó en un solo momento describiendo al detalle el fenómeno [7].

Al ser una investigación de campo se recopilaron datos de fuentes primarias correspondientes al objetivo, el instrumento de medición consta de diez cuestionamientos con opciones de respuesta. Cabe mencionar que el instrumento se diseñó en base al objetivo del estudio

La tabla con preguntas se agrega en el apéndice I.

La ventaja de este método es su gran flexibilidad, ya que los cuestionarios utilizados para recoger datos, se pueden diseñar a la medida para cumplir con los objetivos de casi cualquier tipo de proyecto de investigación [8].

El método de la encuesta fue el más apropiado para usar ya que no se puede observar directamente lo que se pretendía estudiar y es especialmente beneficioso para grandes poblaciones, como la que se tiene, debido al número de personal [9].

Con el propósito de medir el coeficiente de fiabilidad del instrumento, es decir la consistencia interna, se empleó el método de Alfa de Cronbach mediante el software minitab, arrojando los resultados individuales por pregunta que se muestran en la TABLA I, así como el Alfa de Cronbach general del instrumento, mostrada en la figura 1.

TABLA I. ESTADÍSTICAS POR PREGUNTA

Variable	Media total ajustada	Alfa de Cronbach
P1	24.260	0.7671
P2	23.558	0.8006
P3	24.673	0.8039
P4	24.000	0.7761
P5	23.971	0.7728
P6	23.865	0.7782
P7	23.990	0.8019
P8	23.692	0.7765
P9	24.519	0.7957
P10	24.135	0.8024
<b>Alfa de Cronbach</b>		
		<b>0.8052</b>

Figura 1. Alfa de Cronbach general del instrumento

El Alfa de Cronbach de 0.8052, es un valor que permite asegurar que existe un nivel muy bueno de fiabilidad en el instrumento, como se puede comprobar mediante la tabla II mostrada a continuación.

TABLA II. NIVEL DE FIABILIDAD DE ALFA DE CRONBACH

Indice	Nivel de fiabilidad	Valor de Alfa de Cronbach
1	Excelente	]0.9, 1]
2	Muy bueno	]0.7, 0.9]
3	Bueno	]0.5, 0.7]
4	Regular	]0.3, 0.5]
5	Deficiente [	0, 0.3]

Fuente: mktDescubre

Este análisis corresponde a una investigación no experimental, puesto que cumple con las características de ser sistemática y empírica, la variable independiente (habilidades blandas) no se manipulan porque ya ha sucedido. Las inferencias sobre las relaciones entre variables se realizan sin intervención o influencia directa, y dichas relaciones se observan tal como se han dado en su contexto natural. Además de ser un análisis descriptivo, como la palabra lo indica, este tipo de estadística, permite puntualizar la relación entre las variables de estudio [7].

Cabe señalar que el análisis es correlacional, busca determinar la relación entre la variable dependiente que es el desempeño laboral con la variable independiente que es la posesión de habilidades blandas, así como transversal, ya que los datos se recolectaron en un determinado tiempo, y en un

solo momento correspondiente al segundo semestre del año 2021.

Una vez fijado el instrumento de evaluación, se determinó el tamaño de la muestra, la cual corresponde a una muestra probabilística con nivel de confianza del 95%, al tenerse una población de 141 personas de interés, se calculó el tamaño de la muestra mediante un simulador on line, arrojando un tamaño de la muestra de 104 personas, la figura 2 muestra la información necesaria para la obtención del tamaño de muestra mediante el simulador.

Figura 2. Obtención de tamaño de muestra

Se utilizo estadística inferencial para identificar posibles tendencias que describen si existe una correlación entre las habilidades blandas que el personal posee y el incumplimiento de tareas.

Finalmente se calculó el coeficiente de correlación de Pearson entre las variables, con la finalidad de validar la relación estadística entre dos variables, lo anterior mediante la siguiente formula.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \tag{1}$$

### III. RESULTADOS

El resultado obtenido de la medición de los trabajos con incumplimiento durante la semana de seguimiento mostraron que el porcentaje de trabajadores con actividades pendientes es importante, siendo únicamente el 22.12% de los trabajadores el que no cuenta con actividades atrasadas, mientras que el resto presenta desde 1 actividad, hasta un máximo de 7 elementos sin concluir, en la figura 3 se muestra la distribución de número de actividades incompletas, las cuales corresponden al 77.88 % de los trabajadores.

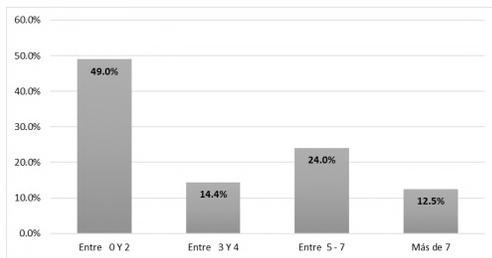


Figura 3. Actividades no entregadas en tiempo y forma.

De los resultados anteriores, fue notorio, que existe un déficit de trabajos no terminados o cerrados, los cuales fluctúan como lo marca el rango de los datos desde 1 hasta 7, sin embargo, al analizar los estadísticos descriptivos de la muestra, se denota que la media por trabajador de actividades pendientes es de 3.106 como se muestra en la figura 4. Esta cantidad en apariencia no parece ser significativa, sin embargo, al prestar atención a la varianza es fácilmente identificable, que es alta, por lo que es recomendable cerrar ese cerco.

Estadísticos descriptivos: Actividades NO en tiempo								
Estadísticas								
Variable	Media	Desv.Est.	Varianza	Mínimo	Mediana	Máximo	Rango	Modo
Actividades NO en tiempo	3.106	2.531	6.406	0.000	3.000	7.000	7.000	0
Variable	N para moda							
Actividades NO en tiempo	23							

Figura 4. Estadísticos descriptivos

Los datos recopilados demostraron que respecto a la sensación general de las actividades incompletas ó no entregadas en tiempo y forma por parte del personal el 14.4% está satisfecho o manifiesta sentirse excelente, mientras que el 53.8% externa sentirse mal o frustrado, lo cual se refleja en el estado anímico de las personas, propiciando el trabajar con stress, o con falta de motivación, lo que provoca no avanzar en sus actividades.



Figura 5. Nivel de satisfacción

Con la influencia de los resultados anteriores se observa una fuerte relación entre sus habilidades blandas y el número de trabajos no concluidos como se observa en la figura 6 siendo esta del 64 %, mientras que los que asumen que la relación habilidades-cumplimiento es de media a nula, es de tan solo 36%. Con estos resultados se fortalece de forma empírica la relación entre las variables.

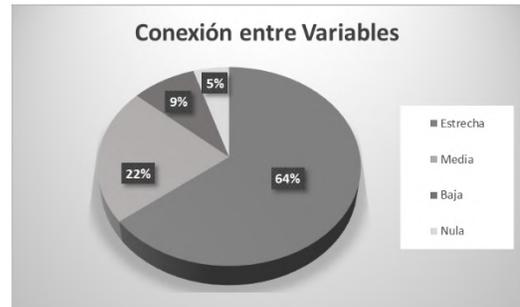


Figura 6. Conexión entre ambas variables.

Se generó una clasificación general a partir de los resultados de siete habilidades organizativas sugeridas que podrían enseñarse al personal, siendo la habilidad más seleccionada la gestión del tiempo con el 70% de los resultados. El resto de las habilidades oscilaron entre el 40% y el 50% de las selecciones.

Estos resultados llevan a los investigadores a indagar más profundamente y buscar una tendencia y patrones relacionados con las habilidades de gestión del tiempo que al inicio de la investigación no había sido considerada.

Con la finalidad de demostrar de forma estadística la correlación entre las variables, lo que hasta el momento era sola una hipótesis, se realizó la prueba de correlación de Pearson, la cual es una herramienta que describe el grado o fuerza en el que una variable esta linealmente relacionada con otra, siendo ambas continuas.

Se declaro como variable dependiente (Y) la cantidad de trabajos inconclusos en una semana, mientras que la variable independiente (X), como el nivel de desorganización de la persona. La tabla III muestra la escala empleada.

TABLA III. ESCALA DE LA VARIABLE X

Muy organizado	1
Algo organizado	2
Algo desorganizado	3
Muy desorganizado	4

La relación lineal entre las variables se puede observar en la gráfica de dispersión (Figura 7), en donde se denota una pendiente positiva, lo que se traduce en una relación directa entre las variables.

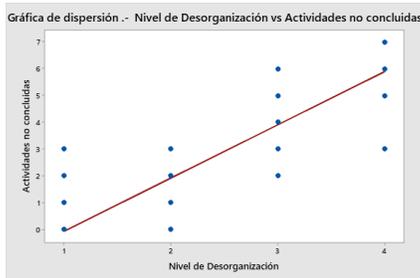


Figura 7. Gráfica de dispersión

Una vez aplicada (1) se obtuvo como resultado  $r = 0.90$  como puede observarse en la figura 8, que al compararse con el estándar de la correlación de Pearson mostrada en la figura 9 se observa un resultado alto, lo cual denota la contundente relación que existe entre las variables estudiadas

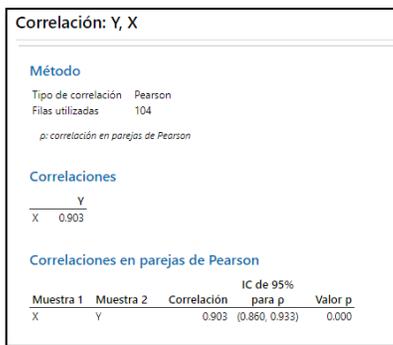


Figura 8. Correlación de Pearson

Otro punto a destacar de la figura 8, con el que se refuerza la afirmación de una muy alta dependencia entre los elementos estudiados, es el valor del estadístico P, el cual como es conocido tiene relación con la fiabilidad del estudio, dicha fiabilidad está en función de que tan pequeño es el valor del estadístico, como se lee en la figura 8, es de 0, con lo que se puede dar respuesta a la pregunta de investigación confirmando que la correlación existente entre las habilidades blandas de los trabajadores y entrega de informes es fuerte.

$r = 1$	correlación perfecta.
$0.8 < r < 1$	correlación muy alta
$0.6 < r < 0.8$	correlación alta
$0.4 < r < 0.6$	correlación moderada
$0.2 < r < 0.4$	correlación baja
$0 < r < 0.2$	correlación muy baja
$r = 0$	correlación nula

Figura 9. Estándar de correlaciones.

#### IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES.

El desarrollo de habilidades blandas en el personal es sumamente efectivo para el incremento de la productividad de cualquier organización, ya que el desempeño individual de los trabajadores afecta positivamente al rendimiento global de la organización, resarcando el déficit de actividades inconclusas, lo que se refleja en actividades cubiertas en tiempo, lo que permite el cumplimiento de KPI internos de la organización.

En el entorno actual de trabajo derivado de la pandemia, es necesario que los trabajadores aumenten su conocimiento y desarrollo de las habilidades blandas, puesto que ya se demostró que influye directamente en el cumplimiento de los procesos y por ende en la optimización de los recursos y calidad del trabajo.

En base a los resultados obtenidos se recomienda a la organización la capacitación que por ley es obligatoria, sea enfocada al desarrollo de habilidades blandas, como el manejo efectivo del tiempo

#### V. APÉNDICE 1

Cuestionario	
1.- ¿Cuántas actividades tienes no entregadas en tiempo y forma, durante una semana?	<ul style="list-style-type: none"> <li>Entre 0 Y 2</li> <li>Entre 3 Y 4</li> <li>Entre 5 - 7</li> <li>Más de 7 - 9</li> </ul>
2.- ¿Cómo te hace sentir el estado de tus actividades inconclusas?	<ul style="list-style-type: none"> <li>Excelente /</li> <li>Satisfecho</li> <li>Regular</li> <li>Mal-Frustrado</li> </ul>
3.- ¿Qué tan fuerte crees que es la conexión entre tus habilidades organización y el número de actividades no concluidas que tienes?	<ul style="list-style-type: none"> <li>Muy Estrecha</li> <li>Media</li> <li>Baja</li> <li>Nula</li> </ul>
4.- ¿Qué tan organizado te consideras?	<ul style="list-style-type: none"> <li>Muy organizado</li> <li>Algo organizado</li> <li>Algo desorganizado</li> <li>Muy desorganizado</li> </ul>
5.- ¿Te es fácil tener todos tus papeles y/o archivos digitales organizados?	<ul style="list-style-type: none"> <li>Muy Frecuentemente</li> <li>Frecuentemente</li> <li>Ocasionalmente</li> <li>Nunca.</li> </ul>
6.- ¿Crees que tu falta de organización y deficiente manejo del tiempo influye en el número de actividades inconclusas?	<ul style="list-style-type: none"> <li>Muy Frecuentemente</li> <li>Frecuentemente</li> <li>Ocasionalmente</li> <li>Nunca.</li> </ul>

7.- ¿Cómo crees que sería tu desempeño laboral si tuvieras adecuadas habilidades organizativas?	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Sobresaliente</li> <li>● Satisfactorio</li> <li>● Insatisfactorio</li> <li>● Pobre</li> </ul>
8.- ¿Crees que será útil y tendrá un gran impacto en tu desempeño laboral, si se te enseñará habilidades de organización como parte de la capacitación?	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Totalmente de acuerdo</li> <li>● Moderadamente de acuerdo</li> <li>● En desacuerdo</li> <li>● Totalmente en desacuerdo</li> </ul>
9.- ¿Programas las actividades más importantes durante el momento del día en que eres más productivo?	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Muy Frecuentemente</li> <li>● Frecuentemente</li> <li>● Ocasionalmente</li> <li>● Nunca.</li> </ul>
10.- ¿Sabes aproximadamente cuánto tiempo te llevará completar una actividad, proyecto o tarea?	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Muy Frecuentemente</li> <li>● Frecuentemente</li> <li>● Ocasionalmente</li> <li>● Nunca.</li> </ul>

VI. REFERENCIAS

Balnaves, M., & Caputi, P. (2001). Introduction to Quantitative Research Methods: An Investigative Approach. doi:https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=282362941009

Cáceres Francia, E., Peña Espino, P., & Ramos Villarreal, L. (2018). https://repositorio.up.edu.pe/bitstream/handle/11354/2495/Ernesto\_Tesis\_maestria\_2019.pdf?sequence=1.

Cáceres Francia, E., Peña Espino, P., & Ramos Villarreal, L. (Julio de 2019). Universidad del pacifico lima peru. doi:https://repositorio.up.edu.pe/handle/11354/2495

Castillo, L., & Jhassmin, L. (2019). Universidad Cesar Vallejo. doi:https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/46170/Castillo\_LLJ-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Collatupa, A., & Maribel, D. (2021). UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO. doi:https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/62975/Alburquerque\_CDM-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Cruz Salazar, L. A., & Stella Aig, L. (2021). Dianet. doi:https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7899377  
ESI School Management. (21 de Marzo de 2021). ESI School Management. doi:https://esieduc.org/nuestros-blogs/desarrollo-de-habilidades-blandas-para-potenciar-los-negocios-del-futuro/

Espinoza Mina, M., & Gallegos Barzola, D. (25 de Junio de 2020). Habilidades blandas y su importancia de aplicación en el. ESPACIOS, 109-120. doi:https://www.revistaespacios.com/a20v41n23/a20v41n23p10.pdf

Martín Abella, K. (9 de Diciembre de 2021). https://repository.unimilitar.edu.com. doi:https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/40388/Martin%20Abella%20Karen%20Daniela%202021.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Merino Hernández, M., & Bayona García, M. (8 de Agosto de 2019). International Journal of Integrated Care. doi:https://www.ijic.org/articles/abstract/10.5334/ijic.s3110/

James Ree, M., & A. Earles, J. (1992). Intelligence Is the Best Predictor of Job Performance. Current Directions in Psychological Science, 1(3), . , 86–89. doi:http://www.jstor.org/stable/20182140

Oviedo, H. C., & Campo-Arias, A. (2005). Aproximación al uso del coeficiente alfa de Cronbach. Revista Colombiana de Psiquiatría. doi:http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\_arttext&pid=S0034-74502005000400009

Forbes. (20 de Marzo de 2019). Forbes. doi:https://www.forbes.com.mx/aprender-soft-skills-las-habilidades-del-futuro/

Hernandez Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2006). Metodología de la Investigación (6 ed.). Mexico DF: Mc Graw Hill. doi:https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf

Hidalgo Dávila, N. (2020). “influencia de las habilidades blandas en el desempeño laboral. http://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/URP/3967/ADM-T030\_10065343\_T%20%20%20HIDALGO%20DAVILA%20NORMA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Kevin R, M., & E. Saal, F. (1990). Job performance and productivity. Psychology in organizations. Nueva York. doi:https://doi.org/10.4324/9780203771891

La Nación. (26 de Enero de 2014). LA NACION. doi:https://www.lanacion.com.ar/economia/la-revolucion-de-las-habilidades-blandas-nid1658642/

LinkedIn. (9 de Enero de 2020). LinkedIn. (B. M. Anderson, Editor) doi:https://www.linkedin.com/in/bruce-m-anderson  
McNabb. (2010). Métodos de investigación para la ciencia política: enfoques cuantitativos y cualitativos (Segunda ed.). Nueva York, NY: ME Sharpe, Inc.

Organización Internacional del Trabajo. (2020). El teletrabajo durante la pandemia de COVID-19 y después de ella: Guía práctica. Organización Internacional del Trabajo.

Rosas Rodríguez, B., & Kato Vidal, E. (Mayo de 2019). Scielo. doi:https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\_arttext&pid=S1405-84212019000200203

Ruiz Mitjana, L. (22 de Mayo de 2019). Psicología Y Mente. doi:https://psicologiymente.com/miscelanea/alfa-de-cronbach

Salinas, U., & Salinas, V. (2021). renati. doi:https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3073034

Tendencias e inspiracion. (7 de Agosto de 2019). PEOPLE Acciona. doi:https://people.acciona.com/es/tendencias-e-inspiracion/soft-skills-nueva-llave-para-el-exito-profesional/

Tuapanta Dacto, J., Duque Vaca, M., & Mena Reinoso, A. (2017). Alfa de cronbach para validar un. mktDescubre, 37-48. doi:https://core.ac.uk/download/pdf/234578641.pdf

Universidad Católica San Pablo. (20 de Septiembre de 2021). La relevancia de las habilidades blandas ante el covid-19 y para la vida laboral.

Vallejos Carrasco, A. M. (2021). Habilidades blandas y su influencia en el desempeño del personal post venta interamericana norte sac filial chclayo. doi:https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/2082/1/TL\_VallejosCarrascoAndrea.pdf

Vega Lamilla, L., & Pierina, R. (2020). Universidad cesar vallejo. doi:[https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/44531/Vega\\_LRP-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/44531/Vega_LRP-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Vega Lamilla, R. P. (2020). Universidad Cesar Vallejo. doi:[https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/44531/Vega\\_LRP-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/44531/Vega_LRP-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)  
WORLD ECONOMIC FORUM.

Zepeda-Hurtado, M., Cardoso-Espinosa, E., & Rey-Benguría, C. (13 de Junio de 2018). Redalyc. doi:<https://www.redalyc.org/journal/614/61458265007/html/#:~:text=Las%20habilidades%20o%20competencias%20gen%C3%A9ricas,de%20otros%20conocimientos%20y%20claves%20>

impartiendo materias como Medición y Mejoramiento de la productividad, Logística, Gestión de los sistemas de calidad, Desarrollo Sustentable, Procesos de fabricación y control estadístico de la calidad. Las líneas de investigación de interés están orientadas la manufactura avanzada, administración de proyectos



**Velázquez Contreras Priscila.** Torreón Coahuila. México, 07 Diciembre de 1985. Maestra en Ciencias Multidisciplinarias de Educación de la Universidad SUNY Buffalo NY (2022), Maestra en Tecnología Educativa del Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey (2012), Tecnóloga Educativa de la Universidad Interamericana para el Desarrollo (2019). Ella Actualmente labora en el Colegio Americano de Torreón, ubicado en Paseo del Algodón No. 500

Viñedos, C.P. 27019 Cd. Torreón, Coahuila, como profesora de preparatoria de tiempo completo impartiendo la materia de Diseño Digital y Jefa del Departamento de Arte y Tecnología.

Las líneas de investigación de interés están orientadas la manufactura avanzada, administración de proyectos.

## VIII. BIOGRAFÍA



**Carrera Barraza Manuel de Jesús.** Torreón, Coahuila. México, 5 de junio de 1984. Master of Science in Multidisciplinary Studies from the State University of New York (2022), Maestro en administración de sistemas de calidad de la Universidad del Valle de México Campus Torreón (2010). Ingeniero industrial del Tecnológico Nacional de México campus La Laguna (2007). El Actualmente labora en el Tecnológico Nacional de México Campus Superior de Lerdo Ubicado

Avenida Tecnológico N° 1555. Periférico Lerdo Km 14.5 Placido Domingo, Lerdo Durango México como profesor de tiempo parcial. Las líneas de investigación de interés están orientadas la manufactura avanzada, administración de proyectos.



**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 Tecnológico Nacional de México campus La Laguna (2008), Ingeniera Industrial del Tecnológico Nacional de México campus La Laguna. Ella Actualmente labora en el Tecnológico Nacional de México campus Torreón,

Ubicado en carretera Torreón-San Pedro km 7.5, como Profesor de tiempo parcial. En la Carrera de Ingeniería en Logística, impartiendo materias como Administración de la calidad, Control Estadístico de la Calidad, Higiene y Seguridad. Las líneas de investigación de interés están orientadas a la optimización de la producción, control de la calidad y seguridad e higiene.



**Valdez Diaz José Manuel.** Gómez Palacio, Dgo., México, 17 Septiembre de 1974. Maestro en Ciencias en Ingeniería Industrial del Tecnológico Nacional de México campus La Laguna (2008), Ingeniero industrial en Eléctrica del Tecnológico Nacional de México campus La Laguna. El Actualmente labora en el Tecnológico Nacional de México Campus Superior de Lerdo Ubicado Avenida Tecnológico N° 1555. Periférico Lerdo Km 14.5 Placido Domingo, Lerdo Durango México

como profesor de medio tiempo en la Carrera de Ingeniería Industrial, impartiendo materias como Dibujo Industrial, Simulación, Estadística Inferencial, Gestión de sistemas de calidad, Ingeniería de sistemas, Algoritmos y lenguajes de programación. Las líneas de investigación de interés están orientadas al Diseño industrial y la optimización de la producción,



**Pinales Valdez Edgar Guadalupe** Gómez Palacio, Dgo., Mexico, 01 de noviembre de 1990. Maestro en sistemas de calidad del Instituto Internacional de Administración Estratégica (2022), Ingeniero Mecatrónico con especialidad en automatización y control del del Tecnológico Nacional de México campus La Laguna. (2019). El Actualmente labora en el Tecnológico Nacional de México Campus Superior de Lerdo Ubicado Avenida Tecnológico N° 1555. Periférico Lerdo Km 14.5 Placido

Domingo, Lerdo Durango México como profesor de tiempo parcial

# Caracterización teórica de la reflectancia de un sensor plasmónico basado en la geometría de Kretschmann con silicio poroso y plata

A. Santos-Gómez<sup>1\*</sup>, Y. G. Salgado-Soto<sup>1</sup>, A. C. Ramírez-Zuñiga<sup>1</sup>, E. Ramírez-Vázquez<sup>1</sup>, J. Sandoval-Lira<sup>1</sup>.

**Resumen**—En este trabajo se hace un estudio teórico de la respuesta óptica de un sensor basado en la geometría de reflexión total atenuada de Kretschmann con silicio poroso y plata, para el sentido de pesticidas y contaminantes a bajas concentraciones. Los resultados del cálculo de la reflectancia, por medio del método de la matriz de transferencia, muestran hundimientos abruptos ocasionados por el acoplamiento de la luz con los electrones libres de la plata. La longitud de onda de estos hundimientos está relacionada con el índice de refracción del químico dentro de los poros del silicio, desplazando esta posición de resonancia al rojo al incrementar el valor del índice de refracción; además el corrimiento al rojo es directamente proporcional al aumento de la concentración del químico en las cavidades. Los resultados de este trabajo sugieren que el sistema propuesto puede utilizarse como sensor de pesticidas u otros contaminantes a bajas concentraciones.

**Palabras claves**— *pesticidas, plasmón de superficie, propiedades ópticas, sensor*

**Abstract**—In this work, we present a theoretical study of the optical response of a sensor based on Kretschmann attenuated total reflection geometry with porous silicon and silver, for the sensing of pesticides and pollutants at low concentrations. The results of the reflectance calculation, using the transfer matrix method, show abrupt dips caused by the coupling of light with the free electrons of silver. The wavelength of these sinks is related to the refractive index of the chemical inside the silicon pores, red shifting this resonance position with increasing refractive index value; also, redshift is directly proportional to the increase of the chemical concentration in the cavities. The results of this work suggest that the proposed system can be used as a sensor for pesticides or other contaminants at low concentrations.

**Keywords**— *optical properties, pesticides, sensor, surface plasmon*

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la agricultura se beneficia de la aplicación extensiva de pesticidas debido a que disminuye la pérdida de cultivos y aumenta la producción. Al igual que en la mayor parte del país, la agricultura en la región poblana involucra el uso de diversos pesticidas para el control de plagas,

enfermedades y todo tipo de amenazas en los cultivos de vegetales, cereales y frutas [1].

Está claro que la presencia de residuos de estos productos en cantidades demasiado elevadas en los alimentos (superior a la legislación vigente) puede presentar un riesgo importante para la salud humana, de ahí que sea necesario realizar multitud de controles para asegurar que los productos agroalimentarios están exentos de pesticidas o bien que éstos se encuentran en concentraciones inferiores a los valores permitidos. La peligrosidad de estos compuestos presenta varios aspectos: peligrosidad en su fabricación y formulación, peligrosidad para el agricultor que entra en contacto con ellos, peligrosidad ecológica asociada a desequilibrios en el medio ambiente y peligrosidad para el consumidor [2, 3].

En este contexto, trabajo apunta en la necesidad de generar conocimiento para desarrollar tecnologías que permitan diagnosticar cultivos con contaminantes basados en pesticidas. Para la creación de estas tecnologías se requieren esfuerzos en la investigación básica, que permitan conocer la respuesta óptica de cultivos con presencia de pesticidas.

Tradicionalmente la detección de pesticidas se ha llevado a cabo por técnicas de cromatografía de líquidos y gases, así como por espectroscopía de masas. Estas técnicas ofrecen una alta sensibilidad y reproducibilidad, pero por otra parte requieren equipo sofisticado y preparación minuciosa de las muestras, que limitan su aplicación en tiempo real [3, 4].

La alternativa que en este trabajo se presenta, se fundamenta en la idea de comprender la respuesta óptica de micro y nano estructuras basadas en tecnología de silicio poroso y metales, para proporcionar los conocimientos básicos que puedan utilizarse en un futuro para el desarrollo de sensores para la detección de pesticidas u otros contaminantes que se encuentren en cultivos vegetales. Se pretende que estas tecnologías puedan usarse en-sitio, en tiempo real, sean precisas, confiables y fáciles de usar. Un ejemplo de este tipo de estructuras es la realizada por Rotiroti y colaboradores [5], quienes propusieron un sensor basado en un sistema multicapa de espejos de Bragg de silicio poroso para estudiar el efecto en el cambio del espectro de reflectancia al incorporar metanol y otros químicos al interior

<sup>1</sup> Instituto Tecnológico Superior de San Martín Texmelucan, División de Ingeniería Ambiental. Camino a Barranca de Pesos S/N, San Lucas Atoyatenco, C.P. 74120, San Martín Texmelucan, Puebla, México.

\* arturo.santos@smartin.tecnm.mx.

de los poros del silicio, en su trabajo ellos determinaron que el químico en las cavidades del silicio induce un desplazamiento hacia el rojo del espectro de la reflectancia.

En este mismo contexto, en este trabajo se presentan resultados de una propuesta teórica de un sensor basado en la geometría reflexión total atenuada de Kretschmann [6] con silicio poroso y plata, Figura 1. Se ha incluido el silicio poroso debido a que se ha demostrado que algunos pesticidas u otros contaminantes pueden quedar atrapados en las cavidades del silicio poroso, originando un cambio en el índice de refracción [5].

El sensor que aquí se propone está basado en la geometría de Kretschmann y consta de un prisma de acoplamiento una película delgada de plata y una capa de silicio poroso que están en contacto con el aire del ambiente, tal como se muestra en la Figura 1, donde  $n_a$ ,  $n_{SP}$  y  $n_b$  son los índices de refracción del prisma de acoplamiento, del silicio poroso y del aire, respectivamente; y  $\epsilon_m$ , es a la función dieléctrica de la película delgada de plata.

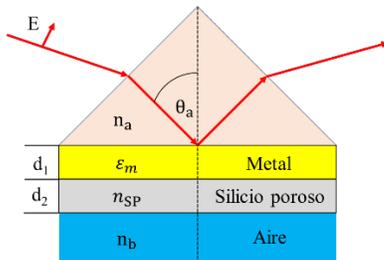


Figura 1. Geometría de reflexión total atenuada basada en geometría de Kretschmann.

## II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

### A. Modelo de Bruggeman

El modelo de Bruggeman es un modelo de medio efectivo para determinar la dependencia del índice de refracción del silicio poroso con la longitud de onda [7], el cual establece que, si se considera un medio sin pérdidas, la expresión que describe el índice de refracción del silicio poroso está dada por,

$$P \left( \frac{n_p^2 - n_{SP}^2}{n_p^2 + 2n_{SP}^2} \right) + (1 - P) \left( \frac{n_{Si}^2 - n_{SP}^2}{n_{Si}^2 + 2n_{SP}^2} \right) = 0 \quad (1)$$

donde  $P$  es la porosidad,  $n_{SP}$  es el índice de refracción buscado del silicio poroso,  $n_{Si}$  es el índice de refracción del silicio del silicio puro, y  $n_p$  es el índice de refracción del material contenido en el poro.

### B. Método de la Matriz de Transferencia

En esta sección se hace una descripción del método de la *matriz de transferencia* para el cálculo de la reflectancia de un sistema de  $M$  capas a incidencia oblicua, como se muestra en la Figura 2. El método consiste en calcular los campos eléctricos y magnéticos para cada capa por medio de expresiones recursivas que relacionan los campos en la  $i$ -ésima capa, con los de las capas vecinas aplicando las condiciones de frontera usuales [8].

De acuerdo con la Figura 2, la onda electromagnética incide a un ángulo  $\theta_a$ ,  $k_a$  denota al vector de onda. El campo eléctrico de la capa  $i$ -ésima está denotado por  $E_i$ , donde el subíndice positivo indica el campo eléctrico incidente y el subíndice negativo, el campo reflejado. La ecuación que relaciona los campos de la capa  $i$  con los campos de la capa  $i + 1$  está dada por:

$$\begin{bmatrix} E_{i+} \\ E_{i-} \end{bmatrix} = \frac{1}{\tau_i} \begin{bmatrix} \mathbf{1} & \rho_i \\ \rho_i & \mathbf{1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e^{j\delta_i} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & e^{-j\delta_i} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_{i+1,+} \\ E_{i+1,-} \end{bmatrix} \quad (2)$$

donde  $\tau_i$  y  $\rho_i$  son los coeficientes de Fresnel de transmisión y reflexión, respectivamente, para la capa  $i$ -ésima, y  $\delta_i$  son las fases de propagación definidas de acuerdo con Orfanidis [9]:

$$\delta_i = \frac{2\pi}{\lambda} n_i l_i \cos \theta_i. \quad (3)$$

Los ángulos  $\theta_i$  de refracción en cada medio están relacionados entre sí por la ley de Snell aplicada a cada una de las  $M+1$  interfaces:

$$n_a \sin \theta_a = n_i \sin \theta_i = n_b \sin \theta_b, \quad i = 1, 2, \dots, M. \quad (4)$$

Este método se implementó usando el lenguaje de programación Octave [10], para el cálculo de la reflectancia de la geometría esquematizada en la Figura 1.

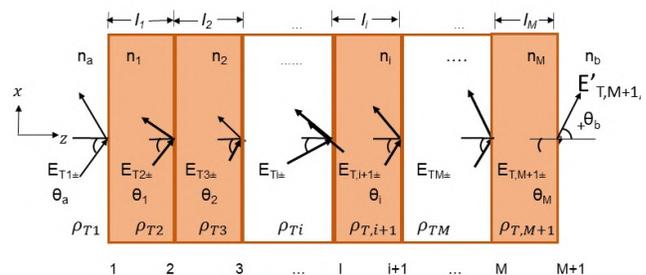


Figura 2. Incidencia oblicua sobre una estructura dieléctrica multicapa.

### III. RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados de la caracterización óptica de la reflectancia de la luz de un sensor basado en la geometría de Kretschmann con silicio poroso, Figura 1, utilizando el método de la matriz de transferencia.

El índice de refracción del silicio poroso se obtuvo a partir del modelo de Bruggeman, indicado en (1), considerando porosidades del 25%, 50% y 75%, los datos experimentales de silicio puro se tomaron de lo reportado por [11]. Los resultados aquí presentados solo consideran la parte real del silicio poroso puesto que la parte imaginaria es despreciable en el rango de las longitudes de onda calculados. El índice de refracción de la película de plata se obtuvo de las mediciones experimentales reportadas por Johnson & Christy [12]. El ancho de la capa de silicio poroso es de 100nm y el de la película de plata es de 50nm. El ángulo de incidencia de la luz sobre el sistema es de  $44.8^\circ$  y tiene polarización transversal magnética.

En la Figura 3 se presentan resultados de la reflectancia en función de la longitud de onda del sistema bajo estudio con porosidad del 50% en la capa de silicio poroso, considerando tres casos: el primer caso con las cavidades vacías,  $n_p = 1$ , el segundo caso con las cavidades con metanol,  $n_p = 1.32$ , y el tercer caso con las cavidades con atrazina,  $n_p = 1.59$ . La línea color naranja indica el resultado con las cavidades vacías, la línea color azul representa el resultado de las cavidades con metanol y la línea morada es para las cavidades con la herbicida atrazina.

De la gráfica se aprecian hundimientos abruptos en las reflectancias para los 3 casos, ocasionados por el acoplamiento de la luz con los electrones libres de la plata, similares a los reportados por Santos-Gómez [13] y Pérez [14]. El mínimo en la reflectancia cuando los poros están vacíos ocurre en  $\lambda_1 = 477\text{nm}$ , para los poros con metanol en  $\lambda_2 = 497\text{nm}$ , y cuando los poros están llenos de atrazina, ocurre en  $\lambda_3 = 516\text{nm}$ .

El desplazamiento de las posiciones de la resonancia es hacia el rojo al aumentar el valor del índice de refracción del material contenido en el poro, siendo de  $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1 = 20\text{nm}$  para el caso del metanol y  $\Delta\lambda = \lambda_3 - \lambda_1 = 39\text{nm}$  para el caso de la atrazina. Es interesante notar que el desplazamiento de la resonancia,  $\Delta\lambda$ , para el caso de la atrazina es mucho mayor a lo reportado usando un sensor basado de espejos de Bragg de silicio poroso, reportado por Rotiroti y colaboradores [5], esto sugiere que el sistema propuesto puede utilizarse como sensor de contaminantes a bajas concentraciones.

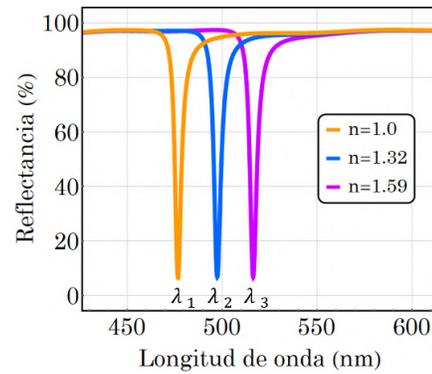


Figura 3. Reflectancia con las cavidades vacías (naranja), con metanol (azul), y con atrazina (morado).

En la figura 4 se muestran los resultados del estudio de la posición de los mínimos, ocasionados por el acoplamiento de la luz con los electrones, en función del material contenido en la capa de silicio poroso para diferentes valores en las porosidades de 25%, 50% y 75%, este resultado puede pensarse como un aumento en la concentración del químico al incrementar la porosidad del silicio poroso.

Se aprecia también que, para todos los valores de las porosidades, hay un desplazamiento hacia el rojo de las posiciones de las resonancias plasmónicas al incrementar el índice de refracción del material contenido en los poros. También se distingue que, a pesar de la complejidad de la estructura del sensor y de las ecuaciones del método, se tiene una relación lineal para cada gráfica, con una pendiente que depende de la porosidad de la estructura, incrementando su valor de manera directamente proporcional a la porosidad del silicio, esto se traduce en una alta sensibilidad del sistema propuesto como sensor para valores altos de la porosidad de la estructura.

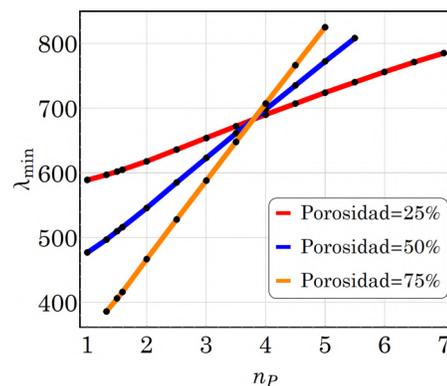


Figura 4. Posición de la resonancia en función del índice de refracción del químico considerando porosidades del 25% (línea roja), 50% (línea azul) y 65% (línea naranja) en la capa de silicio poroso.

#### IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

En este trabajo se presentan resultados del estudio numérico de la respuesta óptica de un sensor basado en la geometría de reflexión total atenuada de Kretschmann con silicio poroso y plata, Figura 1, utilizando el método de la matriz de transferencia, con el fin de diseñar y proponer un dispositivo óptico que pueda utilizarse como sensor de contaminantes, como pesticidas o herbicidas, a bajas concentraciones.

El primer estudio consistió en determinar la reflectancia del sensor propuesto en función de la longitud de onda, manteniendo constante el ángulo de incidencia de la luz y considerando tres casos del material contenido en las cavidades del silicio poroso, a saber, cavidades vacías, con metanol y con atrazina. Para este primer estudio se consideró una porosidad del 50%, Figura 3. El segundo resultado consistió en un estudio sistemático para determinar la variación de la resonancia plasmónica en función del índice de refracción del material contenido en los poros, tomando en cuenta valores de las porosidades de 25%, 50% y 75%, estos resultados están representados en la Figura 4.

Los estudios realizados muestran que hay un desplazamiento hacia el rojo en la posición de resonancia al incrementar el valor del índice de refracción del material contenido en los poros, además que la sensibilidad de la estructura propuesta es directamente proporcional a la concentración del químico en los poros, indicado por el valor de la pendiente en la Figura 4.

Con lo anterior, los autores concluimos que la propuesta presentada en este artículo puede ser utilizada para el desarrollo experimental de un dispositivo óptico basado en la configuración de Kretschman con inclusión de silicio poroso, como sensor de contaminantes a bajas concentraciones por su alta susceptibilidad en la respuesta óptica a los cambios en el entorno.

#### V. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecemos el apoyo de las autoridades del Instituto Tecnológico Superior de San Martín Texmelucan por las facilidades para realizar esta investigación. El M.C. Arturo Santos, agradece también al Dr. Josué Ramírez Hernández del Instituto Tecnológico de Oaxaca por su asesoría en la realización de este proyecto.

#### VI. REFERENCIAS

- [1] Pérez, M. A., Navarro, H., y Miranda, E. (2013). Residuos de plaguicidas en hortalizas: problemática y riesgo en México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 29, pp. 45-64.
- [2] Ize I., Zuk M. y Bracho Rojas L. (2010). *Introducción al análisis de riesgos ambientales*. 2a edición. Instituto Nacional de Ecología. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D.F., México.

- [3] Ramírez, L. (2009). Determinación de pesticidas en vegetales mediante cromatografía de gases-espectrometría de masa/masa (GC-MS/MS). [Tesis de licenciatura, Universidad Tecnológica de la Mixteca]. [http://jupiter.utm.mx/~tesis\\_dig/10970.pdf](http://jupiter.utm.mx/~tesis_dig/10970.pdf)
- [4] Cervera Vidal, M. I. (2015). Investigación de contaminantes orgánicos volátiles y semivolátiles en aguas y vegetales mediante cromatografía de gases-espectrometría de masas (triple cuadrupolo y tiempo de vuelo) (Doctoral dissertation, Universitat Jaume I).
- [5] Rotiroli, L., De Stefano, L., Rendina, I., Moretti, L., Rossi, A. M., & Piccolo, A. (2005). Optical microsensors for pesticides identification based on porous silicon technology. *Biosensors and Bioelectronics*, 20(10), 2136-2139.
- [6] Vinogradov, A. P., Dorofeenko, A. V., Pukhov, A. A., & Lisiansky, A. A. (2018). Exciting surface plasmon polaritons in the Kretschmann configuration by a light beam. *Physical Review B*, 97(23), 235407.
- [7] Estrada-Wiese, D., & del Rio, J. A. (2018). Refractive index evaluation of porous silicon using bragg reflectors. *Revista mexicana de física*, 64(1), 72-81.
- [8] Jackson, J. D. (1999). *Classical electrodynamics*.
- [9] Orfanidis, S. J. (2002). *Electromagnetic waves and antennas*.
- [10] Eaton, J. W., Bateman, D., & Hauberg, S. (1997). *Gnu octave* (p. 42). London: Network theory.
- [11] Green, M. A. (2008). Self-consistent optical parameters of intrinsic silicon at 300 K including temperature coefficients. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 92(11), 1305-1310.
- [12] Johnson, P. B., & Christy, R. W. (1972). Optical constants of the noble metals. *Physical review B*, 6(12), 4370.
- [13] Santos-Gómez, A., Salgado-Soto, Y.G. y Hernández-Juárez, A.F. (2021). Cálculo de la reflectancia de una película delgada de Plata en configuración ATR usando el método de la matriz de transferencia. *100CIATEC* [en línea]. 30, pp. 63. Disponible en: <http://smartin.tecnm.mx/documents/Revista30.pdf>
- [14] Pérez, J. (2016). Acoplamiento de polaritones plasmones de superficie con defectos en cristales fotónicos 1D que contienen metamateriales [Tesis de doctorado, Benemérita Universidad Autónoma De Puebla] <https://repositorioinstitucional.buap.mx/handle/20.500.12371/1129>

#### VII. BIOGRAFÍA



**Santos-Gómez, Arturo.** Originario de Oaxaca de Juárez, Oaxaca, nació el 9 de agosto de 1983. Es Licenciado en Física por la Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca, México, desde el 2012; es Maestro en Ciencias (Física) por el Instituto de Física "Luis Rivera Terrazas" de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México, desde el 2014; y es Candidato a Doctor en Ciencias (Física) por la misma institución.

Él actualmente labora como Profesor de Tiempo Completo en el Instituto Tecnológico Superior de San Martín Texmelucan, Puebla, México, en la Academia de Ingeniería Ambiental y es integrante del Cuerpo Académico ITESMT-CA-7 "Ciencia Básica en Ingeniería Ambiental" desde su creación en diciembre 2020. La línea del conocimiento que cultiva es "Análisis de propiedades ópticas y físicas por simulación computacional".

El M.C. Santos ha publicado en revistas arbitradas e indexadas y participado en congresos nacionales e internacionales. Actualmente es responsable del proyecto de investigación "Estudio teórico de las propiedades ópticas de sistemas multicapa basados en silicio poroso y películas delgadas metálicas para la optimización de parámetros en el diseño de sensores ópticos", con financiamiento por el TecNM y colaborador del proyecto de investigación "Estudio teórico y experimental del efecto del pH en la estabilidad química, propiedades ópticas y electrónicas de pesticidas usados en el cultivo de tejocote." con financiamiento por parte de PRODEP.



**Salgado Soto, Yessica Guadalupe.** Nació en San Gregorio Aztotoacan el verde puebla el día 28 de diciembre de 1998. Comenzó sus estudios en la escuela primaria Miguel Hidalgo y Costilla en San Gregorio Aztotoacan. El bachillerato lo cursó en el Centro de Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios n°252 obteniendo el título de Técnico en soporte y mantenimiento de equipo de cómputo. Continuó su preparación académica a nivel superior en el Instituto Tecnológico de San Martín

Texmelucan Puebla y está por obtener el grado de Ingeniero Ambiental con Mención Académica.

Ella actualmente labora en Industrias Mediasist SA De CV Km. 8.5 Camino Real al Iztaccihuatl S/N, 74130 San Salvador el Verde, Pue. como supervisor de producción en el área de tejido. Su trabajo consiste en determinar las acciones que deben realizarse para alcanzar los fines establecidos.

La pasante en Ing. Ambiental Salgado ha participado en actividades que abordan temas de preservación del medio ambiente, control de la contaminación, manejo de la energía y gestión ambiental. Realizó su Residencia Profesional bajo la dirección el M.C Arturo Santos Gómez y el Dr. Jacinto Sandoval Lira, trabajo por lo cual recibió Mención Académica. Su trabajo de investigación durante la Residencia Profesional consistió en calcular la respuesta óptica de sistemas multicapa basados en silicio poroso utilizando el método de la matriz de transferencia. Sus resultados fueron publicados en la Revista arbitrada 100CIATEC Edición No. 30.



**Ramírez Zúñiga, Andrea Citlalin.** Nació en San Matías Tlalancaleca el 28 de noviembre de 1998 estudiante del Instituto Tecnológico Superior de San Martín Texmelucan, Puebla de la carrera de Ingeniería Ambiental (2018 a la fecha).

Ella actualmente es estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental, en San Martín Texmelucan, Puebla, obtuvo el Primer Lugar en el Concurso InnovaTec en fase local en la categoría de Innovación Social así como también realizó un proyecto de reforestación titulado "Plan de reforestación en zona ecoturística de San Matías Tlalancaleca" y colaboro en un artículo que consistió en calcular la respuesta óptica de sistemas multicapa basado en silicio poroso utilizando el método de la matriz de transferencia, el cual fue publicado en la Revista arbitrada "Innovación Científica y Tecnológica en las Ingenierías" del TESCO, Vol. 5.



**Ramírez Vázquez, Eli.** Nació en San Martín Texmelucan, Puebla, México; el 11 de febrero de 1976. Ingeniero Agrónomo Fitotecnista por el instituto Tecnológico del Altiplano de Tlaxcala, México en 1999; Maestro en Ciencias en Productividad Agrícola por el Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca, en el 2001; Candidato a doctor en ciencias forestales por el Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Texcoco, en el 2019.

Él actualmente labora en el Instituto Tecnológico Superior de San Martín Texmelucan, como profesor de tiempo completo. Impartiendo asignaturas, tutorías y asesoría de proyectos de investigación, en la división de ingeniería ambiental. El instituto se localiza en el municipio de San Martín Texmelucan, Puebla, México. La línea de investigación en la que se desarrolla es mejoramiento de suelos y ambientes naturales.

El M.C. Ramírez ha sido asesor de proyectos de innovación con reconocimiento nacional e internacional (FENACI-CONACyT 2015 y ISEF-INTEL 2016, respectivamente), así como participante en la 27ª Edición Ciencia Joven Internacional 2022 en Pernambuco, Brasil.



**Sandoval-Lira Jacinto.** Nació en Puebla, México; el 11 de septiembre de 1984. Licenciado en Química por la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP) en 2008; Maestro en Ciencias en Química (área de Agroquímica) por la BUAP en 2010; Doctor en Ciencias Químicas (área de Agroquímica) por la BUAP en 2016; Posdoctorado en CIMAV – Unidad Monterrey, Enero 2017 – Febrero 2018; Posdoctorado en CCIQS UNAM-UAEMex Marzo 2018 – Enero 2020. PTC – Tipo A en el TecNM campus ITSSMT desde Febrero 2020

a actual, sus tópicos de interés son enlace químico, interacciones no covalentes, termoquímica computacional y elucidación de mecanismos de reacción de moléculas de química orgánica (pesticidas y fármacos) usando química computacional.

# Impacto del análisis ergonómico en puestos de trabajo del área de habilitado en empresa de manufactura de muebles

M. F. Reyes-Hernandez<sup>1</sup>, J. M. Valdez-Diaz<sup>2</sup>, E. G. Pinales-Valdez<sup>2</sup>, M. J. Carrera-Barraza<sup>2</sup>, B. Carrera-Barraza<sup>3</sup>

**Resumen**—En este proyecto se llevó a cabo la evaluación ergonómica de doce puestos de trabajo en una empresa de manufactura de muebles de madera de la Comarca Lagunera. Se plantea, que las actividades realizadas en al menos el 60% de los puestos de trabajo, presentan condiciones ergonómicas desfavorables, lo cual propicia la presencia de lesiones músculo-esqueléticas, que disminuyen la productividad de los empleados. Durante este trabajo, se llevó a cabo una evaluación, donde se tomaron en cuenta las metodologías Ovako Working Analysis System (OWAS) y Job Strain Index (JSI), las cuales fueron seleccionadas con base a las actividades propias de los puestos de trabajo, estas metodologías se representan mediante formatos de registro de datos de puesto, identificación y selección del trabajador con características antropométricas promedio, así como la generación de informes de postura y repetitividad. Para validar la actividad se elaboraron formatos, registro de datos y análisis posteriores, donde fue posible identificar los puestos que requieren un rediseño ergonómico que mejore las condiciones laborales. Con base en el análisis de los resultados obtenidos, se determinó que aproximadamente un porcentaje mayor al 30% de los puestos del área de habilitado en la empresa, presentan un riesgo alto de desarrollar lesiones músculo-esqueléticas como resultado de la repetitividad de actividades.

**Palabras claves**—ergonomía, jsi, lesiones músculo-esqueléticas, OWAS

**Abstract**—This Project made an ergonomic evaluation of twelve work stations of a wooden furniture manufacturing company from the local region, hypothesis states that at least 60% of work stations have unfavorable ergonomic conditions which leads to musculoskeletal injuries that affect personnel productivity. During this analysis it was done an evaluation using Ovako Working Analysis System (OWAS) and Job Strain Index (JSI) methodologies which were selected based on activities proper to those work stations, these methodologies are represented using formats to record job data, identification and selection of workers based on average anthropological characteristics and creating reports about posture and repetivity. To validate the activity there were created formats, record of data and its later analysis, which allowed to identify work stations that require an ergonomical design to improve working conditions. Based on the

analysis of the study results it was identified that more than 30% of work stations from wood preparation area have indications of high risk for developing musculoskeletal injuries as results of task repetitivity.

**Keywords**—ergonomy, JSI, musculoskeletal injuries, OWAS

## I. INTRODUCCIÓN

La ergonomía es un factor esencial que cualquier empresa debe de considerar, ya que a partir del ambiente de trabajo en el que se desenvuelven los trabajadores serán los resultados que estos aporten a la empresa. Por tal motivo, hoy en día la mayoría de las empresas consideran de suma importancia conocer la situación ergonómica a la que se enfrentan sus trabajadores día con día.

Una organización que cuenta con adecuadas condiciones ergonómicas, que parte desde el diseño como uno de sus principios; genera las mejores garantías para el óptimo rendimiento de trabajo y conservación saludable del recurso humano. [1]

Para la mayoría de las empresas estar conscientes de los riesgos ergonómicos que conlleva su proceso es fundamental, ya que a partir del reconocimiento de riesgos se puede iniciar con la actuación, brindar una zona de trabajo ergonómica a los trabajadores, evitando grandes desembolsos de dinero, ya que hoy en día existen infinidad de enfermedades profesionales que se dan a raíz de las malas posturas adoptadas debido a zonas de trabajo inadecuadas.

Se estima que anualmente se producen alrededor de 2.78 millones de muertes, como consecuencia de accidentes de trabajo y enfermedades relacionadas con la actividad laboral. Si se toma en consideración el aspecto relacionado con la productividad, las lesiones no mortales, pueden repercutir en más de 4 días de incapacidad, como consecuencia de deficientes prácticas en la gestión de seguridad y salud laboral [2].

Estimaciones de la OMS/OIT, indican que casi 2 millones

<sup>1</sup> Gd Apparel, Calzada Lázaro Cárdenas 790, Parque Industrial Lagunera CP: 35078. Gómez Palacio, Durango Coordinadas GPS:25.5659216, -103.4834623

<sup>2</sup> Tecnológico Nacional de México campus Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Avenida Tecnológico N° 1555. Periférico Lerdo Km 14.5 Placido Domingo, cp. 35150, Lerdo Durango México. \*jose.vd@itslerdo.edu.mx

<sup>3</sup> Tecnológico Nacional de México campus Instituto Tecnológico de Torreón, carretera antigua Torreón San Pedro km 7.5 cp. 27170Torreon Coahuila, México.

de personas mueren cada año por causas relacionadas con el trabajo; las primeras estimaciones mundiales de la OMS/OIT sobre enfermedades y lesiones en el lugar de trabajo ponen de manifiesto el nivel de muertes prematuras evitables debidas a la exposición a riesgos sanitarios relacionados con el trabajo. [3]

Los trastornos musculoesqueléticos (TME) son afecciones y/o lesiones que afectan al aparato locomotor, es decir a huesos, tendones, músculos, nervios, articulaciones o ligamentos y otras estructuras que dan soporte y estabilidad al cuerpo humano, los cuales se traducen en todo tipo de dolencias, desde molestias leves y pasajeras, hasta lesiones irreversibles e incapacitantes. [4]

En este proyecto se podrá encontrar la evaluación de cada uno de los diferentes puestos de trabajo existentes en el área analizada, a partir de los resultados de las evaluaciones, se presentará de forma interna en la empresa algunas alternativas para la reducción de los riesgos, así como se presentarán alternativas de soluciones que ayuden a que las condiciones ergonómicas actuales cambien a favor de los trabajadores.

Se presume que por lo menos el 60% de los puestos de trabajo de la empresa, están bajo condiciones ergonómicas inestables, en los cuales se requiere una actuación inmediata. Analizando los datos históricos de esta empresa de manufactura de muebles, se consideró que el área de habilitado, es el área que cuenta con más problemas ergonómicos, por lo cual se decidió comenzar con el estudio en dicha área.

## II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

El presente estudio se realizó en una empresa de manufactura de muebles de la Comarca Lagunera durante el año 2021. En el proceso de producción de muebles de madera de pino y encino (salas, comedores, antecomedores, bufets, consolas, mesas para salas y sillas) de la empresa donde se realizó el proyecto, y cuyos productos son vendidos en todo México, Estados Unidos, Canadá y Europa, no existe la identificación de sus condiciones ergonómicas actuales, aunado esto a lo anterior, el alto índice de rotación de personal es una problemática con la que cuenta esta área ya que es sumamente alta, esto sucede porque se tienen operaciones en las que el trabajador está expuesto a un riesgo postural muy elevado, ya que para realizarlas se necesita mucho esfuerzo físico.

Como resultado del tamiz para la determinación del método a utilizar, Se realizó un listado de los puestos y tareas principales del área para analizar cuál es la situación ergonómica, en la Tabla I se muestra el nombre de puesto y tarea principal.

TABLA I. PUESTOS Y TAREAS PRINCIPALES

No.	Nombre del puesto. (Puestos existentes)	Tarea principal.
1	Operador primario de Molduradora. (1)	No disponible aún.
2	Operador secundario de Molduradora. (1)	Acomodo e inspección de piezas provenientes de molduradora.
3	Operador Sierra cinta. (2)	Manipulación de tableros para corte en sierra cinta y obtención de piezas.
4	Operador principal del Cepillo doble. (1)	Alimentación del cepillo doble.
5	Operador secundario Cepillo Doble. (1)	Recepción y acomodo de piezas provenientes del cepillo doble.
6	Operador Manual Taylor. (1)	Ensamble manual de tablero para silla/sillón.
7	Proveedor de Taylor.(1)	Mandar madera para el ensamble de tablero para silla/sillón.
8	Operador de Taylor. (1)	Ensamble de tablero para silla.
9	Operador principal de Raiman (1)	Introducción de tramos de madera para su corte en raiman.
10	Operador Secundario de Raiman.(1)	Recepción de tramos de madera.
11	Operador principal de Opticut. (1)	Posicionar madera en banda transportadora para corte.
12	Operador secundario de Opticut (1)	Recepción y acomodo de piezas.

Los métodos seleccionados la evaluación de posturas y análisis de repetitividad, corresponden al método *Ovako Working Analysis System (OWAS)* y método *Job Strain Index (JSI)*,

El método Owas se seleccionó ya que es un método adaptable a un rango de posturas alto, evalúa posturas individuales y otorga una calificación para cada una de ellas, el método ayuda a advertir cuando una postura dentro de la actividad es dañina.

La selección del método Job Strain Index (JSI), se debio a la valoración de esfuerzos y riesgo de trastornos musculoesqueléticos de acuerdo a la repetitividad con la que la tarea cuenta. Evalúa el grado de riesgo al que el trabajador está expuesto, método perfectamente aplicable para jornadas mayores a 8 horas.

Después de conocer ampliamente los métodos antes mencionados y la forma en la que se evaluaría se procedió a elaborar los formatos de los informes ergonómicos, tanto como de evaluación postural y de repetitividad para cada puesto de trabajo.

El registro de las posturas adoptadas durante distintas jornadas de trabajo se realizó mediante fotografías, videos y observación directa rápida. Todo esto con la finalidad de plasmar o captar la posición que el operador adopta durante la tarea que estaba realizando.

Se definió las posturas con más riesgo que el trabajador realiza durante su tarea principal, así como la cantidad y/o porcentajes de posturas en cada categoría de riesgo.

Se realizaron formatos de identificación de cada uno de los puestos. Estos formatos contienen datos como datos generales del puesto (área, puesto, tipo de operación, maquina, horario de trabajo y horas en el puesto), datos promedio generales (número de operadores en el área, operadores con las mismas actividades, estatura de referencia en el estudio, estatura promedio, edad de referencia en el estudio y edad promedio del área), condiciones del área de trabajo (temperatura máxima y mínima, dimensiones, iluminación y nivel de ruido), descripción del puesto (altura de manipulación, herramientas utilizadas y descripción de las herramientas), requisitos legales y métodos seguidos, tareas principales del puesto y fiabilidad del documento presentado.

Una vez identificadas cada una de las clasificaciones de postura, lo siguiente fue conocer cuáles son las categorías de riesgo, en la Tabla II se muestran las combinaciones de posturas, así como el tiempo establecido por el método para realizar acciones correctivas.

TABLA II. CATEGORIAS DE RIESGO

Riesgo	Información	Acciones correctivas
1	Postura normal y natural sin efectos dañinos sobre el sistema musculo esquelético	No requiere acción
2	Postura con posibilidad de causar daño al sistema musculo esquelético	En un futuro cercano
3	Postura con efectos dañinos sobre el sistema musculo esquelético	Lo antes posible
4	La carga causada por esta postura tiene efectos sumamente dañinos sobre el sistema musculo esquelético	Inmediatamente

En la realización del método JSI, fue importante conocer cada una de las 6 variables que lo conforman, tales como la intensidad de esfuerzo, duración del esfuerzo, esfuerzos percibidos por minuto, postura mano-muñeca, velocidad de trabajo, valoración de la duración de la tarea por día entre muchas otras cosas, para ello, la teoría del método nos da ciertos rangos para evaluar y obtener los factores de la fórmula del factor JSI, para obtener el nivel de riesgo en el puesto evaluado.

Considerando el análisis de todos estos factores en (1) se muestra la forma de obtención del Strain Index.

$$JOB\ STRAIN\ INDEX = IE \times DE \times EM \times HWP \times SW \times DD \quad (1)$$

La fórmula anterior es el resultado de la multiplicación de 6 factores calculados por medio de las tablas anteriores. Una vez calculada se obtendrá el *Job Strain Index* cuya interpretación se realiza mediante el siguiente criterio:

Los valores de *Job Strain Index* menores y/o iguales al valor estándar de 3, infieren una tarea probablemente segura.

Los valores de *Job Strain Index* superiores y/o iguales al valor estándar de 7 infieren una tarea probablemente peligrosa.

En general, las puntuaciones superiores a 5 están asociadas a desordenes musculo-esqueléticos de las extremidades superiores.

Con las variables establecidas se procedió a la elaboración del informe de evaluación ergonómica. Este formato está definido por los porcentajes de riesgos que alberga cada una de las posturas desempeñadas durante la realización de la tarea.

### III. RESULTADOS

El resultado obtenido durante la evaluación ergonómica de todos los puestos de trabajo evaluados se muestra mediante la Tabla III Puesto, posturas y riesgo.

TABLA III. PUESTO, POSTURAS Y RIESGO

Puesto.	Posturas distintas	Riesgo (%)			
		1	2	3	4
1.- Operador primario de molduradora.		45.42	39.50	15.08	0
2.- Operador secundario de molduradora.	17	17.65	70.59	0	11.76
3.- Operador de Sierra cinta.	32	46.88	40.63	9.38	3.13
4.- Operador principal del Cepillo doble.	41	26.32	34.21	31.58	7.89
5.- Operador secundario Cepillo Doble.	25	12	56	28	4
6.- Operador Manual Taylor.	59	16.95	38.98	27.12	16.95
7.- Proveedor de Taylor.	41	35.44	46.84	16.88	0.84
8.- Operador de Taylor.	38	18.18	63.64	18.18	0
9.- Operador principal de Raiman.	17	17.65	64.71	17.65	0
10.- Operador Secundario de Raiman.	13	30.77	46.15	23.08	0
11.- Operador principal de Opticut.	17	41.18	52.94	0	0
12.- Operador secundario de Opticut.	10	10	60	30	0

En la Tabla IV Porcentaje de tipo de riesgo en puesto de trabajo se muestran los puestos que contienen los porcentajes más elevados correspondientes al riesgo 3 y riesgo 4. Cabe resaltar que las categorías de riesgo comentadas

anteriormente son las que probablemente puedan propiciar enfermedades musculo esqueléticas en los trabajadores.

TABLA IV. PORCENTAJE DE TIPO DE RIESGO EN PUESTO DE TRABAJO

Puesto	Riesgo 4
6.- Operador manual de Taylor.	16.95 %
2.- Operador secundario de molduradora.	11.76 %
3.- Operador principal de cepillo doble.	7.89 %
Puesto	Riesgo 3
4.- Operador principal del Cepillo doble.	31.58 %
12.- Operador secundario de Opticut.	30 %
10.- Operador Secundario de Raiman.	23.08 %

En base al análisis de los resultados obtenidos de los formatos de repetitividad basándose en el método JSI se presenta la Tabla V Factores obtenidos strain index la cual engloba los datos obtenidos de cada puesto de trabajo

TABLA V. FACTORES OBTENIDOS STRAIN INDEX

Puesto.	IE	SW	HWP	DD	DE	EM
1.- Operador primario de molduradora.	1	1.5	1.5	1.5	0.5	0.5
2.- Operador secundario de molduradora.	1	1.5	1.5	1.5	0.5	0.5
3.- Operador de Sierra cinta.	1	1	1.5	1.5	0.5	0.5
4.- Operador principal del Cepillo doble.	3	1.5	1.5	1.5	0.5	1
5.- Operador secundario Cepillo Doble.	3	1.5	1	1.5	1	0.5
6.- Operador Manual Taylor.	9	1	2	1.5	1.5	0.5
7.- Proveedor de Taylor.	1	1	1.5	1.5	0.5	0.5
8.- Operador de Taylor.	3	1	2	1.5	1	0.5
9.- Operador principal de Raiman.	3	1	1.5	1.5	1	0.5
10.- Operador Secundario de Raiman.	3	1	1.5	1.5	0.5	0.5
11.- Operador principal de Opticut.	1	1	1	1.5	0.5	0.5
12.- Operador secundario de Opticut.	1	1.5	1.5	1.5	0.5	0.5

Los puestos que tienen mayor índice de riesgo se observan en la Figura 1 Grado de riesgo en los puestos, En este caso el puesto con mayor grado de riesgo en repetitividad de acuerdos a los esfuerzos realizados es el puesto seis que corresponde al operador manual de Taylor.

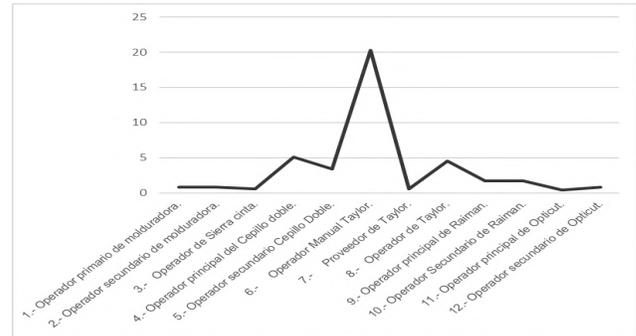


Figura 1. Grado de riesgos en los puestos

#### IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

Se concluye que las metodologías seleccionadas en base a lo{s} criterios de los puestos de trabajo fueron las correctas ya que los resultados obtenidos por ambas metodologías concuerdan en sus valores más altos en este caso correspondiente al puesto de trabajo número seis Operador Manual Taylor.

Por lo tanto, se recomienda tomar acciones correctivas de forma inmediata en relación al nivel de carga y el tiempo de exposición propios del puesto de trabajo para evitar desarrollar una enfermedad musculo esquelética derivada de las posturas que se realizan y la repetitividad de las mismas.

#### V. REFERENCIAS

[1] Escalante, M., Núñez, M., & Izquier, H. (2018). Evaluación ergonómica en la producción. Caso de estudio. *Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias*, VI(21), 73-90. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=215058535006>

[2] Criollo Tupiza, E. G. (2021). Evaluación de los riesgos ergonómicos en el proceso de producción de la empresa MAFRICO S.A. Repositorio.uisek.edu.ec. <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/4279?mode=full>

[3] Organización Mundial de la Salud. (21 de Septiembre de 2021). *Organización Mundial de la Salud*. Recuperado el 10 de Abril de 2022, de Organización Mundial de la Salud: <https://www.who.int/es/news/item/16-09-2021-who-ilo-almost-2-million-people-die-from-work-related-causes-each-year>

[4] Cenea. la ergonomía laboral en el siglo xxi. (20 de abril de 2022). *cenea. la ergonomía laboral en el siglo xxi*. doi:<https://www.cenea.eu/riesgos-ergonomicos/>

## VI. BIOGRAFÍA



**Reyes Hernández María Fernanda.** Gómez palacio Durango, 20 de junio de 1997. Ingeniero industrial, egresada del Tecnológico Nacional de México Campus Superior de Lerdo (2020). Capacitada en área de ergonomía, seguridad industrial y análisis de riesgo en los puestos de trabajo (2019). Ella Actualmente labora en la empresa GD APPAREL Gómez Palacio, Dgo. México. en el área de embarques desempeñándose en labores administrativas y operativas. Como

manejo de todo el sistema interno de control de inventarios de dicha empresa. Manejo especial de saldos (producto no embarcado). Responsable del análisis estadístico del estatus de los embarques para reporte gerencial. Proveedor de insumos requeridos para cumplir con lo solicitado por el cliente. Apoyo operativo en eficientar el proceso de entradas y salidas de mercancía en el departamento. Las líneas de investigación de interés están orientadas a la seguridad e higiene, y optimización de la cadena de suministro.



**Valdez Diaz José Manuel.** Gómez Palacio, Dgo., México, 17 Septiembre de 1974. Maestro en Ciencias en Ingeniería Industrial del Tecnológico Nacional de México campus La Laguna (2008), Ingeniero industrial en Eléctrica del Tecnológico Nacional de México campus La Laguna. El Actualmente labora en el Tecnológico Nacional de México Campus Superior de Lerdo Ubicado Avenida Tecnológico N° 1555. Periférico Lerdo Km 14.5 Placido Domingo, Lerdo Durango México

como profesor de medio tiempo en la Carrera de Ingeniería Industrial, impartiendo materias como Dibujo Industrial, Simulación, Estadística Inferencial, Gestión de sistemas de calidad, Ingeniería de sistemas, Algoritmos y lenguajes de programación. Las líneas de investigación de interés están orientadas al Diseño industrial y la optimización de la producción,



**Pinales Valdez Edgar Guadalupe** Gómez Palacio, Dgo., Mexico, 01 de noviembre de 1990. Ingeniero Maestro en sistemas de calidad del Instituto Internacional de Administración Estratégica (2022), Mecatrónico con especialidad en automatización y control del del Tecnológico Nacional de México campus La Laguna. (2019). El Actualmente labora en el Tecnológico Nacional de México Campus Superior de Lerdo Ubicado Avenida Tecnológico N° 1555. Periférico Lerdo

Km 14.5 Placido Domingo, Lerdo Durango México como profesor de tiempo parcial impartiendo materias como Medición y Mejoramiento de la productividad, Logística, Gestión de los sistemas de calidad, Desarrollo Sustentable, Procesos de fabricación y control estadístico de la calidad. Las líneas de investigación de interés están orientadas la manufactura avanzada, administración de proyectos



**Carrera Barraza Manuel de Jesús.** Torreón, Coahuila. México. 5 de junio de 1984. Master of Science in Multidisciplinary Studies from the State University of New York (2022), Maestro en administración de sistemas de calidad de la Universidad del Valle de México Campus Torreón (2010). Ingeniero industrial del Tecnológico Nacional de México campus La Laguna7 (2007). El Actualmente labora en el Tecnológico Nacional de México Campus Superior de Lerdo Ubicado

Avenida Tecnológico N° 1555. Periférico Lerdo Km 14.5 Placido Domingo, Lerdo Durango México como profesor de tiempo parcial impartiendo materias como Administración de Operaciones, Estudio del Trabajo, Probabilidad y Estadística, Desarrollo Sustentable y Sistemas de Manufactura. Las líneas de investigación de interés están orientadas la manufactura avanzada, administración de proyectos.



**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 Tecnológico Nacional de México campus La Laguna (2008), Ingeniera Industrial del Tecnológico Nacional de México campus La Laguna. Ella Actualmente labora en el Tecnológico Nacional de México campus Torreón, Ubicado en

carretera Torreón-San Pedro km 7.5, como Profesor de tiempo parcial. En la Carrera de Ingeniería en Logística, impartiendo materias como Administración de la calidad, Control Estadístico de la Calidad, Higiene y Seguridad. Las líneas de investigación de interés están orientadas a la optimización de la producción, control de la calidad y seguridad e higiene.

# Algoritmos de clasificación en la cosecha del brócoli

R. Juárez-Del-Toro<sup>1</sup>, J. Castrejón-Lozano<sup>2</sup>, F. Salas-Pérez<sup>3</sup>

**Resumen**—El aprendizaje automático se ha convertido en una herramienta de análisis de datos de mayor uso en nuestros tiempos y en casi todas las áreas del conocimiento. Esto se debe en gran medida a la creciente disponibilidad de información a la que podemos tener acceso y que son generados por sensores, encuestas, fotografías, dispositivos móviles, etcétera. Los algoritmos de clasificación son parte de los algoritmos de aprendizaje automático supervisado y permiten la clasificación de los datos nuevos, en categorías bien definidas con datos de entrenamiento. La agricultura es una fuente natural de información muy amplia y permite a los productores determinar por ejemplo el tiempo adecuado de cosecha, los volúmenes y rendimientos de producción o bien el análisis riesgos de manera anticipada. En una empresa agrícola regional que siembra brócoli es indispensable determinar el tiempo preciso de madurez en el que debe cosecharse el producto. Esta información le permite al agricultor planear la contratación de personal, el uso de máquinas, la disponibilidad de espacios físicos, entre otros. En este trabajo se hace una comparación de algoritmos de clasificación del aprendizaje automático supervisado, escritos en Python, que determinan el momento correcto de cosecha. El artículo también repasa las principales ventajas y desventajas del uso de estos algoritmos de clasificación en este tipo de análisis en la agricultura.

**Palabras claves**—aprendizaje automático, algoritmo de clasificación, agricultura, IA, día de cosecha

**Abstract**—Machine Learning has become the most widely used data analysis tool in our world in all areas of knowledge. The information available every day which is generated by sensors, questionnaires, the internet, mobile devices, etc. is mind-boggling. Classification is a supervised learning algorithm to identify a category of new observations based on training data. Agriculture generates priceless information to forecast the harvest dates, crop yield, or the risk analysis. A local farm where vegetables are the main product wish to determine the precise maturity time in which the product must be harvested. The data analysis allows for planning the employee recruiting, for using the machinery and equipment, for the availability of physical spaces, among others. In this work, a number of classification algorithms are performed: Linear models for example Logistic regression and Support Vector Machine; and nonlinear models for example K-nearest Neighbours, Naïves Bayes, Multilayer Perceptron, Stochastic Gradient Descent, Decision Tree and Forest Random. decision tree, random forest; all written in Python. The classifiers learned how to identify the correct

moment (features values) when the plant is ready to be harvested. The article also includes the missing data and the regression analysis.

**Keywords**— agriculture, AI, classification algorithm, harvesting date, ML

## I. INTRODUCCIÓN

El objetivo de este trabajo es comprobar la efectividad de los algoritmos clasificadores que existen en el aprendizaje automático supervisado para identificar cuando el ÁREA DEL FLORETE de la planta de brócoli ha alcanzado un tamaño adecuado para que pueda cosecharse. Las variables denominadas características son las variables de mayor significancia e influencia en la identificación del área del florete de la planta. En este trabajo, se analizaron sólo variables biométricas del brócoli. Las variables biométricas son el conjunto de características que describen a una planta, como sus dimensiones, peso, diámetro, número de hojas, áreas, etcétera. La idea es identificar aquellas características biométricas que permitan indicar cuando el brócoli tiene el tamaño correcto, o el área del florete correcto para ser cosechado. Esta información facilitaría el proceso de planeación de la cosecha, por ejemplo, la contratación anticipada del personal y maquinaria de cosecha, la disponibilidad de espacios físicos para el almacenamiento, y hasta la prevención de riesgos en la cosecha como plagas o condiciones climáticas inesperadas, ayudando a optimizar los ingresos para el rancho. Esta es la forma en que los cosechadores expertos miden el tiempo exacto de cosecha en el campo. Las herramientas de clasificación por aprendizaje automático brindan una valiosa herramienta a partir de la cual es posible estimar la fecha correcta de cosecha. La predicción de cosecha de los cultivos es una tarea relativamente difícil debido a la complejidad de la relación entre el proceso de crecimiento de la planta y los factores ambientales como el clima.

El brócoli es un cultivo que ha recibido una atención considerable con respecto a la predicción de la fecha de cosecha Marshall y Thompson (1987), Pearson et al. (1993), Fujime y Okuda (1994), Default (1997). Wurr et al. (1992)

<sup>1</sup> Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. División de posgrado. Av. Tecnológico 1555, Colonia Periférico. C.P. 35150, Ciudad Lerdo, Durango. México. Raymundo.jt@itslerdo.edu.mx

<sup>2</sup> Universidad Politécnica de Gómez Palacio. Ingeniería en Tecnologías de Manufactura. Carretera El Vergel-La Torreña Km 820, Colonia El Vergel. C.P. 35120, Gómez palacio, Durango. México\*gjcastrejon@upgop.edu.mx.

<sup>3</sup> Universidad Autónoma de Coahuila. Unidad Torreón. Facultad de Contaduría y Administración. Blvd. Revolución 151 oriente, Colonia centro. C.P. 27000, Torreón, Coahuila. México. francisco.salas@uadec.edu.mx

estableció una relación cuadrática entre el logaritmo natural del diámetro de la cabeza y los grados diarios efectivos acumulados desde el inicio de la cabeza, que podría usarse para predecir cuándo las cabezas alcanzan un tamaño específico. Se desarrolló un modelo informático para predecir las fechas de cosecha después de tomar muestras de la cabeza en una etapa joven. Grevsen (1998) describió una relación cuadrática similar entre el logaritmo del diámetro de la cabeza de brócoli y los grados-día acumulados. Se obtuvo una marcada mejora en la bondad del ajuste al incluir la densidad de plantas y el cultivar en la relación. La relación se puede usar para pronosticar cuándo las cabezas alcanzan cierto tamaño. Las cabezas nunca se iniciaron antes de que se formaran al menos siete hojas visibles y se sugirió que el número de hojas se puede usar para indicar el momento más temprano posible para el muestreo del diámetro de la cabeza.

La presente contribución tiene la siguiente estructura, la sección 1 presenta la introducción y el estado del arte sobre el trabajo. En la sección 2 se presenta la descripción de variables, el análisis de correlación y la selección de variables significativas y características. En la sección 3 presentamos los resultados de la aplicación de los algoritmos de clasificación, tomando en cuenta el área del florete de la planta. La sección 4 presenta las conclusiones del trabajo y finalmente se presentan los agradecimientos y las referencias más importantes.

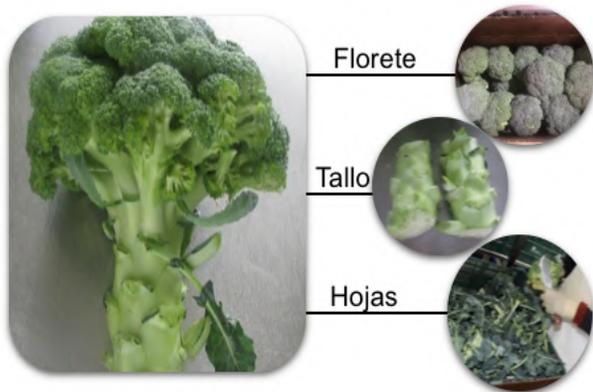


Figura 1.1. Partes de la planta del Brócoli.

## II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

Rancho Medio Kilo (RMK), en Aguascalientes México, es una finca familiar, social y ecológicamente responsable, que produce, procesa y distribuye vegetales como brócoli, coliflor, zanahoria, calabaza, acelga, espinaca, cebolla, lechuga, tomate, chile, etc. El brócoli convencional representa el 39% de la producción de RMK para todos sus productos y se utiliza únicamente en dos variedades etiquetadas como V106 y V194. La diferencia principal entre ellas es la capacidad de soportar el clima frío de invierno (V194) pero no es el centro de esta contribución. En tiempo

de cosecha, RMK tiene que contratar el personal necesario, tener disponible la maquinaria y todos los recursos adicionales para el proceso de cosecha. En el RMK, la superficie de producción se divide en parcelas o *Tablas* que se dividen a su vez en secciones. Hay cuatro Tablas etiquetadas como Ch127, Ch143 y Ch108. Cada Tabla de alrededor de cuatro hectáreas tiene cuatro secciones de aproximadamente una hectárea. Las variedades de brócoli V106 y V194 se cultivan al azar en mayo en Ch127. Las variedades de brócoli V106 y V194 también se cultivan al azar en julio en Ch143. Solo el brócoli V194 se cultiva en septiembre en Ch108. Entonces la variedad de brócoli V194 es la variedad resistente al frío. En este trabajo solo se aplican diferentes clasificadores para determinar el tiempo preciso de cosecha de brócoli, con el objetivo de tomar decisiones en cuanto a la planificación estacional del cultivo, y para equilibrar la cantidad de medios de producción utilizados, como mano de obra humana, maquinaria, anticipación de recursos, y también para estar preparado para reaccionar contra plagas o condiciones climáticas inesperadas. El rancho desearía anticiparse respecto a un período de treinta días antes del inicio de la cosecha.

La Figura 2.1 ilustra el ciclo de cultivo del brócoli en un gráfico en una granja local, desde la siembra hasta la cosecha. Hay tres períodos de siembra en el rancho. Cada período de siembra comienza alrededor de cuatro o cinco días después del anterior. El eje horizontal indica el día exacto del calendario y la semana desde el comienzo del primer período de siembra. El ciclo de cultivo del brócoli oscila alrededor de 14 semanas desde la primera etapa de siembra hasta el último día de cosecha. Ver Figura 2.2. Hay un período de proyección de 40 días a partir del inicio de cada etapa de siembra en una Tabla. El período de cosecha comienza alrededor de los 70 días u 11 semanas después de cada inicio de siembra. En el período de cosecha, el rendimiento del cultivo aumenta hacia el máximo de 8 a 10 días después del inicio. Después de eso, el rendimiento de los cultivos disminuye. La forma del rendimiento del cultivo en cada etapa de siembra en el gráfico tiene una forma gaussiana.

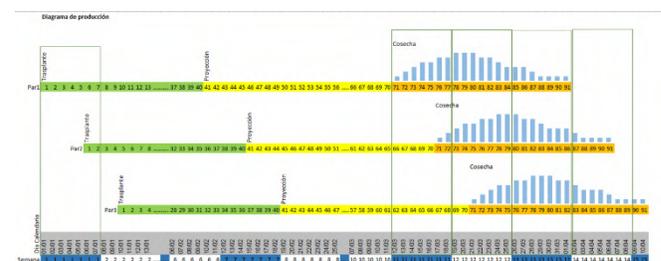


Figura 2.1. Ciclo del cultivo del Brócoli en la empresa de horatizas.

El ciclo vegetativo del brócoli oscila entre 58 y 120 días

dependiendo de las características genéticas de las variedades, el manejo agronómico y las condiciones climáticas al momento de la siembra, cultivo y cosecha. Jaramillo et al. (2006) y Maroto Borrego y Baixauli Soria (2007) dicen que desde la germinación de la semilla hasta la plántula hay aproximadamente 30 días. La plántula se caracteriza por la formación de hojas y raíces, tres o cuatro hojas bien formadas con 10-12cm de altura y está lista para trasplantar a campo. Desde que las plántulas han sido trasplantadas a los 40 días, el primordio floral ha subido y se visualiza perfectamente. La planta de brócoli ahora tiene 70 días. La altura, diámetro del tallo, biomasa, número de hojas y área foliar muestran un incremento logarítmico existiendo también una proliferación de hojas. Según Jaramillo et al. (2006), el cierre del dosel ocurre alrededor de los 35 días después del trasplante y muestra un desarrollo acelerado de las hojas para la captación de radiación. La cabeza floral aparece de 40 a 45 días después del trasplante y cuando la planta tiene de 18 a 20 hojas. A partir de este momento comienza un crecimiento lineal de la planta y en especial de la cabeza floral. Se confirma por Jaramillo et al. (2006) que la tasa de emisión foliar, la tasa de evolución de la superficie foliar y la tasa de crecimiento del tallo, disminuyen entonces. Maroto (1989), estudió la influencia de las condiciones físicas del suelo y la humedad, en la emergencia floral. La inflorescencia se presenta cuando las flores aún no están abiertas y dura de 20 a 25 días. La inflorescencia presenta un crecimiento exponencial en diámetro y biomasa. Alrededor de los 55 días después del trasplante comienza un período de crecimiento lento. Luego, de 60 a 65 días después del trasplante, aparece un período más rápido hasta la cosecha. En esta etapa se produce la translocación de fotoasimilados. Luego aumenta el diámetro del tallo y la altura presenta un segundo pico de crecimiento debido al aumento del tamaño de la cabeza. El ciclo del cultivo depende de las variedades, las condiciones edafoclimáticas y hídricas, e incluso de las prácticas culturales y de fertilización.



Figura 2.2. Ciclo de crecimiento del Brócoli.

La base de datos y todas las variables se agruparon en tres grupos principales de variables: Biometría e identificación (ID), que describen la edad de la planta y la ubicación real en el gráfico. El grupo de biometría se describe más adelante en un subtema. El grupo de identificación describe la variedad y ubicación de cada planta en el campo, e incluye la observación, número de planta, variedad, cuadro, sección,

surco y estación. Debido a la importancia económica las variables de pronóstico en esta contribución se desea determinar el tamaño correcto del florete de la planta para determinar el día de cosecha. A pesar de que el segundo y tercer período de cosecha representan los 80% de la producción total, el primer periodo de cosecha es el más importante. En esta contribución se toman en cuenta todas las observaciones posibles en los datos: de mayo a diciembre de 2019; aun teniendo claro que existen tres períodos de cosecha diferentes en un año (2019): de mayo a agosto para Ch127; de julio a octubre para Ch143; y de septiembre a diciembre por Ch108. El brócoli convencional es el cultivo objetivo en esta contribución. La fecha de cosecha del brócoli se refiere a los períodos durante los cuales realmente ocurre la cosecha del cultivo. No se extienden al período subsiguiente en el que algunos productos se almacenan en el campo después de la cosecha. Las fechas que se muestran indican los períodos en los que se plantan y cosechan los cultivos en la mayoría de los años. No tienen en cuenta fechas excepcionalmente tempranas o tardías de siembras y cosechas dispersas, ni temporadas anormales causadas por condiciones climáticas o económicas.

#### A. Variables de biometría vegetal

Los datos de biometría de crecimiento de brócoli se recopilaron en RMK de cada uno de los tres períodos de cultivo en 2019. Uno para cada tabla de cultivo en la tierra de RMK: Ch127, Ch143 y Ch108, respectivamente. Algunas variables biométricas del crecimiento de las plantas se obtuvieron utilizando métodos de recolección destructivos. Tales variables incluyen peso fresco y seco de hojas, tallo, ramas laterales, cogollo y la planta completa. El resto de las variables biométricas de las plantas se obtuvieron mediante métodos no destructivos. Tales variables incluyen el número de hojas y hojas dobladas, la longitud y el diámetro del tallo desde la base de la planta, y la superficie foliar y de la flor. En la Figura 1.1 se ilustran las partes principales del brócoli. Como se ha mencionado, la altura, el diámetro del tallo, la biomasa, el número de hojas y el área foliar muestran primero un aumento logarítmico con una proliferación de hojas. Luego, cuando aparece el capítulo floral y la planta tiene de 18 a 20 hojas, comienza un crecimiento lineal para la planta y especialmente el capítulo floral. Finalmente, la inflorescencia presenta un crecimiento exponencial en diámetro y biomasa. Luego aumenta el diámetro del tallo y la altura presenta un segundo pico de crecimiento debido al aumento del tamaño de la cabeza. Debido a este hecho, es más difícil pronosticar el rendimiento de un cultivo o la fecha de cosecha a intervalos periódicos durante la temporada de crecimiento. Sin embargo, se debe seleccionar cuidadosamente un conjunto apropiado de tales características para incluirlo en el modelo de pronóstico y

como un indicador útil del resultado final de la fecha de cosecha y el rendimiento del cultivo, que se miden sin mucho error y multicolinealidad. Finalmente, un método de recopilación destructiva permanente de observaciones sobre las características biométricas no es económicamente factible.

*B. Análisis de correlación*

El análisis de correlación es el análisis estadístico para realizar la selección de predictores o en este caso de clasificadores. El factor de correlación denominado coeficiente de Pearson, cuyo valor está en el intervalo  $[-1,1]$ , determina el orden de importancia respecto al pronóstico. El análisis de correlación nos permite seleccionar los principales predictores significativos. Una correlación perfecta también es un efecto indeseable en las relaciones variables y debe evitarse. Se realiza un análisis de correlación del 99% de significancia, entre la variable de interés y el grupo de biometría, y las observaciones en los tres periodos de cosecha en un año (2019): De mayo a agosto para Ch127; de julio a octubre para Ch143; y de septiembre a diciembre por Ch108. La Tabla I presenta predictores más significativos para la variable ÁREA DEL FLORETE. Son 10 variables significativas de un total de 20 variables biométricas, es decir sólo el 50% de las variables fueron significativas. El PESO FRESCO TOTAL, TALLO PESO FRESCO, CABEZA PESO FRESCO, TALLO PESO SECO, CABEZA PESO SECO y PESO SECO TOTAL, son todas variables destructivas y se refieren al peso de cada uno en gramos. Las variables DIAMETRO TALLO BASE, DIAMETRO TALLO 5 CM, DIAMETRO TALLO 15 CM y DIAMETRO TALLO 20 CM, son todas variables NO destructivas. Es deseable que exista significancia sólo de variables NO destructivas sin embargo esto no es así en este caso. Incluso, el nivel de significancia es mayor de las variables destructivas.

TABLA I. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN DE CARIABLES CLASIFICADORAS RESPECTO AL ÁREA DEL FLORETE. NIVEL DE SIGNIFICANCIA AL 99%. N=172 DATOS FALTANTES

Variables clasificadoras	Área del Florete. Coeficiente de Pearson
PESO FRESCO TOTAL	0.627
TALLO PESO FRESCO	0.360
CABEZA PESO FRESCO	0.889
DIAMETRO TALLO BASE	0.490
DIAMETRO TALLO 5 CM	0.321
DIAMETRO TALLO 15 CM	0.210
DIAMETRO TALLO 20 CM	0.490
TALLO PESO SECO	0.255
CABEZA PESO SECO	0.920
PESO SECO TOTAL	0.554

El resto de las variables como: DIAS A INFLORESCENCIA,

NUMERO DE HOJAS, NUMERO DE HOJAS DOBLADAS, AREA FOLIAR, LONGITUD DEL TALLO, HOJAS PESO FRESCO, HOJAS PESO SECO, DIAMETRO TALLO 10CM y el PESO DE LOS BROTES LATERALES no fueron significativas para el grupo. La gráfica de la Figura 2.3 muestra el comportamiento de las variables significativas de la Tabla I. Es importante notar en este punto que las variables significativas presentan datos faltantes que limitan su uso en los algoritmos de regresión y de clasificación. La variable CABEZA PESO SECO no se incluye en la gráfica de la Figura 2.3 por esta razón. Entonces es necesario el análisis de datos faltantes para evitar sus efectos en los análisis posteriores.

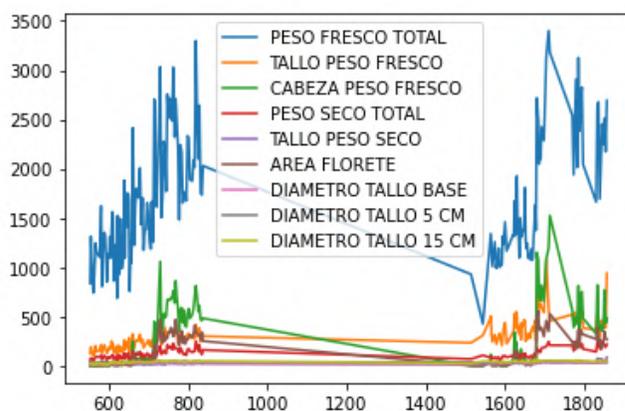


Figura 2.3. Variables significativas para el ÁREA DEL FLORETE.

*C. Análisis de datos faltantes*

Las variables significativas obtenidas del análisis anterior reducen el conjunto de variables original en el 50% sin embargo no pueden utilizarse en el análisis de clasificación sin antes hacer un análisis de datos faltantes. Este análisis es parte fundamental del llamado pre-procesamiento de datos. Hay varias opciones para evitar un efecto indeseable de este tipo de datos en los algoritmos de Aprendizaje Automático. Entre estas opciones de tratamiento de este tipo de datos se encuentra su eliminación y varios tipos de interpolación o extrapolación numérica. En este trabajo haremos una eliminación tanto de las observaciones faltantes como de las variables con pocos datos disponibles. Las variables con pocos datos disponibles fueron: CABEZA PESO SECO y DIAMETRO A 20 CM, y se eliminaron de la base de datos.

*D. Selección de clasificadores*

El grupo de variables de estudio en esta parte del trabajo se reduce al considerar un análisis de clasificación inicial por Árbol de Decisión, que permite identificar las variables precisas que son características principales del algoritmo de clasificación. Los rasgos o características son las variables de

un experimento científico, son características de un fenómeno bajo observación que pueden ser medidas u observadas. Cuando estas características alimentan un algoritmo de aprendizaje automático, el algoritmo intenta descubrir patrones entre ellas. Estos patrones se usan para generar las salidas de estas redes de aprendizaje. Las salidas de la red se denominan etiquetas. Cuando la salida obtenida de ciertas características recibe cierta etiqueta por la red, entonces se dice que cae en cierta categoría existente. Un clasificador por árbol de decisión reduce el conjunto de datos en subgrupos cada vez más pequeños sobre diferentes criterios. Una vez que el árbol divide los datos en un solo dato, este se ubica en una de las posibles clases existentes. La Figura 2.4 muestra el árbol de decisión y los clasificadores más importantes en el proceso: CABEZA PESO FRESCO, TALLO PESO FRESCO, DIAMETRO TALLO BASE y DIAMETRO TALLO 15 CM. Estas variables serán las características para los demás clasificadores.

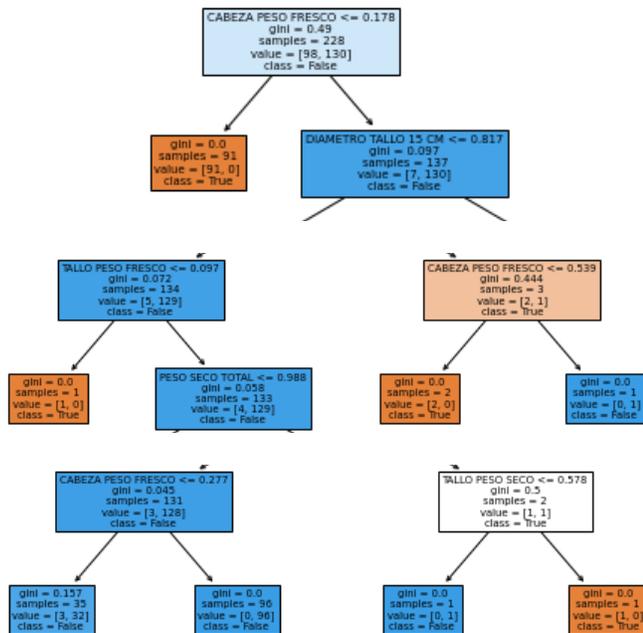


Figura 2.4. Árbol de decisión para identificación de características.

Los siete algoritmos de clasificación mostrados en la Tabla II son los más comunes y los que aplicaremos en este trabajo. Estos algoritmos fueron seleccionados como los de mayor uso y eficiencia en el aprendizaje automático supervisado.

TABLA II. LISTA DE ALGORITMOS DE CLASIFICACIÓN DEL APRENDIZAJE AUTOMÁTICO SUPERVISADO MÁS COMUNES

Algoritmos Clasificadores	Tipo
Multi Layer Pceptron MLP	Lineal
Logistic Regresión	Lineal
Naive Bayes	No Lineal
K-Neighbors	No Lineal
Support Vector SVC	Lineal
Gaussian SGD	Lineal
Aleatorian Decisión Tree	No Lineal

El clasificador por Perceptrón Multicapa MLP implementa el uso de las redes neuronales para entrenarse por backpropagation y mapea o clasifica los datos de entrada en conjuntos apropiados de salida. EL MLP se caracteriza por varias capas de neuronas de entrada, conectados por flechas dirigidas entre la entrada y la salida. La clasificación por Regresión Logística genera predicciones sobre los datos de prueba hacia una escala binaria de 0 y 1. Si el valor de un dato es 0.5 o mayor, entonces se clasifica automáticamente como de la clase 1, mientras que si su valor está por debajo de 0.5, entonces se clasifica perteneciente a la clase 0. Cada una de las características también se etiquetan con ceros y unos. La Regresión Logística es un clasificador lineal y se usa cuando existe cierta relación lineal entre los datos. El clasificador por Naive-Bayes determina la probabilidad de que una observación pertenezca a una clase, calculando la probabilidad de que un evento ocurra dado que algunos eventos de entrada han ocurrido. Cuando esto sucede, se asume que todos los predictores de una clase tienen el mismo efecto sobre la salida, ya que los predictores son independientes. El clasificador por K-Vecinos opera revisando la distancia desde una observación particular hacia los valores de entrenamiento. El grupo de datos que arrojan la menor distancia entre estos datos de entrenamiento y los de prueba sirve para determinar la clase a la que pertenecen. La clasificación por Vectores de Soporte trabaja dibujando líneas que separan los diferentes grupos de datos y agrupan a las posibles clases que existen. Los datos de un lado de la línea pertenecen a una clase y los datos al otro lado son de otra clase diferente. Este clasificador maximiza la distancia entre la línea y los puntos a cada lado de ella para incrementar la visualización de las clases. Cuando se grafican los puntos de prueba es muy claro identificar a que clase pertenece cada dato. El clasificador lineal por Gradiente Descendente (SGD) optimiza cualquier clasificador lineal (SVM, Regresión logística, etc.). Es decir, el Gradiente Descendente no es un clasificador en sí, sino una herramienta de optimización que minimiza o maximiza la función de pérdida de algún clasificador lineal. Cada algoritmo de clasificación está complementado por la Matriz de Confusión, que es una herramienta que permite la visualización del desempeño de un algoritmo que se emplea en aprendizaje supervisado. Cada columna de la matriz representa el número de predicciones de cada clase, mientras que cada fila representa a las instancias en la clase real. Uno de los beneficios de las matrices de

confusión es que facilitan ver si el sistema está confundiendo dos clases. La matriz de confusión del árbol de decisión anterior se muestra en la Figura 2.5.

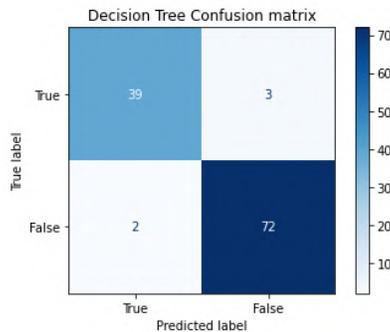


Figura 2.5. Matriz de confusión para el árbol de decisión.

En esta matriz puede notarse que ambas categorías quedan muy bien identificadas y definidas, descritas por el mayor número de observaciones o conteos sobre la diagonal principal. El caso de los falsos positivos está escasamente descrito por los conteos en la diagonal secundaria de la matriz.

E. Preprocesamiento de los datos

El procesamiento de los datos en el aprendizaje profundo es fundamental para implementar cada herramienta de la Inteligencia Artificial. El preprocesamiento de los datos incluye al análisis de datos faltantes; la conversión de los datos categóricos a numéricos, ya que el aprendizaje automático sólo trabaja con este tipo de datos; el escalamiento de características; y la separación de datos de entrenamiento y de prueba. El análisis de datos faltantes ya se abordó en la sección anterior y en este caso no se cuenta con datos categóricos. Antes del escalamiento de las características y la separación de los datos de entrenamiento y los de prueba, se presenta un análisis gráfico de las variables predictoras o clasificadoras obtenidas. Este análisis permitirá confirmar porque estas variables significativas son las características adecuadas para los algoritmos de clasificación. El análisis gráfico incluye la matriz de correlación que confirma la significancia entre las características obtenidas. El diagrama a pares muestra la distribución de la muestra en pares de variables y da una idea clara de que tan definidas o claras están distribuidas las clases bajo análisis. El diagrama a pares tiene el mismo propósito que la gráfica de coordenadas paralelas donde cada fila de las variables características se representa por una línea que atraviesa un conjunto de ejes paralelos, un eje por cada dimensión o número de variable. El análisis de correlación de las variables características comprueba la significancia e influencia de este grupo de variables. Los valores de Pearson obtenidos se muestran en la matriz de correlación de la Figura 2.6.



Figura 2.6. Matriz de correlación entre variables características

El diagrama a pares de la Figura 2.7 muestra la relación a pares de las variables características. Puede notarse una clara separación de ambas clases en los datos. En algunas combinaciones la separación de ambas no es tan clara pero este efecto es aceptable para la implementación de los algoritmos de clasificación.

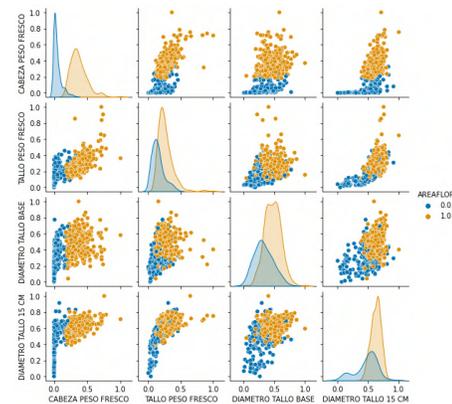


Figura 2.7. Diagrama a pares de las variables características.

La Figura 2.8 muestra la gráfica de coordenadas paralelas de las variables significativas. El color de cada línea permite identificar a las clases en los datos. En este ejemplo en particular, las líneas de color rojo se identifican como una clase con una relativa separación de las líneas de color azul, que representan la segunda clase en los datos. Es decir, es posible hacer una separación de dos clases bien definidas en los datos de las variables características.

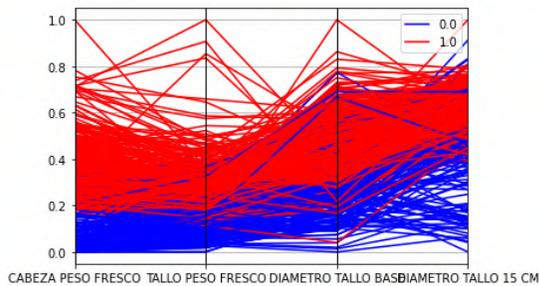


Figura 2.8. Curva de magnetización

El escalamiento de las variables características es la forma de homologar los datos para ser utilizados sin hacer distinciones numéricas entre ellos. Existen dos tipos de escalamiento de las variables características, la Normalización y la Estandarización de los datos. El primero se refiere a transformar los valores en un rango de [0, 1], mientras que la estandarización se encarga de imponer media cero y varianza uno a los datos normalizados. La separación de los datos se realiza comúnmente para evitar el efecto de sobre-ajuste u overfitting y generalmente se separa en dos conjuntos de datos, de entrenamiento y de prueba. Dos tercios de estos datos se usan para formar el primer subconjunto y un tercio para formar el subconjunto de prueba. Tanto el procesamiento como la separación de los datos se realiza a través de las siguiente instrucción en Python:

#Línea de código en Python para el escalamiento de los datos y la separación en entrenamiento y prueba.

```
#Escalamiento de los datos
scaler = MinMaxScaler()
data4update[cols2] = scaler.fit_transform(data4update[cols2])

# Separación en datos de entrenamiento y de prueba
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(feature, target, shuffle=True, test_size=0.2, random_state=1)
```

### III. RESULTADOS

Después de haber realizado el análisis de datos faltantes y la identificación de variables significativas respecto al ÁREA DEL FLORETE, se realiza un suavizado de los datos que permite la aplicación de los algoritmos de clasificación. En el análisis de datos faltantes se eliminaron todas las observaciones faltantes y aquellas variables cuyo número de datos faltantes es mayor al 50% del número total de observaciones totales. El grupo de variables reducido contiene sólo las variables que el árbol de decisión identificó como de mayor influencia sobre el ÁREA DEL FLORETE.

El clasificador basado en MLP tiene una capa oculta con 4 neuronas y un solver de la familia del método quasi-Newton. La función de activación es la función RELU y conecta a las neuronas en la capa oculta. La matriz de confusión para este clasificador se muestra en la Figura 3.1. En esta matriz de

confusión puede observarse como la mayoría de observaciones pueden ubicarse en una de las dos clases que existen y sólo un mínimo número de observaciones caen en la categoría de falsos positivos, es decir que no puede definirse a que clase pertenecen. Esto sugiere una eficiencia alta de este clasificador para el ÁREA DEL FLORETE.

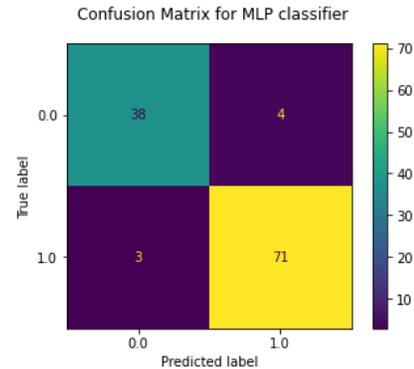


Figura 3.1. Matriz de confusión para el clasificador por MLP

Un comportamiento similar se presenta en el resto de clasificadores seleccionados. La mayoría es capaz de ubicar las observaciones en una de las dos categorías respecto al ÁREA DEL FLORETE. Sólo unas cuantas observaciones no pueden identificarse claramente y corresponden a los falsos positivos en la matriz. Es el caso del clasificador por Regresión Logística, K-vecinos, SVC, SGD y por árbol de decisión. Sólo el clasificador de Naive-Bayes no es capaz de clasificar adecuadamente las observaciones. La primera de las categorías la ubica completamente como falsos positivos. Las gráficas de las Figuras 3.2-3.6 muestran las matrices de confusión de los métodos seleccionados. La Figura 3.3 muestra la Matriz de confusión del clasificador menos efectivo de los que se utilizaron. En esta gráfica puede verse claramente que los datos de la primera clase no pueden ser ubicados de manera correcta y se toman como falsos positivos.

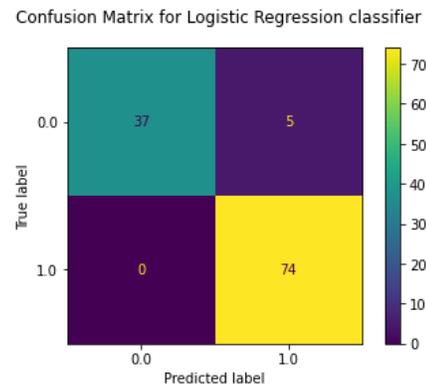


Figura 3.2. Matriz de confusión para el clasificador por Regresión Logística

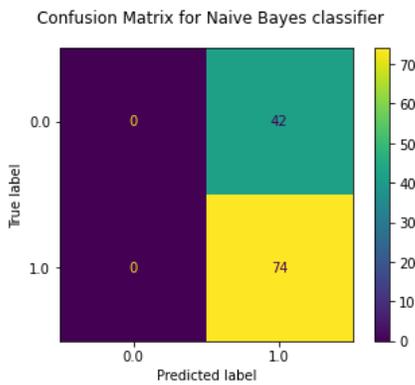


Figura 3.3. Matriz de confusión para el clasificador Naive-Bayes

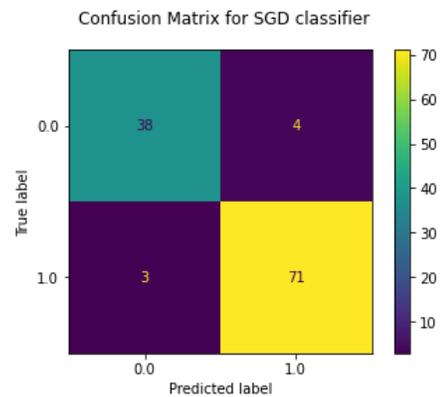


Figura 3.5. Matriz de confusión para el clasificador por SGD

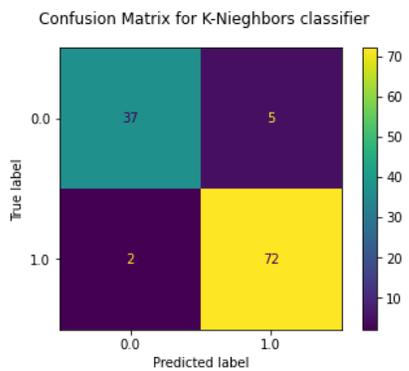


Figura 3.1. Matriz de confusión para el clasificador por K-vecinos

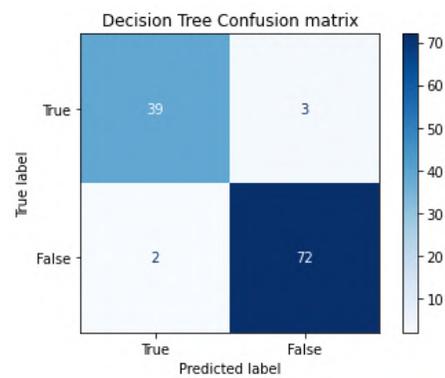


Figura 3.6. Matriz de confusión para el clasificador por árbol de decisión

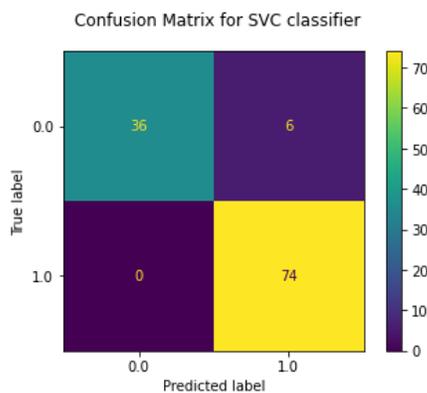


Figura 3.4. Matriz de confusión para el clasificador por SVC

Una forma más precisa y cuantitativa de medir la eficiencia de cada método consiste en graficar los valores de eficiencia de cada método y comparar la diferencia entre los métodos. La Figura 3.7 muestra la eficiencia obtenida en cada clasificador para la misma base de datos. Nótese que se ha excluido el valor de la eficiencia del clasificador por Naive-Bayes para una observación más precisa en la escala de valores. La Tabla III muestra los valores de eficiencia que se usaron para ilustrar la gráfica de la Figura 3.7.

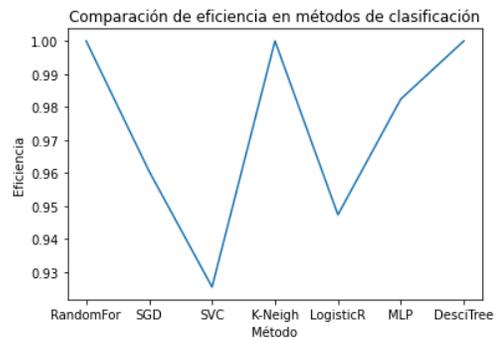


Figura 3.7. Eficiencia de cada algoritmo de clasificación.

TABLA III. VALORES DE EFICIENCIA DE LOS ALGORITMOS DE CLASIFICACIÓN

Algoritmos Clasificadores	Eficiencia
Multi Layer Preptron MLP	0.98
Logistic Regresión	0.94
Naive Bayes	0.77
K-Neighbors	0.99
Support Vector SVC	0.92
Gaussian SGD	0.96
Aleatorian Decisión Tree	0.99

#### IV. DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

En este artículo exploramos la aplicación de los algoritmos de clasificación del aprendizaje automático supervisado, que son más comunes en la literatura. Un algoritmo de clasificación identifica de manera automática la clase a la que pertenecen los datos. La importancia del problema de clasificación radica en identificar cuando una planta de brócoli está lista para cosecharse. El criterio que se usa en este trabajo para establecer si una planta de brócoli puede cosecharse es el valor de su ÁREA DEL FLORETE. Las variables más significativas a esta variable fueron CABEZA PESO FRESCO, TALLO PESO FRESCO, DIAMETRO TALLO BASE y DIAMETRO TALLO 15 CM. La aplicación de siete clasificadores: MLP, Regresión Logística, Naive-Bayes, K-Vecinos, SVC, SGD y Árbol de Decisión, demostró la utilidad de la mayoría de estos algoritmos del Aprendizaje Automático Supervisado. Sólo el clasificador de Naive-Bayes obtuvo una eficiencia baja del 77%. El resto de los clasificadores pueden considerarse como muy buenos para resolver el problema de clasificación planteado. Los mejores de ellos fue el clasificador por K-Vecinos, y ambos clasificadores de decisión, tanto el clásico como el bosque aleatorio con una eficiencia perfecta de 100%. Finalmente puede decirse que los clasificadores por K-Vecinos y los de Árbol de Decisión, pueden utilizarse para ubicar con seguridad, y en base a las variables: CABEZA PESO FRESCO, TALLO PESO FRESCO, DIAMETRO TALLO BASE y DIAMETRO TALLO 15 CM; cuando la planta del brócoli está lista para cosecharse.

#### V. AGRADECIMIENTOS

Se agradece el uso de los datos a la empresa de hortalizas LA HUERTA que proporcionó los datos de la cosecha del brócoli durante el año 2019. Actualmente se siguen desarrollando proyectos con esta empresa para la predicción del rendimiento de la producción. Este proyecto es un proyecto social y replicable a otras empresas agrícolas de la Comarca Lagunera.

#### VI. REFERENCIAS

- [1] Dufault, R.J., 1997. Determining heat unit requirements for broccoli harvestin coastal south carolina. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 122, 169–174.
- [2] Fujime, Y., Okuda, N., 1994. The physiology of flowering in brassicas, especially about cauliflower and broccoli, in: *ISHS Brassica Symposium-IX Crucifer Genetics Workshop* 407, pp. 247–254.
- [3] Grevsen, K., 1998. Effects of temperature on head growth of broccoli (brassica oleracea l. var. italica): Parameter estimates for a predictive model. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 73, 235–244.
- [4] Hara, P., Piekutowska, M., Niedbala, G., 2021. Selection of independent variables for crop yield prediction using artificial neural network models with remote sensing data. *Land* 10, 609.
- [5] Jaramillo, N., Díaz, D., et al., 2006. El cultivo de las crucíferas: Brocoli, coliflor, repollo, col china. Technical Report. Corporacion Colombiana de Investigacion Agropecuaria.
- [6] Maroto, J., 1989. *Horticultura herbácea*. Ediciones Mundiprensa Madrid-España. Pág. 45–53.
- [7] Maroto Borrego, J.V., Baixauli Soria, C., 2017. *Cultivos hortícolas al aire libre*. Cajamar Caja Rural
- [8] Marshall, B., Thompson, R., 1987. Applications of a model to predict the time to maturity of calabrese brassica oleracea. *Annals of Botany* 60, 521–529.
- [9] Pearson, S., Hadley, P., Wheldon, A., 1993. A reanalysis of the effects of temperature and irradiance on time to flowering in chrysanthemum (*den-dranthema grandiflora*). *Journal of horticultural science* 68, 89–97.
- [10] Wurr, D., Fellows, J.R., Hambidge, A.J., 1992. The effect of plant density on calabrese head growth and its use in a predictive model. *Journal of Horticultural Science* 67, 77–85. 57

#### VII. BIOGRAFÍA



**Juárez Del Toro Raymundo.** Docente de asignatura en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo TECN. Pertenece al Sistema Nacional de Investigadores SNI del CONACYT. Asesor de tesis para estudiantes del posgrado en Ingeniería Mecatrónica. Es Físico Matemático del Instituto Politécnico Nacional IPN, en la ciudad de México. Obtuvo una maestría y un doctorado en ciencias en Teoría de Control Automático en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados,

CINVESTAV-IPN, en la ciudad de México. Sus líneas de investigación son en su mayoría multidisciplinarias. Desarrolla proyectos multidisciplinarios a través del uso de herramientas matemáticas e ingenieriles. Algunas de estas herramientas son: control óptimo, ciencia de decisiones, inteligencia artificial, control robusto, métodos matemáticos, métodos numéricos, gestión eficiente de la energía, industria 4.0, robótica, visión artificial, entre otros.



**Salas Francisco G.** Es ingeniero electrónico por el Instituto Tecnológico de La Laguna, Torreón, México, y recibió los grados de Maestro y Doctor en Ciencias en Ingeniería Eléctrica, de la misma institución, en 2007 y 2013, respectivamente.

Desde 2017 es profesor investigador en la Facultad de Contaduría y Administración de la Universidad Autónoma de Coahuila, Torreón, México. Pertenece al Sistema Nacional de Investigadores (SNI) del CONACYT. Es líder de un cuerpo académico en su institución de adscripción. Ha dirigido varios proyectos de investigación y desarrollo tecnológico con la participación de instituciones educativas y empresas privadas. Sus intereses en investigación incluyen

inteligencia computacional aplicada a la toma de decisiones, control difuso y modelado y control de robots.



**Castrejón Lozano Juan Gerardo** es originario de Torreón, Coahuila. Terminó sus estudios de ingeniería en electrónica en el 2002. Obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en 2005 y de Doctor en Ciencias en el 2008, en el Instituto Tecnológico de la Laguna. Actualmente trabaja como Profesor-Investigador en la Universidad Politécnica de Gómez Palacio. Entre sus temas de interés se encuentran la programación de algoritmos numéricos de alto desempeño para la estimación y

el aprendizaje automático, así como la ingeniería basada en conocimiento.



## ÍNDICE DE AUTORES

### A

<i>Aguilar Favela, Edna Carmen</i>	64, 104
<i>Alvarado Tovar, Noé</i>	82, 97
<i>Arjona López, Marco Antonio</i>	34, 69
<i>Arzola Monreal, Juan Martín</i>	14, 21

### C

<i>Calderón Ibarra, Cecilia Inés</i>	109
<i>Carrera Barraza, Brenda</i>	119, 131
<i>Carrera Barraza, Manuel de Jesús</i>	119, 131
<i>Castrejón Lozano, Juan Gerardo</i>	136
<i>Castrejón Álvarez, Ma. Nely</i>	57
<i>Ceseñas Cordero, María Guadalupe</i>	51
<i>Ceceñas Jacquez, Marco Iván</i>	51, 57
<i>Corrales Arreola, Manuel Alejandro</i>	14
<i>Cosme Aceves, José Francisco</i>	8
<i>Coto Fuentes, Hesner</i>	89, 103, 109, 115
<i>Cuevas Zapata, Jessica Ivón</i>	57

### D

<i>Díaz Díaz, Luis Fernando</i>	69
---------------------------------	----

### E

<i>Esquivel González, Daniel Ismael</i>	57
---	----

### F

<i>Flores Luévanos, María Guadalupe</i>	21
<i>Flores Serrano, María del Socorro</i>	28
<i>Fuentes Rosas, Liliana</i>	27, 41

### G

<i>González Cos Alcocer, Luis Manuel</i>	41
<i>González Vargas, Luis Amado</i>	82
<i>Guevara Amatón, Karla Victoria</i>	109
<i>Guzmán Ayala, Ana Laura</i>	51, 57

### H

<i>Hernández Cortés, Magdalena</i>	41
<i>Hernández Flores, Concepción</i>	34, 69

### J

<i>Juárez Del Toro, Raymundo</i>	14, 136
----------------------------------	---------

### L

<i>Lara Cardoso, Jorge</i>	34, 69
<i>Leyva Carrillo, Guillermo Gerardo</i>	97
<i>Limonés Ríos, Kristian Azel</i>	109

### M

<i>Machado Díaz, Eduardo</i>	89, 97
<i>Martínez Rodríguez, Ulises</i>	76
<i>Mena Zamora, Lorena</i>	51
<i>Morales Zamora, Vianney</i>	46
<i>Moreno Núñez, Elda</i>	21
<i>Muñoz Vázquez, Yamileth Omecaly</i>	64

### O

<i>Ochoa Corona, Yisvi Saray</i>	76
----------------------------------	----

### P

<i>Paredes Xochihua, María Petra</i>	46
<i>Pinales Valdez, Edgar Guadalupe</i>	119, 131
<i>Pinedo Reza, Lucía Ernestina</i>	51
<i>Proo Pérez, José Gerardo</i>	82

### R

<i>Ramírez Vázquez, Eli</i>	126
<i>Ramírez Zúñiga, Andrea Citlalin</i>	126
<i>Ramos Ochoa, Oscar Fabián</i>	76
<i>Reyes Hernández, María Fernanda</i>	131
<i>Ríos Martínez, Fernando</i>	27
<i>Rodríguez Lozano, Karla Verónica</i>	21
<i>Ruiz Arroyo, Idalia</i>	76

### S

<i>Salas Pérez, Francisco G.</i>	136
<i>Salgado Guzmán, Gerardo</i>	8
<i>Salgado Soto, Yessica Guadalupe</i>	126
<i>Sánchez Juárez, Ivan Rafael</i>	46
<i>Sánchez Rangel, Francisco Javier</i>	8
<i>Sánchez Vázquez, Viridiana</i>	27
<i>Sandoval Lira, Jacinto</i>	126
<i>Santos Gómez, Arturo</i>	126
<i>Serrano Hernández, Arturo</i>	99
<i>Serrano Rivas, Anahí Alejandra</i>	104

### T

<i>Tapia Vargas, Víctor Noe</i>	8
<i>Tarango Hernández, Carlos Eduardo</i>	82
<i>Tobón Galicia, Lucila Guadalupe</i>	41



**U**

**Uriostegui Legorreta, Ulises** 1

**V**

**Valdés Perezgasga, Francisco** 109

**Valdés Zaldivar,  
Enrique Ernesto** 115

**Valdez Diaz, José Manuel** 119, 131

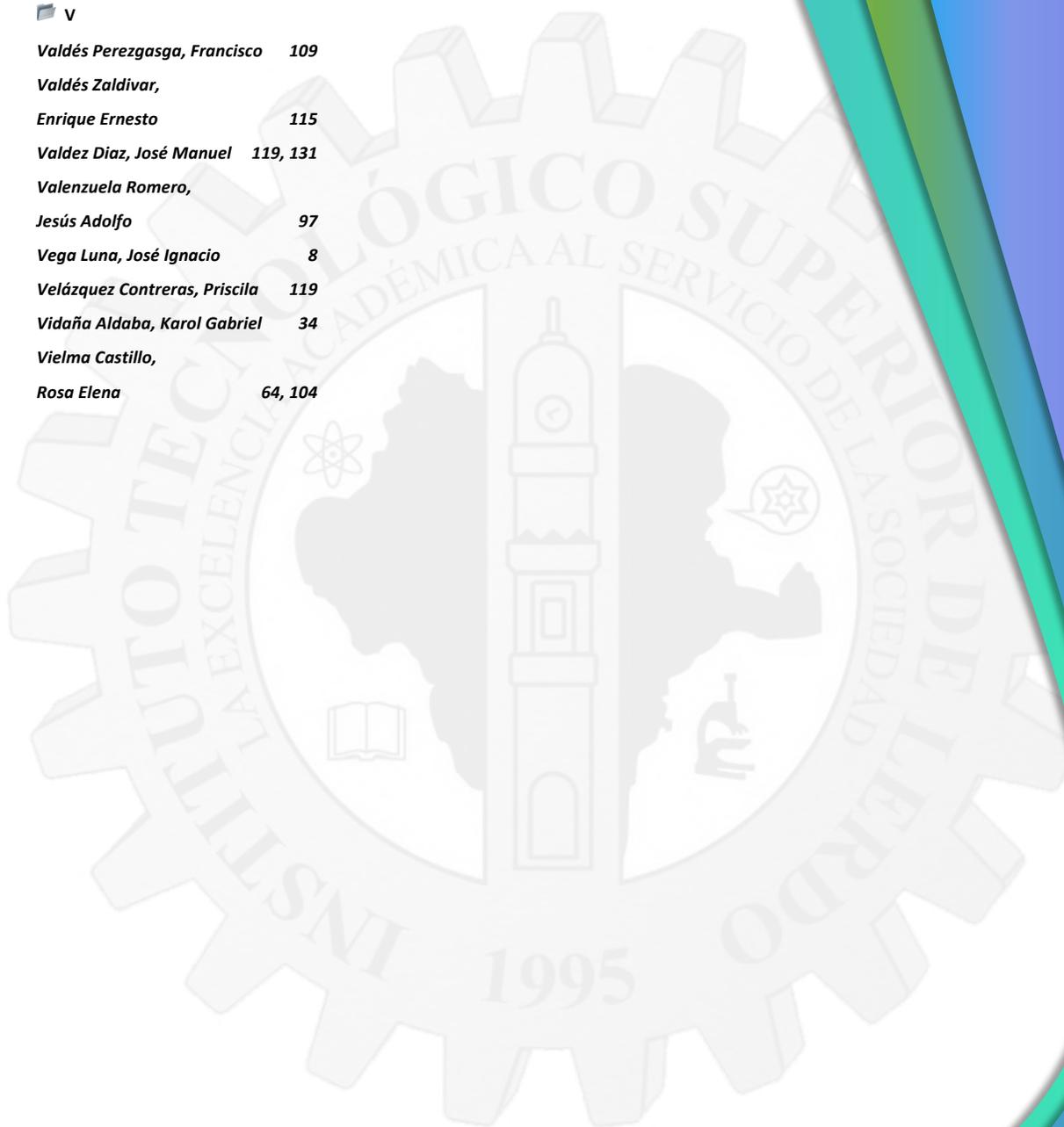
**Valenzuela Romero,  
Jesús Adolfo** 97

**Vega Luna, José Ignacio** 8

**Velázquez Contreras, Priscila** 119

**Vidaña Aldaba, Karol Gabriel** 34

**Vielma Castillo,  
Rosa Elena** 64, 104





Para mayor información, duda o comentario, estamos a su  
disposición en los siguientes medios:

Correo electrónico:  
[revistacid@itslerdo.edu.mx](mailto:revistacid@itslerdo.edu.mx)

Dirección:  
**Instituto Tecnológico Superior de Lerdo**  
**Revista Ciencia, Ingeniería y Desarrollo Tec Lerdo**  
**Edificio "F", planta alta**  
**Avenida Tecnológico No. 1555 Sur**  
**Periférico Gómez-Lerdo Km. 14.5**  
**C. P. 35150. Ciudad Lerdo, Durango. México**

Teléfonos:  
**+52 (871) 7-25-23-71, 7-25-57-79, 7-25-58-02. (extensión 134)**

Enlaces:  
<https://www.lerdo.tecnm.mx/>  
<http://sicsacid.itslerdo.edu.mx/>



**SEP**  
SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO



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.



VOLUMEN 1  
NÚMERO 8  
2022

[revistacid@itslerdo.edu.mx](mailto:revistacid@itslerdo.edu.mx)  
[revistacid.itslerdo.edu.mx](http://revistacid.itslerdo.edu.mx)  
[www.lerdo.tecnm.mx](http://www.lerdo.tecnm.mx)